



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Tabako kaitinimo produktų sąlygojamos taršos sklaidos patalpų ore modeliavimas

Baigiamasis magistro projektas

Viktorija Seibutytė

Projekto autorė

Vyr. m. d. Tadas Prasauskas

Vadovas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Tabako kaitinimo produktų sąlygojamos taršos sklaidos patalpų ore modeliavimas

Baigiamasis magistro projektas

Viktorija Seibutytė

Projekto autorė

Vyr. m. d. Tadas Prasauskas

Vadovas

Prof. Dainius Martuzevičius

Recenzentas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Viktorija Seibutytė

Tabako kaitinimo produktų sąlygojamos taršos sklaidos patalpų ore modeliavimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Viktorija Seibutytė

Patvirtinta elektroniniu būdu

Seibutytė Viktorija. Tabako kaitinimo produktų sąlygojamos taršos sklaidos patalpų ore modeliavimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas vyr. m. d. Tadas Prasauskas; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Aplinkos inžinerija (E03), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: kaitinamojo tabako produktai, aerozolio dalelės, patalpų oro kokybė, teršalų sklaida, skaičiuojamoji skysčių dinamika.

Kaunas, 2022. 55 p.

Santrauka

Patalpų oro kokybė – vienas iš svarbių faktorių, norint gyventi kokybiškai. Patalpų oro kokybę gali paveikti daugybė įvairių faktorių – vienas iš jų tabako gaminiai. Kaitinamojo tabako produktai – nauja, plačiai plintanti alternatyva, tradicinių cigarečių vartojimui, tačiau kiekvienas naujas rinkoje atsirandantis produktas turėtų būti kruopščiai ištirtas, siekiant charakterizuoti emisijas į aplinką, taigi ir galimą poveikį oro kokybei bei pašalinams asmenims. Magistro baigiamojo projekto darbo tikslas buvo sudaryti tabako kaitinimo produktų sąlygojamos taršos patalpų ore skaičiuojamosios skysčių dinamikos modelį ir jį validuoti naudojant eksperimentinio tyrimo duomenis. Mokslinės literatūros apžvalgoje atlikta kaitinamojo tabako produktų apžvalga, veikimo principas, išmetamųjų cheminių junginių, koncentracijų kiekių analizė patalpose, įvertintas poveikis sveikatai ir skaičiuojamosios skysčių dinamikos pritaikymo galimybės, nustatytam modeliui apskaičiuoti, apžvelgiama modeliavimo specifika, pasirinkta programinė įranga SolidWorks. Metodinėje dalyje aprašyta tyrimams naudojama metodika, duomenys, sistemos modelis, tyrimų planas ir darbo eiliškumas. Taršos šaltinio projektavimui parinkti skirtingi aerozolių dalelių dydžiai: 50nm, 60nm, 70nm, 80nm, 90nm, 100nm. Rezultatų dalyje atliktas skirtingų ventiliacijos režimų modeliavimas ir pasirinktų, aerozolio dalelių taršos modeliavimas į kvėpuojantį žmogų ir rezultatų apžvalga.

Tyrimų metu nustatyta, jog įkvepiamas aerozolio dalelių kiekis, priklauso nuo aplinkos sąlygų, šiuo atveju, ventiliacijos apykaitos režimo. Atlikus skirtingus, oro apykaitos ventiliacijos režimo modeliavimus, buvo gauta, jog geriausia taršos sklaida yra tuomet, kai tiekiamas didžiausias oro kiekis – $71,6 \text{ m}^3/\text{h}$ (2 h^{-1} oro apykaita), vyksta geriausias dalelių pasklidimas patalpoje ir greičiausiai pašalinamos iš aplinkos. Maksimali greičio vertė patalpoje buvo apskaičiuota $0,741 \text{ m/s}$, o vidutinė – $0,014 \text{ m/s}$ esant 2 h^{-1} oro apykaitai. $0,5 \text{ h}^{-1}$ oro apykaitai maksimali ir vidutinės vertės atitiko: $0,186 \text{ m/s}$ ir $0,0037 \text{ m/s}$. 1 h^{-1} oro apykaitai maksimali ir vidutinės vertės atitiko: $0,374 \text{ m/s}$ ir $0,0073 \text{ m/s}$. Ventiliacijos efektyvumas turėjo įtakos ir įkvepiamam dalelių srautui. Didesni įkvepiamų dalelių kiekiai, buvo pastebėti esant mažesniai, tiekiamam oro debitui į patalpą. Atlikus aerozolio dalelių taršos sklaidą prie skirtingų ventiliacijos režimų, bendrų įkvėptų dalelių srautų duomenys atitiko: $\pm 15,91\%$ esant $0,5 \text{ h}^{-1}$ oro apykaitai, $\pm 11,56\%$ esant 1 h^{-1} ir atitinkamai $\pm 7,75\%$, kai tiekiamas oro srautas sudarė 2 h^{-1} .

Gauti duomenys, aerozolio dalelių srauto modeliavimo metu, buvo validuojami jau su anksčiau atlikto eksperimento duomenimis. Validavimo metu buvo vertinamos aerozolio dalelių koncentracijos esant $0,2$ ir 1 h^{-1} oro apykaitoms, ir lyginamos su koncentracijomis prie $0,5$ ir 1 h^{-1} oro apykaitų. Apskaičiavus buvo gautos koncentracijų bendro srauto, įkvepiama dalis procentais, atitikimas sudarė: $0,2 \text{ h}^{-1}$ – $12,73\%$ ir 1 h^{-1} – $8,93\%$.

Seibutyte Viktorija. Modelling Indoor Dispersion of Tobacco Heating Products Generated Pollution. Master's Final Degree Project supervisor / chief researcher Tadas Prasauskas; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Environmental Engineering (E03), Engineering Sciences.

Keywords: heated tobacco products, aerosol particles, indoor air quality, dispersion of pollutants, computational fluid dynamics.

Kaunas, 2022. 55 pages.

Summary

Indoor air quality is one of the most important factors for a good quality of life. Indoor air quality can be affected by many different factors, one of them being tobacco products. Heated tobacco products are a new and widespread alternative to traditional cigarettes, but each new product on the market should be carefully studied to characterise emissions into the environment and thus potential impacts on air quality and bystanders. The aim of the Master's Final Degree Project was to develop a computational fluid dynamics model of indoor air pollution caused by tobacco heating products and to validate it using experimental data. The literature review provides an overview of combustible tobacco products, the principle of operation, the analysis of chemical emissions, indoor concentrations, the assessment of health effects and the applicability of computational fluid dynamics to calculate the established model, an overview of the specifics of the modelling, and the choice of SolidWorks software. The methodological part describes the methodology, data, system model, research design and sequence of work. Different aerosol particle sizes have been selected for the source design: 50nm, 60nm, 70nm, 80nm, 90nm, 100nm. In the results part, the simulation of different ventilation modes and the modelling of the selected aerosol particles to a breathing human being was carried out and the results are summarised.

Studies have shown that the amount of aerosol particles inhaled depends on the environmental conditions, in this case the ventilation mode of circulation. Different simulations of the ventilation mode of air circulation showed that the best dispersion of pollution is achieved when the highest volume of air - 71.6 m³/h (air circulation of 2 h⁻¹) - is supplied, with the best dispersion of the particles in the room and the fastest removal of particles from the environment. The maximum indoor velocity was calculated to be 0.741 m/s and the average was 0.014 m/s at 2 h⁻¹ air exchange. At 0.5 h⁻¹ air exchange, the maximum and average values were consistent: 0.186 m/s and 0.0037 m/s. For 1 h⁻¹ air exchange, the maximum and average values were: 0,374 m/s and 0,0073 m/s. Ventilation efficiency also had an effect on the inhalable particle flux. Higher inhaled particle volumes were observed at lower supply air flow rates. The dispersion of aerosol particle pollution at different ventilation regimes was consistent with the total inhaled particle flux: ±15.91% at 0.5 h⁻¹ air change, ±11.56% at 1 h⁻¹ and ±7.75% at 2 h⁻¹ supply air flow rate, respectively.

The data obtained in the aerosol particle flow simulation were validated against data from a previous experiment. The validation evaluated the aerosol particle concentrations at 0.2 and 1 h⁻¹ air exchanges and compared them with the concentrations at 0.5 and 1 h⁻¹ air exchanges. The calculated correlation of the concentrations with the total flux, inhalable fraction as a percentage of the total flux, was obtained as follows: 0.2 h⁻¹ - 12.73% and 1 h⁻¹ - 8.93%.

Turinys

Paveikslų sąrašas	8
Santrumpų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Literatūros apžvalga	11
1.1. Kaitinamojo tabako produktai	11
1.1.1. THS charakteristikos ir veikimo principas	11
1.2. Cheminė tabako lazdelių sudėtis	12
1.3. THS sistemų paplitimas.....	13
1.4. Tradicinių cigarečių ir THS išpučiamų cheminių medžiagų ir aerozolių palyginimas	14
1.5.1. THS emisijų patalpų ore apžvalga: formaldehidai.....	18
1.5.2. Acetaldehidai	18
1.5.3. Benzenas.....	18
1.5.4. Toluenas	19
1.5.5. Nikotinas.....	19
1.5.6. Aerozolių dalelės	19
1.5.7. Kaitinamojo tabako potencialus poveikis žmonių sveikatai	20
1.5.8. Eksperimentiniai gyvūnų ir ląstelių tyrimai	21
1.6. Skaičiuojamosios skysčių dinamikos principai	22
1.6.1. Skysčių dinamikos apibrėžimas	22
1.6.2. Privalumai ir trūkumai.....	23
1.7. Programinė įranga: „SOLIDWORKS“	24
1.7.1. Fiziniai modeliai.....	24
1.7.2. „SOLIDWORKS Flow simulation“	25
1.7.3. Navier-Stokes lygtys laminariems ir turbulentiems skysčių srautams.....	26
1.7.4. Brauno difuzija	27
1.8. Apibendrinimas	29
2. Metodinė dalis.....	30
2.1. Teršalų sklaidos modeliavimas.....	30
2.2. Skaičiavimo modelis	33
2.2.1. Tinklelio parinkimas.....	33
2.3. Tyrimų planas ir darbų seka	34
3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas.....	38
3.1. Teršalų sklaidos scenarijų modeliavimas esant skirtingiems ventiliacijos intensyvumams	38
3.1.1. Modeliavimo rezultatai esant $0,5\text{ h}^{-1}$ oro srauto apykaitai	38
3.1.2. Modeliavimo rezultatai esant 1 h^{-1} oro apykaitai	40
3.1.3. Modeliavimo rezultatai esant 2 h^{-1} oro apykaitai.....	41
3.2. Taršos šaltinio modeliavimas	44
3.2.1. Aerozolio dalelių srauto modeliavimas esant $0,5\text{ h}^{-1}$ oro apykaitai	44
3.2.2. Dalelių srauto modeliavimas esant 1 h^{-1} oro apykaitai	46
3.2.3. Dalelių srauto modeliavimas esant 2 h^{-1} oro apykaitai	48
3.3. Modelio validavimas	50
3.3.1. Rezultatų apibendrinimas	50
Išvados	51
Literatūros sąrašas	52

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Skirtingų tipų nikotino inhaliatorių palyginimas pagal kenksmingų junginių kiekį susidariusiame aerolyje (Szparaga, 2021).	17
2 lentelė. Nikotino ir $KD_{2.5}$ koncentracija mažoje patalpoje (Hirano, 2020).....	20
3 lentelė. Tyrimams parinktų patalpos oro sąlygų parametrai.....	33
4 lentelė. Srautų duomenys.....	35
5 lentelė. Aerosolio dalelių masių reikšmės.....	35
6 lentelė. Dalelių modeliavimo rezultatai ($0,5\text{ h}^{-1}$ oro apykaita).	45
7 lentelė. Dalelių modeliavimo rezultatai (1 h^{-1} oro apykaita).	47
8 lentelė. Dalelių modeliavimo rezultatai (2 h^{-1} oro apykaita).	49

Paveikslų sąrašas

1 pav. Įprastos cigaretės temperatūra, lyginant su kaitinamojo tabako produktų mechanizmais, kurių temperatūra yra pasiekusi aukščiausią tašką (Mallock, 2019).	11
2 pav. THS 2.2 sistemos charakteristika (Boué, 2020).	12
3 pav. IQOS paplitimas pasaulio rinkose (PMI, 2021).	14
4 pav. THS ir tradicinės cigaretės palyginimas.	15
5 pav. Disciplinos, sudarančios skaičiuojamąją skysčių dinamiką.	22
6 pav. Trys pagrindiniai skysčių dinamikos ir šilumos perdavimo uždavinių sprendimo būdai.	23
7 pav. Trijų pagrindinių CFD analizės sistemos elementų tarpusavio ryšio funkcijos.	23
8 pav. Srauto modeliavimo struktūrinė schema.	25
9 pav. Laminarinio ir turbulentinio srauto tekėjimai.	26
10 pav. Suprojektuotos patalpos 3D geometrijos brėžinys.	31
11 pav. Patalpos vaizdas iš viršaus ir oro tiekimo komponentai.	31
12 pav. Suprojektuoto manekeno modelis.	32
13 pav. Šoninis patalpos vaizdas ir atstumas tarp manekenu.	32
14 pav. Skaičiavimo tinklelio 3D vaizdas.	34
15 pav. $0,5 \text{ h}^{-1}$ oro apykaitos patalpoje modeliavimas.	38
16 pav. $0,5 \text{ h}^{-1}$ oro apykaitos patalpoje modeliavimas (vaizdas iš šono).	39
17 pav. 1 h^{-1} oro apykaitos patalpoje modeliavimas.	40
18 pav. 1 h^{-1} oro apykaitos patalpoje modeliavimas (vaizdas iš šono).	40
19 pav. 2 h^{-1} oro apykaitos patalpoje modeliavimas.	41
20 pav. 2 h^{-1} oro apykaitos patalpoje modeliavimas (vaizdas iš šono).	42
21 pav. Vidutinės oro srauto patalpoje greičio verčių grafikas.	43
22 pav. Maksimalios oro srauto patalpoje greičio verčių grafikas.	43
23 pav. Aerosolio dalelių srauto pasiskirstymas patalpoje ($0,5 \text{ h}^{-1}$ oro apykaita).	44
24 pav. Aerosolio dalelių pasiskirstymas patalpoje esant $0,5 \text{ h}^{-1}$ oro apykaitai (vaizdas iš šono). ...	44
25 pav. Taršos šaltinio dalelių srauto pjūvis ($0,5 \text{ h}^{-1}$ oro apykaita).	45
26 pav. Aerosolio dalelių pasiskirstymas patalpoje (1 h^{-1} oro apykaitai).	46
27 pav. Aerosolio dalelių pasiskirstymas patalpoje esant 1 h^{-1} oro apykaitai (vaizdas iš šono).	46
28 pav. Taršos šaltinio dalelių srauto pjūvis (1 h^{-1} oro apykaita).	47
29 pav. Aerosolio dalelių srauto modeliavimas (2 h^{-1} oro apykaita).	48
30 pav. Aerosolio dalelių pasiskirstymas patalpoje esant 2 h^{-1} oro apykaitai (vaizdas iš šono).	48
31 pav. Taršos šaltinio dalelių srauto pjūvis (2 h^{-1} oro apykaita).	49

Santrumpų sąrašas

Santrumpos:

PSO – Pasaulio sveikatos organizacija (angl. *WHO – World Health Organization*);

THS – tabako kaitinimo sistema (angl. *tobacco heating system*);

HPHC – kenksmingos ir potencialiai kenksmingos aerozolio sudedamosios dalys (angl. *harmful and potentially harmful constituents*);

HTP – kaitinamojo tabako produktas;

LOJ – lakieji organiniai junginiai;

PNC – skaitinė dalelių koncentracija (angl. *particle number concentration*);

KD – kietosios dalelės;

KD₁₀ – kietosios dalelės, kurių dydis yra mažesnis nei 10 μm;

KD_{2,5} – kietosios dalelės, kurių dydis yra mažesnis nei 2,5 μm;

SSD – skaičiuojamoji skysčių dinamika (angl. *CFD – computational fluid dynamics*);

PAFR – nosies trombocitus aktyvinančio faktoriaus receptoriaus ekspresija;

3R4F – standartinė įprasta cigaretė;

PMI – Philip Morris International.

Įvadas

Dauguma žmonių, beveik 80 % savo laiko leidžia uždaroje patalpose, kuriuose dažnai oras gali būti labiau užterštas nei esantis lauke. Šių dienų patalpų oro kokybė yra laikoma kaip vienu iš pagrindinių, daugelio tarptautinių institucijų rūpesčiu, susijusiu su aplinkos ir sveikatos gerovės klausimais. Pasaulio Sveikatos Organizacija (toliau – PSO, angl. *WHO – World Health Organization*) nustatė, jog maždaug 3,8 milijonų žmonių kasmet miršta nuo ligų, susijusių su patalpų oro tarša. Tabako vartojimas, kasmet nužudo daugiau nei 8 milijonus žmonių, apie 86 % mirčių dėl tiesioginio tabako vartojimo, o likusi dalis – pasyvaus rūkymo poveikis (įkvėpimas nuo rūkančio asmens) ir trečiųjų asmenų rūkymo (įkvėpus arti paviršių, kurie anksčiau buvo paveikti cigarečių dūmais) [1, 2, 3].

Dauguma apklaustųjų rūkančiųjų, teigė, jog nori mesti rūkyti, tačiau rūkymas sukelia didelę priklausomybę. Kylant tokioms problemoms, mokslas ir technologijos sujungdami jėgas kartu siekė sukurti naujoviškas rūkymo technikas, taip sumažindami rūkymo žalą. Gautas rezultatas – naujas kaitinimo tabako gaminyje „Heat Not Burn“. Naujos technologijos naudojimas parodė, jog vartojant šį produktą ir jį palyginus su tradicinėmis cigaretėmis, į aplinkos orą patenka mažesni koncentracijų lygiai, tokių junginių kaip formaldehido, benzeno, tolueno, kietųjų dalelių [4].

Siekiant nustatyti kaitinamojo tabako produktų poveikį patalpų oro kokybei, buvo naudojami jau turimų eksperimentinių tyrimų duomenys ir lyginami su naujais, naudojant skaičiuojamosios skysčių dinamikos modeliavimo metodus.

Darbo tikslas – sudaryti tabako kaitinimo produktų sąlygojamos taršos patalpų ore skaičiuojamosios skysčių dinamikos modelį ir jį validuoti naudojant eksperimentinio tyrimo duomenis.

Darbo uždaviniai:

1. atlikti mokslinės literatūros apžvalgą siekiant išanalizuoti tabako kaitinimo produktų poveikį žmogaus sveikatai ir patalpų oro kokybei;
2. sudaryti ir patikrinti skaičiuojamosios skysčių dinamikos modelį, naudojantis moksline literatūra ir jau žinomais modeliais;
3. pasirinkti teršalų sklaidos scenarijų modelius esant skirtingiems ventiliacijos intensyvumams;
4. validuoti modelį naudojant eksperimentinio tyrimo duomenis.

Tyrimo objektas – iškvepiamo aerozolio kitimo erdvėje ir laike modelis naudojant kaitinamojo tabako produktą (HTP) kontroliuojamos ventiliacijos sąlygomis.

1. Literatūros apžvalga

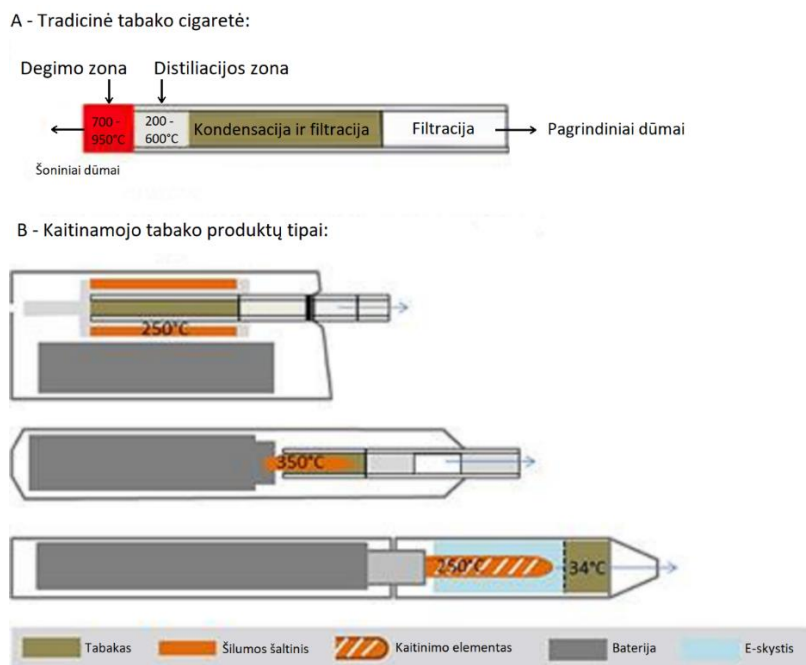
1.1. Kaitinamojo tabako produktai

1.1.1. THS charakteristikos ir veikimo principas

Tabaką vartoja daugiau negu 1 milijardas žmonių visame pasaulyje, o degus tabakas pastaruoju metu yra viena iš populiariausių jo vartojimų formų. Epidemiologiniai duomenys nurodo, jog rūkymas labai padidina tikimybę susirgti širdies ir kraujagyslių, lėtinę obstrukcinę plaučių ir plaučių vėžio ligomis. Cigarečių dūmai sukelia uždegiminius procesus ir kitus fiziologinius kvėpavimo takų epitelio pokyčius, sukeliančius plaučių pažeidimus ir įgimto bei adaptyvaus imuniteto slopinimą, dėl kurio atsiranda pasikartojančios infekcijos. Tai paskatino ieškoti alternatyvų pakeisti įprastus tabako vartojimo būdus kaip tradicines cigaretes į inovatyvesnius bei sveikata mažiau žalojančius gaminius. Rinkoje galima atrasti tokias alternatyvas kaip elektroninės cigaretės, kaitinamojo tabako produktai.

Kaitinamojo tabako produktai (THS) (angl. *tobacco heating system*) – viena iš daugelio galimų, nikotino vartojimų formų, kuri sparčiai įgauna populiarumą, visame pasaulyje. Pagrindinė charakteristika apibūdinanti kaitinamojo tabako gaminius, tai prietaise esantis tabakas yra kaitinamas, o nedeginamas. Maisto, aplinkos cheminių medžiagų toksiškumo, kancerogeniškumo ir mutageniškumo komitetai apibūdina tris pagrindinius šių prietaisų veikimo mechanizmus:

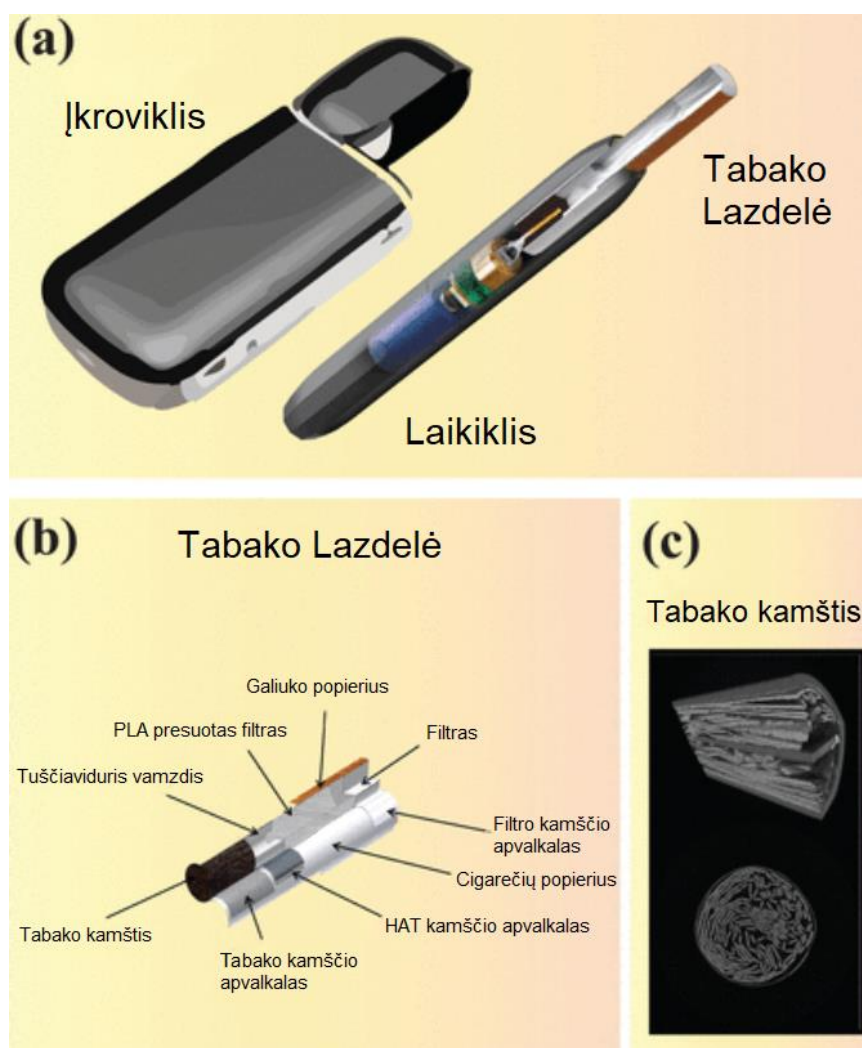
- tiesioginis tabako kaitinimas išgaunant garus;
- tabako kaitinimas garinimo įtaise;
- garų praleidimas per perdirbtą tabaką, norint išgauti skonį turinčius garus.



1 pav. Įprastos cigaretės temperatūra, lyginant su kaitinamojo tabako produktų mechanizmais, kurių temperatūra yra pasiekusi aukščiausią tašką (Mallock, 2019).

Tradicinių cigarečių degimo procesas vyksta 700 – 950 °C temperatūroje, o karščiu paremtuose įrenginiuose pasiekiami iki 350 °C temperatūra garuose ar aerozolyje. Temperatūra laikiklio yra

kontroliuojama ties 150 – 350 °C temperatūra, nevykdant deginimo reakcijos, nesusidaro pelenai ir dūmai. Tiesioginis tabako kaitinimas gali būti atliekamas kaitinant vienkartinės tabako lazdeles per ploną metalinę mentę. Tabako gaminių sudaro trys komponentai, kurių kiekvienas turi skirtingą funkciją: tabako lazdelė, į rašiklį panašus šildytuvas (arba laikiklis) ir įkroviklis [15].



2 pav. THS 2.2 sistemos charakteristika (Boué, 2020).

Tabako lazdelė, kurioje yra perdirbto tabako, yra įkišama į laikiklį ir kaitinama valdomu elektriniu elementu, įkrautu krūviu. Emisijos įkvepiamos per kandiklį. Kai kuriuose prietaisuose yra laiko limitas – naudotojas turi įkvėpti per nustatytą laikotarpį (dažnai nuo 3,5 minučių iki 10 minučių), kol prietaisas automatiškai išsijungs. Tokia sistema buvo sukurta išlaikyti nikotino piką ir reguliuoti nikotino receptorių. Skirtingai nuo elektroninių cigarečių, šie tabako gaminiai negarina skysčių, turinčių kvapiųjų medžiagų, propilenglikolio, arba iš daržovių gauto glicerolio. Lyginant su įprastomis tabako cigaretėmis, šitie tabako gaminiai skleidžia šilumą, o ne dega, todėl tariamai jie yra mažiau kenksmingi sveikatai nei tradicinės tabako cigaretės [4,37].

1.2. Cheminė tabako lazdelių sudėtis

Tabako lazdelių cheminė kompozicija yra panaši į įprastų cigarečių, kaitinimo tabako produktai naudoja tikrą tabaką. Tabako lazdelių yra įvairių skonių. Tarp daugybės rinkoje esančių HTP tabako

lazdelių, daugiausia žinių turima apie IQOS tabako lazdeles. HEETS tabako lazdelių cheminėje sudėtyje yra apdoroto tabako, vandens, glicerino, guaro gumos, celiuliozės pluošto, polimerinės plėvelės ir celiuliozės-acetato kandiklio filtrai. Remiantis gamintojo duomenimis, IQOS tabako lazdelėje yra mažesnis tabako kiekis negu įprastose cigaretėse. Nepriklausomi tyrimai parodė, kad šiose tabako lazdelėse yra 70–80 % įprastose cigaretėse esančios nikotino koncentracijos. Davis ir kt. įvertino IQOS sistemos veikimą įvairiomis sąlygomis. Panaudojus 1 IQOS lazdelę, prietaiso laikiklyje liko nemažas kiekis šiukšlių, skysčių ir liejinių lapų fragmentų. Laikantis gamintojo rekomendacijų, norint užtikrinti tinkamą šilumos reguliavimą, būtina valyti prietaisą panaudojus kas 20 tabako lazdelių. Be to, Davis ir kt. parodė, kad prietaiso pagaminta šiluma buvo pakankama sukelti, pirolizės metu, tirpstančios polimerinės plėvelės filtre, tabako kamščio sukietėjimą. Šis pastebėjimas prieštarauja gamintojo teiginiui, kad naudojant IQOS pirolizė yra sumažinta iki minimumo [5].

1.3. THS sistemų paplitimas

Tabako įmonės, kaitinamojo tabako produktus įvardija kaip mažiau kenksmingus lyginant su kitais rinkoje jau egzistuojančiais gaminiais. Dėl šios priežasties šie gaminiai vis greičiau populiarėja. Šios klasės produktai apibrėžiami kaip vėl atsinaujinantys, nes panašaus koncepto technologijos gaminiais buvo prekiaujama, praėjusio amžiaus devintajame dešimtmetyje. Deja, neįsivirtinus rinkoje, jų gamyba bei prekyba buvo sustabdyta. Įmonė „Japan Tobacco International“ 2013 metais išleido kaitinamojo tabako produktą „Ploom“ Japonijoje, o vėliau išleido naują gaminį – „Ploom TECH“, kuris yra kaitinamo tabako ir elektroninių cigarečių hibridas. Kitais metais, tabako produktus gaminanti įmonė „Philip Morris International“ į pasaulinę rinką, pradedant Japonija ir Italija, išleido pavadinimu I-Quit-Ordinary-Smoking (IQOS), kaip alternatyvą tradicinėms cigaretėms. Matydami šio gaminio sėkmę, 2019 metais pradėjo prekiauti Jungtinėse Amerikos Valstijose ir šiuo metu jie teigia, jog turi daugiau negu 14 milijonų jų gaminius naudojančių klientų. „British American Tobacco“ (BAT) pirmą kartą „iFuse“ pardavė 2015 m. Rumunijoje. Vėliau BAT „Glo“ pardavinėjo Azijoje. 2014 m. visame pasaulyje buvo parduota 100 000 prietaisų ir 15,3 milijono kaitinamų tabako lazdelių; 2019 m. šis skaičius padidėjo iki 12,8 mln. įrenginių ir apie 69,5 mlrd. tabako lazdelių. Šiuo metu, THS yra parduodami daugiau negu 60 pasaulio šalių ir šis skaičius didėja ir planuojama, jog iki 2025 metų, šis skaičius jau sieks 100 pasaulio šalių rinkų. THS pardavimai 2016 metais siekė 2,1 milijardo dolerių, o 2021 metais buvo planuojama, jog pasieks 17,9 milijardo dolerių [4].



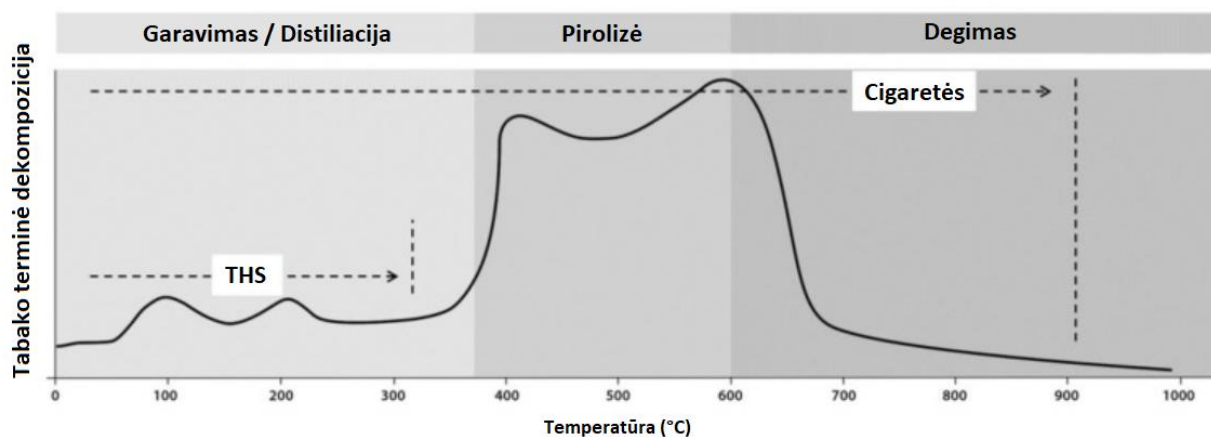
3 pav. IQOS paplitimas pasaulio rinkose (PMI, 2021).

Kaitinimo tabako produktų naudojimo paplitimas kasmet didėja, ypač labai išsivysčiusiose šalyse, tokiose kaip Japonija ir Italija. Japonijos nacionalinis sveikatos ir mitybos tyrimas 2018 m. pranešė, kad tabaką vartojančių žmonių, 22,1 % vyrų ir 14,8 % moterų Japonijoje yra THS sistemų naudotojai. 2018 m. Jungtinėse Amerikos Valstijose, nustatytas THS sistemų naudojimo padidėjimas, tarp suaugusiųjų 2,4 %, iš kurių 6,7 % reguliariai rūkančių, yra jau išbandę kaitinamo tabako produktus, o 2020 m. tyrimas parodė, jog 1,4 % mokyklinio amžiaus vaikų, per pastarąsias 30 dienų yra bent kartą vartoję THS. Pietų Korėjoje taip pat buvo pastebėtas šių gaminių populiarumo didėjimas. 2017 m. pirmąjį mėnesį po IQOS išleidimo, atlikus apklausą 5,7 % rūkančiųjų vartojo THS, o jau kitais metais šis skaičius jau pasiekė 23,9 %. 2019 metų rinkos augimas pasiekė 28,3 %. Didžiausias vartotojų kiekis, atlikus apklausas 2021 metais buvo nustatytas Japonijoje ir 7 Europos šalyse: Turkija, Slovakija, Portugalija, Švedija, Lenkija, Vokietija, Italija. „Philip Morris International“ 2019 metais teigė, jog apie 8 milijonus vartotojų, iškeitė tradicines cigaretes į jų siūlomus alternatyvius rūkymo produktus [8, 31,32,36].

1.4. Tradicinių cigarečių ir THS išpučiamų cheminių medžiagų ir aerozolių palyginimas

Dūmai, gaunami iš tradicinių cigarečių, degimo metu – sudėtingas ir dinamiškas cheminis mišinys, kuriame galima atrasti daugiau negu 7000 cheminių medžiagų. Šiai dienai žinoma, jog tabako dūmuose yra mažiausiai 250 kenksmingų junginių, iš kurių apie 70, galinčių sukelti vėžį. Dinamiškas, šiuo atveju reiškia, kad esančio junginio fizikinės ir cheminės savybės gali greitai pasikeist, pavyzdžiui, degimo proceso metu susidarę garai iškart virsta dalelėmis arba atvirkščiai. Tradicinių cigarečių dūmų, cheminis sudėtingumas, priklauso nuo šildymo sąlygų, uždegtos cigaretės viduje. Tokių cigarečių, tabako deginimo temperatūra siekia iki 700–950 °C. Nors degimo procesas apsiriboja degančios cigaretės gale, pirolizės ir terminio skilimo procesai, vyksta esant deguonies trūkumui, distiliavimo zonoje. Šioje cigaretės dalyje temperatūra nukrenta nuo 600 iki maždaug 200 °C. Didžioji dalis, toksinių dūmų medžiagų, susidaro šioje dalyje [15,16,].

Įprastose cigarečių dūmuose galima atrasti: anglies monoksido, tabakui būdingų nitrozaminų, azoto oksidų, aldehydų, arseno, benzeno, lakiųjų organinių junginių, nikotino, smulkių kietųjų dalelių ir oksidatorių, mineralų pėdsakų iš pradžių buvusių dirvožemyje, kuriame augo tabako augalai, policiklinių aromatinių angliavandenių, įvairių aliejinių medžiagų, geriau žinomų kaip dervos. Taip pat tabako dūmuose yra aerozolio, kuriame yra skysčio lašelių, suspenduotų nešiojamuosiose dujose ir apsuptų savo dujų garų fazės. Susidarymo priežastys galimos dėl sudėtingų ir sutampančių deginimo, pirolizės, pirosintezės, distiliavimo, sublimacijos ir kondensacijos procesų [23,24].



4 pav. THS ir tradicinės cigaretės palyginimas.

HTP produktai skirti kaitinti tabaką iki pakankamai aukštos temperatūros, kad išsiskirtų aerosolis, nesukeliant deginimo proceso ir nesukeldami dūmų. Mokslinėje literatūroje, įvairūs tyrimai rodo, kad aerozolio, sudėtyje yra žymiai mažesnė kenksmingų ir potencialiai kenksmingų sudedamųjų dalių (HPHC) koncentracija, nei nustatyta tradicinių cigarečių pagrindiniuose dūmuose. Tabako pramonė tvirtina, kad naudojant HTP toksinių chemikalų išmetimai sumažėja dėl žemesnės prietaisų darbo temperatūros. Dominuojančios THS aerozolių sudedamosios dalys: vanduo, glicerinas, nikotinas ir tabako skoniai, susidaro garinimo ir distiliavimo proceso metu. HTP aerosolis turi daug didesnę vandens ir drėgmę išlaikančių medžiagų (pvz., glicerolio) kiekį dinaminėje pusiausvyroje tarp dujinės ir kietųjų dalelių fazės [16].

Tabako industrijų atliktuose tyrimuose teigiama, jog kaitinamojo tabako produktų išskiriamame aerolyje yra 90–95 % mažiau kenksmingų medžiagų. Nepriklausomų tyrimų rezultatai rodo, kad toksiniai junginiai nėra visiškai pašalinti iš HTP aerozolio ir šie produktai vis dar rizikingi naudoti. 2018 metų Simonavičiaus ir kt. atliktoje straipsnių apžvalgoje buvo teigiama, jog lyginant THS su įprastomis cigaretėmis, rūkymo alternatyvai priskiriamų renginių dūmuose, buvo 83 % nikotino ir mažesni lygiai HPHC bent 62 % ir kietųjų dalelių 75 %. Szparaga ir kt. (2021) atliktoje studijoje, kurioje bandymai buvo atlikti su elektroninėmis cigaretėmis, įprastomis ir THS sistema, pateikiami rezultatai parodė, jog THS cheminių junginių koncentracijos aerolyje buvo maždaug 10 kartų mažesni nei cigarečių dūmų. Remiantis atliktais cheminės analizės tyrimais, kuriais IQOS aeroliai buvo lyginami su standartinėmis cigaretėmis, IQOS aerolyuose yra maždaug 50 % mažiau dervos ir 99 % anglies monoksido. X. Li ir kt. atliktame tyrime nustatyta, jog IQOS išskiria > 90% mažesnę kenksmingų ir potencialiai kenksmingų medžiagų kiekį, o karbonilo, amoniako ir N-nitrozoanabastino 50–80 % mažesni kiekiai. K. Farsalinos ir kt. atliktame tyrime buvo nustatyta, jog rūkant IQOS, išskiria ženkliai mažesnis kiekis karbonilo, nei rūkant įprastose cigaretėse, tačiau šis

kiekis buvo didesnis, lyginant su elektroninėmis cigaretėmis. Mallock ir kt. tyrimas įrodė, jog IQOS, lyginant su įprastomis cigaretėmis, išskiria mažiau aldehydų (apie 80–95 %) ir lakiųjų organinių darinių (apie 97–99 %). Šie tyrimai iš dalies pagrindžia tabako kompanijų atliktus tyrimus ir parodo, jog kaitinamojo tabako aerozolyje yra mažesnis kenksmingų medžiagų kiekis [5,7,9,10,27,28,38,44].

Atlikus Szparaga ir kt. (2021) straipsnio analizę, šiame darbe prieinama išvada, jog lyginant tradicinį rūkymą ir tabako kaitinimą, matomas akivaizdus cheminių junginių koncentracijų skirtumas. Moksliniame straipsnyje, kuriame buvo išanalizuoti tyrimų duomenys su elektroninėmis cigaretėmis, įprastomis bei THS sistema, gauti rezultatai parodė, jog THS cheminių junginių koncentracijos aerozolyje buvo maždaug 10 kartų mažesni nei cigarečių dūmų [10].

1 lentelė. Skirtingų tipų nikotino inhaliatorių palyginimas pagal kenksmingų junginių kieki susidariusiame aerozolyje (Szparaga, 2021).

Medžiagos pavadinimas		Produktai		
		3R4F (2008)	THP 2.2	Vype e-cigaretė
		Vidutinė koncentracija mg/L		
1.	Nikotinas	2,23	0,77-2,04	0,89-0,96
		2,24	-	0,58
		3,39	-	1,47-1,56
		Vidutinė koncentracija µg/L		
2.	2-butanonas	183,2	6,24	1,25
		303,59	8,68	-
		-	15,15	-
3.	Acetaldehidas	1800	187,9	1,91
		1895	194,7-318,18	-
		2792	474	-
4.	Acetonas	76	28,5-40,29	1,33
		1124	40,45	-
		-	52,6	-
5.	Akroleinas	168,89	6,08-9,65	1,27
		180	7,88	-
		275,2	0,91	-
6.	Butiraldehidas (butanalis, MEK)	90,16	7,15	0,15
		141,3	11,8	-
7.	Krotonaldehidas	31,4	2,62	180
		32	3,62-9,73	-
		92,9	-	-
8.	Formaldehidas	63,5	5,04	0,49
		78,4	13,39-33,14	-
		153,13	-	-
9.	Propionaldehidas	135,5	13,64 ^f	0,49
		153,6	14,53	-
		203,5	87,3	-
10.	Fenolis	21,35	1,82	0,024
		22,2	-	-
		22,35	-	-
11.	Piridinas	23,68	20,76	0,0001
		46,7	-	-

1.5.1. THS emisijų patalpų ore apžvalga: formaldehidas

Formaldehidas yra vienas iš dažniausiai atrandamų teršalų aplinkos ore, įvairiose vidaus patalpose. Be rūkymo, yra daugybė kitų šaltinių, lemiančių formaldehido kiekio koncentracijos ore padidėjimą. Formaldehido šaltiniai: izoliacinės medžiagos, medžio drožlių plokštės ar faneros baldai, vandens pagrindu pagaminti dažai, audiniai, buitinės valymo priemonės, dezinfekcijos priemonės, pesticidai, statybinės medžiagos, turinčiose karbamido – formaldehido dervų. Formaldehido koncentracijos, kaitinamojo tabako aerozolyje gali padidėti dėl šildomo tabako, kai šiluma pereina į tabako lazdelės filtrą ir iš jo susidaro kenksmingi junginiai.

Atliktuose tyrimuose gyvenamosiose patalpose, formaldehido koncentracijos svyruoja nuo $5,3\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Maisey ir kt. 2013) iki $33\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Hult ir kt. 2015). Daugumoje gyvenamosios aplinkos patalpose, formaldehido koncentracijos buvo didesnės, lyginant su koncentracijomis patalpose kur buvo naudojamas THS, gautos vertės: $22,4\mu\text{g}/\text{m}^3$, Mitova ir kt. (2016) ir $13,3\mu\text{g}/\text{m}^3$ Ruprecht ir kt. (2016), tačiau bendras skirtumas tarp peržiūrėtų koncentracijų vidurkio nėra statistiškai reikšmingas ($p>0,05$). Kitame moksliniame straipsnyje, formaldehido koncentracijų kiekiai, kaitinamojo tabako aerozolyje siekė $(0,945 \pm 0,214\mu\text{g}/\text{lazdelė})$ [13,35].

1.5.2. Acetaldehidas

Acetaldehidas naudojamas kvėpalų, poliesterio dervų gamybai, dažikliuose, vaisių ir žuvų konservantas alkoholio denatūriatorius, kuro kompozicijose, želatinos kietėjime, tirpiklis, rauginimo ir popieriaus pramonėje. Atlieka funkciją, tarpinio augalų kvėpavimo produkto ir susidaro nepilno degimo metu lauzavietėse, kavos skrudinime, tabako deginime ir transporto priemonių išmetamųjų dujų sudėtyje. Židiniai ir malkinės krosnys – pagrindiniai šaltiniai acetaldehido gyvenamose patalpose. Žmogus taip pat turi įtakos acetaldehido kiekiui aplinkoje, nes žmogaus iškvėptame ore yra acetaldehido kaip metabolizmo produktas susidaręs iš cukraus ir etanolio.

Mokslinėje literatūroje, didžiausią vidutinę medianos vertę acetaldehido, kai patalpoje buvo naudojami kaitinamojo tabako gaminiai, buvo išmatuota Kanadoje, rezidencijoje, vasaros ir žiemos sezonais ir gauta vertė atitiko $23,5\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hult ir kt. (2015) tyrime, eksperimentų metu, gauta vidutinė acetaldehido vertės duomenys ir reikšmė atitiko $18,6\mu\text{g}/\text{m}^3$, esant oro mainų greičiui $0,5\text{val}^{-1}$ JAV rezidencijose. Derbez ir kt.(2014) moksliniame darbe, pranešė apie $16,5\text{mg}/\text{m}^3$ koncentraciją, 6 naujuose pastatytuose, energiją taupančiuose namuose, Prancūzijoje. Šios gautos koncentracijos statistiškai reikšmingai didesnės ($p<0,05$), lyginant su gauta koncentracija, naudojant THS eksperimentinėje gyvenamoji aplinka ($7,4\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Mitova ir kt. 2016). Yong-Hyun Kim ir kt. 2020 mokslinėje apžvalgoje, gauta aerozolyje acetaldehido reikšmė – $63.5 \pm 18.4\mu\text{g}/\text{lazdelė}$ [13,35,39].

1.5.3. Benzenas

Benzenas ore aptinkamas degant anglims ir naftai, degalinėse, motorinių transporto priemonių išmetamosiose dujose, naudojamas ploviklių gamyboje, sprogmenų, farmacijos produktuose ir dažikliuose. Vienas iš tabako dūmuose atrandamų junginių – benzenas. Moksliniuose tyrimuose, benzeno koncentracijos gyvenamose aplinkose svyruoja nuo $0,8\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Kaunelienė ir kt. 2016) iki $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Jarnstrom ir kt. 2006), mokyklose nuo $1,1\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Verrielle ir kt. 2016) iki $2,6\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Geiss ir kt.2011) ir buvo statistiškai nereikšmingas ($p>0,05$), nes gauta reikšmė su THS, eksperimentiniais duomenimis – $0,57\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mitova ir kt. 2016)[13,39].

1.5.4. Toluenas

Dažnu atveju toluenas naudojamas benzino priedas, skirtas pagerinti oktanių reitingą. Toluenas naudojamas benzeno gamyboje gaminti ir kaip tirpiklis dažuose, dangose, sintetinėse kvapiosiose medžiagose, klijuose, rašaluose, valymo priemonėse, gaminant polimerus, plastikinius butelius, poliuretanas skirtus farmacijai, dažikliuose, kosmetikos gaminiuose ir organinių chemikalų sintezėje. Aukščiausios tolueno koncentracijos aptinkamos patalpų ore paprastai būna, kai naudojami buitiniai produktai: dažai, dažų skiedikliai, klijai, sintetinių kvėpikliai, nagų lakas ir cigarečių dūmai.

THS medianos koncentracija, kuri buvo gauta atlikus eksperimentą patalpoje, kurioje yra imituojamos gyvenamųjų patalpų sąlygos sudarė $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o ofiso ir ligoninės sąlygomis sudarė – $0,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mitova ir kt., 2016), kol tuo tarpu rezidencijose koncentracijų diapazonas siekė nuo $2,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Maysey ir kt., 2013) iki $14,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ir buvo statistiškai reikšmingas ($p < 0,05$) [13,39].

1.5.5. Nikotinas

Nikotinas yra alkaloidas, esantis nakvišų augalų (*Solanaceae*) šeimoje, daugiausia randama tabake, mažus jo kiekius galima atrasti pomidoruose, bulvėse, baklažanuose ir žaliuose pipiruose. Nikotinas – stipriai veikiantis neurotoksinas, įeinantis į insekticidų sudėtį. Mažesnėmis koncentracijomis nikotinas veikia kaip stimulatorius ir yra vienas iš pagrindinių veiksnių, lemiančių tabako rūkymo priklausomybę. THS generuojamo nikotino kiekis buvo nustatytas $10,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kuris yra žymiai mažesnis savo verte, negu gaunamos koncentracijos, tradicinėje cigaretėje $168 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mitova ir kt., 2016) [13,39].

1.5.6. Aerozolių dalelės

Aerozoliai natūraliai egzistuoja atmosferoje, atsirandantys dėl ugnikalnių, dulkių audrų, gaisrų, gyvosios augmenijos ir jūros purslų – turi skirtingą dydį, sudėtį ir kilmę. Gali būti kietos, skystos arba abiejų būsenų suspensijos ore ir sudaro sudėtingą, organinių ir neorganinių medžiagų mišinį.

KD dalelių dydis svyruoja nuo $0,005 \mu\text{m}$ iki $100 \mu\text{m}$ skersmens. Visos aplinkoje esančios kietosios dalelės (skersmuo nuo $0,005 \mu\text{m}$ iki $100 \mu\text{m}$) yra vadinamos bendru suspenduotų kietųjų dalelių kiekiu. Kietosios dalelės yra priskiriamos prie teršalų grupės, dažnai susijusių su šilumos naudojimu, nikotino turinčių prietaisų. Kaitinamojo tabako gaminių aerozoliai, kokybiniu ir kiekybiniu atžvilgiu skiriasi nuo tradicinių cigarečių sugeneruojamų tabako aerozolių. Iškvėptame aerolyje įprastai yra daug smulkių (daugiausia skystos būsenos) dalelių. Dėl labai lakios prigimties, šios dalelės toliau veikiamos transformacijų, tokių kaip branduolių susidarymas, kondensacijos ir garavimo.

$\text{KD}_{2,5}$ yra labai mažos dalelės, dažniausiai randamos dūmuose. Jų skersmuo yra 2,5 mikrometrai ($0,0025 \text{ mm}$) arba mažiau. $\text{KD}_{2,5}$ dalelių pagrindiniai šaltiniai: dūmai nuo gaisro šaltinio, lengvųjų automobilių ir sunkvežimių išmetamosios dujos, pramonė. KD_{10} – įkvepiamos dalelės, kurių skersmuo paprastai yra 10 mikrometrų ir mažesnis; randamos dulkėse ir dūmuose. Mažesnės nei $0,1 \mu\text{m}$ dalelės vadinamos ypač smulkiomis dalelėmis.

Atliktuose tyrimuose kameroje su THS, $\text{KD}_{2,5}$ koncentracijos buvo gautos $32,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ruprecht ir kt. 2017). Mitova ir kt. (2016), naudojant kaitinamojo tabako produktą, nustatė mažesnę smulkiųjų $\text{KD}_{2,5}$ kiekį, pagal įkvepiamųjų dalelių koncentracijas, kurios nukrito žemiau, iki kiekybinio įvertinimo ribos ($< 14,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Tuo pačiu metu, atliekant deginimo procesą tradicinėje cigaretėje,

gauta kvėpuojamų suspenduotų dalelių koncentracija 268 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Remiantis Hirano ir kt. (2020) atliktuose tyrimuose, buvo stebimos 4 skirtingų tabako gaminių, (ploomTECH, Glo, IQOS, tradicinė cigaretė) iškvėpiamų dūmų, nikotino ir $\text{KD}_{2.5}$ koncentracijų lygiai. Bandytas vyko labai mažoje patalpoje (ilgis 0,80 m \times plotis 0,80 m \times aukštis 2,24 m), imituojuant dušo kabiną ir gauti rezultatai parodė, jog iš visų tabako gaminių, ploomTECH turėjo mažiausią $\text{KD}_{2.5}$ dalelių koncentraciją [1,11,13,39, 44].

2 lentelė. Nikotino ir $\text{KD}_{2.5}$ koncentracija mažoje patalpoje (Hirano, 2020).

THS	Produktas	Nikotinas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		$\text{KD}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		1,0m	1,8m	1,0m		1,8m	
				Vidurkis	SD	Vidurkis	SD
ploomTECH	Mevius regular	29,3	25,9	21	55	10	6,6
Glo	Kent	160	111	330	564	99	119
IQOS	Marlboro regular	257	212	492	667	413	466
(cigaretė)	Mevius One	1040	2420	>10,700	-	>5800	-

1.5.7. Kaitinamojo tabako potencialus poveikis žmonių sveikatai

Remiantis, tabako pramonės finansuojamais tyrimais, atliktų Japonijoje, tarp suaugusiųjų rūkančiųjų žmonių, rezultatai parodė, kad THS efektyviai tiekia nikotiną į organizmą ir pasiekia panašų farmakokinetinį pobūdį kaip ir degios cigaretės. Brossard ir kt. (2017) moksliniame straipsnyje paminėta, kad IQOS nikotino farmakokinetikos profilis, artimas įprastų cigarečių. Remiantis Adriaens ir kt. moksliniais tyrimais, teigiama, jog panaudojus 5min IQOS, rezultatuose buvo pastebėtas, nedidelis iškvėpto anglies monoksido lygio padidėjimas (0,3 ppm). Anglies monoksidas, turi žalingą poveikį sveikatai, labiausiai kenkia plaučiams bei širdies ir kraujagyslių sistemai. Atliktų tyrimo analizės apie jo išsiskiriančius kiekius tradicinėse cigaretėse ir THS, K. Bekki ir kt. autoriai išmatavo, jog anglies monoksido koncentracijos, kaitinamojo tabako produktuose yra beveik 100 kartų mažesnės, negu įprastose cigaretėse. Tokius rezultatus galėjo lemti, jog tokią žemą koncentraciją išsiskiriančiame aerolyje, pasiekta dėl gaminio sistemos žemos degimo temperatūros ir kaitinamojo mechanizmo.

Atlikus kitų mokslinių šaltinių apžvalgą, rasti skaičiavimai atskleidė, jog THS vėžio išsivystymo stiprumas buvo mažesnis nei tradicinių cigarečių, tačiau didesnis nei daugumos elektroninių cigarečių. Kitas įdomus tyrimas, kurį atliko Tabuchi ir kt. buvo atlikta apklausa, kuri truko 3 metus ir tarp 8240 tiriamųjų asmenų, apie 12 % iš visų apklaustųjų (N=97) pranešė apie pasyvaus kaitinamojo tabako aerolyje poveikį. Tarp visų žmonių, patekusių į pasyvų rūkymą, 37 % buvo patyrę bent 1 sveikatos simptomų sutrikimą. Dažniausiai pranešti simptomai, po antrinio poveikio (pasyvaus rūkymo): bloga savijauta (25 %), akių skausmas (22,3 %) ir gerklės skausmas (20,6 %).

Didžiausias simptomų, atsirandančių dėl pasyvaus THS dūmų poveikio, paplitimas buvo pastebėtas tarp žmonių, kurie prieš apklausą, niekada nesa vartoję tabako gaminius. Mokslininkai iš Japonijos pranešė apie 2 ūminės eozinofilinės pneumonijos atvejus, po THS vartojimo. Pirmasis atvejis, ūmine

eozinofilinė pneumonija diagnozuota 20 metų vyrui, kuris 6 mėnesius kasdien rūkė bent 20 IQOS lazdelių ir padvigubino lazdelių vartojimą likus 2 savaitėms iki hospitalizacijos. Antrasis ūminio eozinofilinio atvejis, plaučių uždegimas buvo diagnozuotas 16 metų vyrui, kuris jau bronchų astma sirgo nuo vaikystės ir jam šis poveikis nustatytas po 2 savaitių kaitinamojo tabako produkto vartojimo.

Mokslinėje literatūroje pastebima, kad galima, teigiama koreliacija tarp kaitinamojo tabako produktų naudojimo ir kvėpavimo takų ligų atsiradimo. Tyrime, kuriame buvo vertinamas ryšys tarp IQOS ir nosies trombocitus aktyvinančio faktoriaus receptoriaus ekspresijos (PAFR), kuris turi įtakos bakterijų sukibimui ir taip sukelia kvėpavimo takų infekciją, buvo pastebėta, kad PAFR ekspresija žymiai padidėjo nosies epitelio ląstelėse po IQOS produkcijos panaudojimo. Taip pat šioje mokslinėje studijoje buvo pabrėžta, jog kaitinamojo tabako produktų naudojimas, padidino infekcijų sukeltą, astmos priepuolių dažnumą.

Rūkymo metu išsiskiriančios medžiagos turi poveikį ir aplink rūkantį žmogų esančius ir kitus asmenys, kurie dalyvauja pasyvaus rūkimo procese. Iš turimų tyrimo duomenų yra žinoma, jog nerūkantys žmonės kartu gyvenančiais rūkančiais asmenimis turi iki 30% didesnę tikimybę numirti nuo koronarinės širdies ligos. Atlikus tyrimus su kaitinamojo tabako produktais buvo gauti rezultatai, jog išsiskiriančių kenksmingų ir potencialiai kenksmingų medžiagų kiekis yra mažesnis, negu tradicinių cigarečių tai ir kartu aplinkiniams pasyvus rūkymas THS aplinkoje yra mažiau kenksmingas [5,12,25,26].

1.5.8. Eksperimentiniai gyvūnų ir ląstelių tyrimai

Tabako industrija yra įvykdžiusi daugybę *in vitro* tyrimų, THS poveikio nustatymui, žmonių bronchinėse epitelio ląstelėse, vainikinėse arterijų endotelio ląstelėse, dantenų epitelio organotipinėse kultūrose, monocitinėse ląstelėse. Šių atliktų tyrimų metu gauti rezultatai parodė, jog aerosolis susidarantis iš THS produktų, turi mažesnę koncentraciją kenksmingų medžiagų lyginant su įprastomis cigaretėmis. IQOS aerosolio tyrimai nustatė, jog šis gaminyje turėjo mažesnę biologinį poveikį žmogaus organotipinėms bronchų epitelio ląstelėms ir žymiai mažesnę poveikį audinių, morfologijos pokyčiams lyginant su cigarečių dūmais arba naudojant gaminius, kurie turi panašias nikotino koncentracijas sudėtyje. Kitame moksliniame darbe apie cigarečių vartojimo įpročius, gauti duomenys patvirtino, jog stipriai pasikeičia dantų spalva ir pablogėja burnos būklė, tačiau THS vartojimo metu, šis poveikis buvo sumažintas iki minimumo.

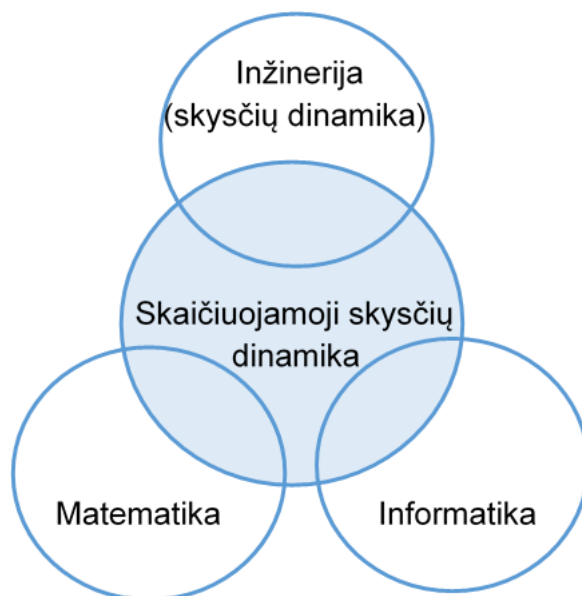
Moksliniame straipsnyje apie bendrąją kietųjų dalelių koncentraciją, gaunama iš IQOS, buvo patvirtinta, jog turėjo mažesnę poveikį genų ekspresijai, oksidaciniam fosforilinimui lyginant su tradicinėmis cigaretėmis.

Dauguma straipsnių apžvalgų apie *in vivo* tyrimus, dažniausiai šie tyrimai buvo atliekami pelėms. Eksperimentai vykdavo apolipoproteino E – trūkumo (ApoE^{-/-}) pelių modeliams, kai jos gyveno 8 mėnesius aplinkoje, kurioje jos turėjo kontaktą su cigarečių dūmais ar su kaitinamojo tabako produktais. Rezultatai parodė, jog THS aerosoliai neturėjo įtakos dalyvaujančių genų citoskeleto vystymosi reguliavimui, širdies susitraukimo funkcijai ar su uždegiminiais atsakais. Buvo atrasta, jog IQOS aerosolis sumažino pelėms ApoE^{-/-} biologinį efektą, kepenų pažeidimams. Tačiau kitų autorių mokslinėje literatūroje, buvo pastebėtas staigus padidėjimas alanino aminotransferazės, kuris turi įtakos kepenų padidėjimui[5].

1.6. Skaičiuojamosios skysčių dinamikos principai

1.6.1. Skysčių dinamikos apibrėžimas

Skaičiuojamoji skysčių dinamika (angl. *computational fluid dynamics* – *CFD*) (toliau – *SSD*), tai fizikinio reiškinio, matematinio modeliavimo procesas, susijęs su skysčio srautu. Pagrįstas Navier-Stroke lygtimis, kurios apibūdina judančio skysčio slėgį, greitį, tankį ir temperatūrą. Skaičiuojamoji skysčių dinamika naudoja skaitmeninius metodus, matematinį modeliavimą ir programinės įrangos priemones, skirtas išspręsti ir analizuoti problemas, susijusias su skysčių srautais, remiantis skaitmeninių diferencialinių lygčių sprendimu, reguliuojančiu masės, impulso ir energijos pernešimą, judančiuose skysčiuose[15].



5 pav. Disciplinos, sudarančios skaičiuojamąją skysčių dinamiką.

CFD yra tapęs vienu iš trijų pagrindinių metodų, kuriuos galima taikyti skysčių dinamikos ir šilumos perdavimo problemoms spręsti. Kaip parodyta paveikslėlyje (žr. 5 pav.), kiekvienas metodas yra glaudžiai susijęs ir nėra izoliuotas.

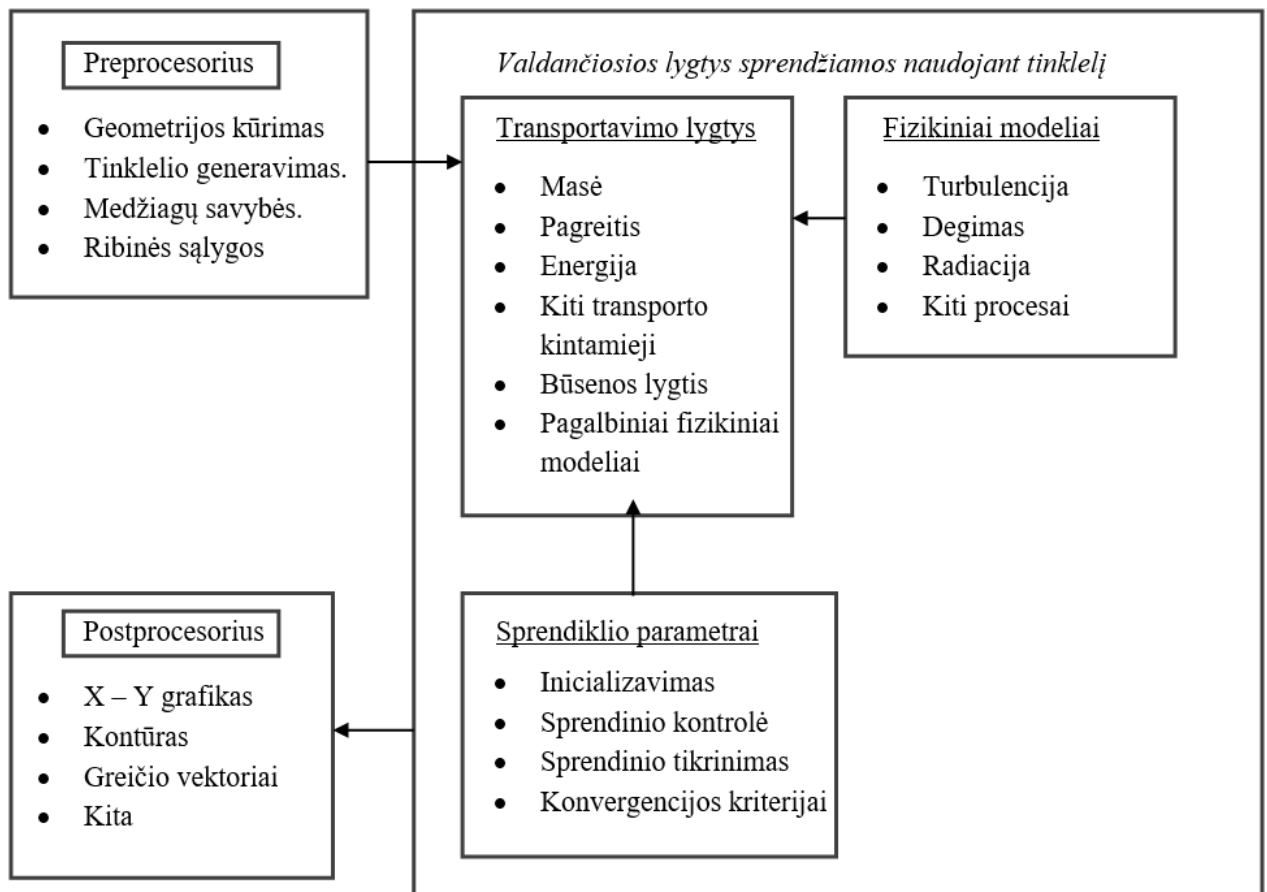
Tradiciskai įvairiems skysčių dinamikos aspektams tirti ir padėti inžinieriams projektuoti įrangą ir pramoninius procesus, susijusius su skysčių tekėjimu ir šilumos perdavimu, naudojami ir eksperimentiniai, ir analitiniai metodai. Atsiradus skaitmeniniams kompiuteriams, skaičiavimo (skaitmeninis) aspektas tapo dar vienu perspektyviu metodu. Nors daugelis vis dar taiko analitinį metodą ir toliau atliekama nemažai eksperimentų, akivaizdu, kad pramoniniuose projektuose, ypač kai skysčių srautai yra labai sudėtingi, vis dažniau yra remiamasi skaičiavimo metodu.

SSD apima analizuojamos geometrijos padalijimą į baigtinį tūrių rinkinį, vadinamą ląstelėmis. Ši skaičiavimo sritis vadinama tinkleliu arba tinklu. Diferencinės lygtys, vaizduojančios masės, impulso ir energijos išsaugojimą yra diskretizuojamos į algebrines lygtis, kurios išsprendžiamos kiekvienai ląstelei, todėl susidaro srauto laukas. Supaprastinamos prielaidos, tokios kaip pusiausvyros būseną, nematomas srautas ir dvimatis (2D) modelis[50].



6 pav. Trys pagrindiniai skysčių dinamikos ir šilumos perdavimo uždavinių sprendimo būdai.

Žemiau esančiame paveiksle (žr. 7 pav.) paaiškinama, kaip atliekama tipinė CFD simuliacija[50].



7 pav. Trijų pagrindinių CFD analizės sistemos elementų tarpusavio ryšio funkcijos.

1.6.2. Privalumai ir trūkumai

Skaičiuojamoji skysčių dinamika, turi tam tikrus privalumus ir trūkumus. Vienas iš SSD privalumų, jeigu analizuojamas įrenginio ar sistemos projektas, kuris sunkiai apskaičiuojamas, ši analizė leidžia

virtualiu būdu patekti į projektą ir pamatyti, kaip jis veikia. Skaitinis modeliavimas pasitelkiamas tuomet, kai eksperimento sąlygos neleidžia fiziškai jų atlikti, vykstantys procesai yra sunkiai išmatuojami, greitai vykstantys arba lėti, kyla pavojus žmogaus sveikatai ar dėl ekonominių išteklių. Sprendžiami labai įvairūs uždaviniai. Modeliavimas gali būti naudojamas technologinių procesų tobulinimui. Yra daugybė aspektų, kuriuos galima išanalizuoti skysčių dinamikos būdu, kas nėra įmanoma su kitomis priemonėmis. Per trumpą laiko tarpą galima numatyti, kokie bus projekto rezultatai ir kartu išbandyti daugybę jo variacijų. Darbo efektyvumas – numatoma įžvalga padeda geriau kurti, kad būtų pasiekiami geriausi rezultatai. Šiai dienai skaičiuojamoji skysčių dinamika taikoma daugybėje skirtingų sričių: biomedicinoje, pramonėje, energetikoje, branduolinėje saugoje, elektronikoje, gynybinėse sistemose, aviacijoje, aplinkosaugoje ir kitose srityse.

Tarp daugybės privalumų, yra ir keletas trūkumų:

1. nuolat sprendžiamos lygtys kompiuteryje įveda skaitines klaidas;
2. sutrumpinimo klaidos dėl apytikslų skaitmeninių modelių;
3. suapvalintos klaidos;
4. skaičiuojamosios skysčių dinamikos sprendimo tikslumas labai priklauso nuo pradinių ar ribinių sąlygų, kurios yra pateikiamos skaitmeniniam modeliui;
5. priklausomai nuo apibrėžtos sistemos sudėtingumo, galimas ilgas, pateiktų uždavinių skaičiavimo laikas[17].

1.7. Programinė įranga: „SOLIDWORKS“

„SOLIDWORKS“ (DASSAULT SYSTEMES SolidWorks Corp., Waltham, MA, USA) programinės įrangos srauto modeliavimas yra intuityvus skaičiavimo skysčių dinamikos sprendimas, integruotas į „SOLIDWORKS 3D CAD“ ir leidžiantis greitai ir lengvai imituoti skysčių ir dujų srautus, apskaičiuojant sistemos našumą ir galimybes. SolidWorks srauto modeliavimo metodas grindžiamas dviem pagrindiniais principais:

1. tiesioginis vietinės CAD naudojimas kaip geometrijos informacijos šaltinis;
2. pilno 3D CFD modeliavimo derinimas su paprastesniais inžinerijos metodais tais atvejais, kai tinklelio skiriamoji geba yra nepakankama 3D modeliavimui.

CAD sistemoje veikianti SolidWorks srauto modeliavimo technologija, apima daugybę sričių:

- CAD duomenų valdymas;
- tinklelio generavimas;
- CFD sprendėjai;
- inžinerinio modeliavimo technologijos;
- rezultatų apdorojimas [40].

1.7.1. Fiziniai modeliai

Dekarto tinklelio metodas, naudojamas SolidWorks srauto modeliavime, leidžia atlikti konjuguotus daugiafizinius skaičiavimus, naudojant vieną skaičiavimo tinklelį su skysčių ląstelėmis, kietosiomis ląstelėmis ir (daugialypės CV) dalinėmis ląstelėmis:

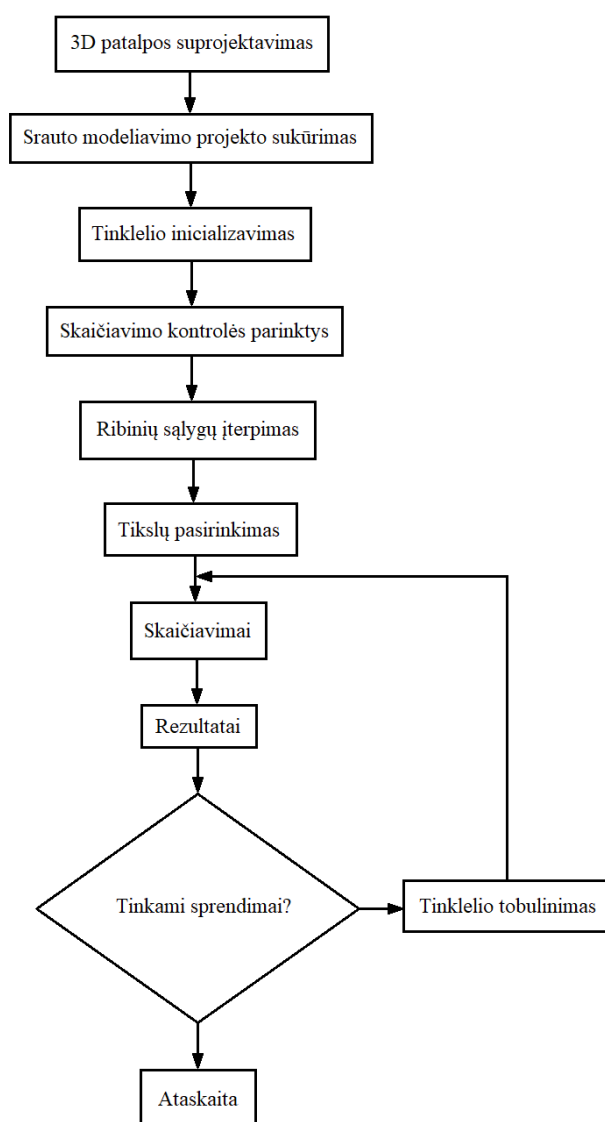
- Skysčio srautų analizė skysčio regionuose;
- Šilumos perdavimas ir nuolatinės elektros srovės skaičiavimas.

Skysčio srauto analizę ir šilumos laidumą taip pat galima vykdyti atskirai. Be to, visus šiuos skaičiavimus galima susieti su skirtingais radiacijos modeliais. Visiems šiems fiziniams reiškiniams, CAD geometrija išlieka kaip pradinis geometrinės informacijos šaltinis [30].

1.7.2. „SOLIDWORKS Flow simulation“

„SOLIDWORKS Flow simulation“ tai skysčių analizės programos dalis, skirta gauti pilnų Navier – Stokso lygčių, reguliuojančių skysčių judėjimą, sprendimus. Srauto modeliavimo procesą, sudaro šie žingsniai iš eilės: analizės tipo pasirinkimas, skysčio ar kietosios medžiagos parinkimas ir sienos būklės bei pradinių ir aplinkos sąlygų nustatymai. Šioje programoje sprendžiant, bet kokia skysčio srauto problemą, kuri yra išspendžiama naudojant srauto modeliavimą, turi būti suskirstyta į vidinį arba išorinį ribotąjį srautą.

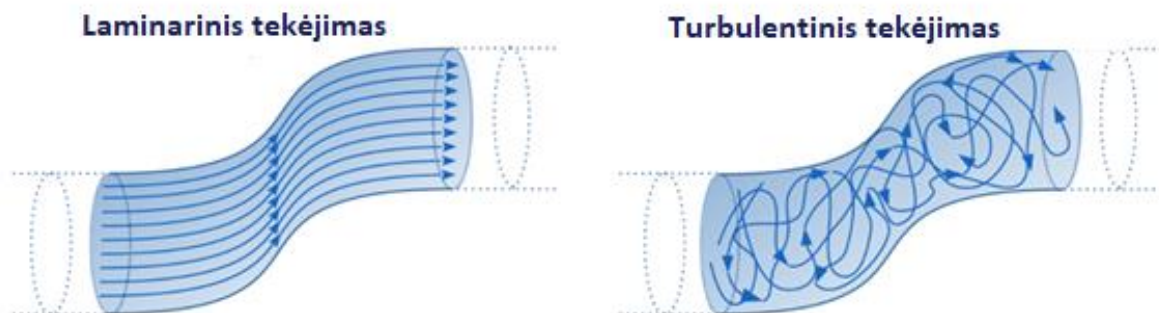
Skysčio srauto analizė, naudojant srauto modeliavimą, apimanti keletą pagrindinių žingsnių, kuriuos galime išvysti toliau esančioje struktūrinėje schemoje[20].



8 pav. Srauto modeliavimo struktūrinė schema.

1.7.3. Navier-Stokes lygtys laminariniais ir turbulentiniais skysčių srautams

Laminarinis skysčių tekėjimas yra dalelių judėjimas sraute, dalelės nesimaišant ir lygiagrečiai judant. Turbulentiniu tekėjimu vadinama, kai skysčio srauto tekėjimo greitis yra didinamas ir atsiranda sukūriai. Nustatyta, jog yra du skirtingi srautų tekėjimo būdai: laminarinis, kai srauto skysčio sluoksniai juda tolygiai, o turbulentinio tekėjimo atveju, netvarkingai, sudėtingomis trajektorijomis.



9 pav. Laminarinio ir turbulentinio srauto tekėjimai.

„Flow Simulation“ išsprendžia Navier-Stokes lygtis, kurios yra masės, impulso ir energijos išsaugojimo dėsnų formuluotės skysčių srautams. Sprendžiamos lygtys, papildamos skysčio būsenos lygtimis, apibrėžiančiomis skysčio prigimtį, ir empirinėmis skysčio tankio, klampos ir šilumos laidumo priklausomybėmis nuo temperatūros. Neelastingi, ne Niutoniniai skysčiai yra nagrinėjami nustatant jų dinaminės klampos priklausomybę nuo srauto šlyties greičio ir temperatūros, o suspaudžiamieji skysčiai nagrinėjami nustatant jų tankio priklausomybę nuo slėgio. Konkreti problema galiausiai sprendžiama apibrėžiant jos geometriją, ribines ir pradines sąlygas.

„Flow Simulation“ gali prognozuoti tiek laminarinius, tiek turbulentiškus srautus. Laminariniai srautai susidaro esant mažoms Reinoldso skaičiaus vertėms, kuris apibrėžiamas kaip greičio ir ilgio tipinių skalių sandauga, padalinta iš kinematinės klampos. Kai Reinoldso skaičius viršija tam tikrą kritinę vertę, srautas tampa turbulentiškas, t. y. srauto parametrai pradeda atsitiktinai svyruoti.

Dauguma skysčių srautų, su kuriais susiduriama inžinerinėje praktikoje, yra turbulentiški, todėl „Flow Simulation“ daugiausia buvo sukurta turbulentiškiems srautams modeliuoti ir tirti. Turbulentiškiems srautams prognozuoti naudojamos Favre Navier-Stokes lygtys, kuriose atsižvelgiama į srauto turbulencijos poveikį srauto parametrui pagal laiką, o į kitus, t. y. didelio masto, nuo laiko priklausančius reiškinius, atsižvelgiama tiesiogiai. Taikant šią procedūrą lygtyse atsiranda papildomų narių, vadinamųjų Reinoldso įtempių, kuriems reikia pateikti papildomą informaciją. Šiai lygčių sistemai sudaryti „Flow simulation“ naudoja greičio transporto lygtis turbulentinei kinetinei energijai ir jos sklaidai, vadinamai $k - \epsilon$ modeliu.

„Flow Simulation“ naudoja vieną lygčių sistemą laminariniais ir turbulentiškiems srautams aprašyti. Be to, galima pereiti iš laminarinės būsenos į turbulentišką arba atvirkščiai.

Srautai modeliuose su judančiomis sienelėmis (nekeičiant modelio geometrijos) yra apskaičiuojami nurodant atitinkamas kraštines sąlygas. Srautai, esantys modeliuose su besisukančiomis dalimis, yra apskaičiuojami koordinatinių sistemose, prijungtose prie besisukančių modelio dalių, t. y. besisukančiose kartu su jomis, todėl modelio stacionarios dalys turi būti aiškiai simetriškos sukimosi ašies atžvilgiu.

Masės, kampinio momento ir energijos konservavimo dėsniai Dekarto koordinatinių sistemoje, besisukančioje kampiniu greičiu apie ašį, einančią per koordinatinių sistemos pradžią, galima užrašyti konservacine forma:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1.7.1)$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) + \frac{\partial p}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + S_i \quad i = 1, 2, 3 \quad (1.7.2)$$

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i H}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}(u_j(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i) + \frac{\partial p}{\partial t} - \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \rho \varepsilon + S_i u_i + Q_H \quad (1.7.3)$$

$$H = h + \frac{u^2}{2} \quad (1.7.4)$$

Kur u - srauto greitis, ρ - skysčio tankis, S_i - tai masės vienetui tenkanti išorinė jėga, atsirandanti dėl akytosios terpės pasipriešinimo (S_i^{akytas}), plūduriavimo ($S_i^{gravitacija} = -\rho g_i$, g_i - gravitacinio pagreičio komponentė išilgai i -osios koordinatinių krypties) ir koordinatinių sistemos sukimosi ($S_i^{sukimasis}$), t. y. $S_i = S_i^{akytas} + S_i^{gravitacija} + S_i^{sukimasis}$, h - šiluminė entalpija, Q_H - šilumos šaltinis arba absorbentas, tūrio vienetui, τ_{ik} - klampaus šlyties įtempio jutiklis, q_i - difuzinis šilumos srautas [45,46,47].

1.7.4. Brauno difuzija

Šiame darbe apžvelgsime ir aerozolio dalelių įkvėpimą. Pagrindiniai mechanizmai, dėl kurių kvėpavimo takuose nusėda kvėpuojamosios dalelės, yra gravitacinis nusėdimas, Brauno difuzija ir inercinio poveikio. Dalelių nusėdimą plaučiuose lemia dalelių dydis, forma ir tankis.

Brauno difuzija - tai būdingas atsitiktinis mažų oro dalelių svyruojantis judėjimas nejudriame ore, kurį lemia nuolatinis aplinkinių dujų molekulių bombardavimas. Nusėdimo greitis dėl Brauno judėjimo iš laminarinio ar turbulentinio srauto yra didesnis nei iš nejudančio oro. Šis padidėjimas atsiranda dėl šviežių dalelių papildymo ribiniame sluoksnyje, kai srautas atkeliauja iš prieš srovę, todėl vietinis koncentracijos gradientas yra didesnis nei tada, kai srauto nėra. Pernešimo procesas, vadinamas konvekcine Brauno difuzija, atlieka pagrindinį vaidmenį nusėdant mažoms dalelėms kvėpavimo takuose.

Aerozolio dalelių konvekcinės Brauno difuzijos lygtis:

$$\frac{\partial n}{\partial t} + u \cdot \nabla n = D \nabla^2 n - \nabla c n \quad (1.7.5)$$

E yra dalelės greitis, kurį lemia išorinė jėga. Esant nusistovėjusioms sąlygoms ir nesant išorinių jėgų, konvekcinės Brauno difuzijos lygtį galima užrašyti bedimensine forma:

$$u^* \cdot \nabla^* n^* = \frac{1}{Pe} \nabla^{*2} n^* \quad (1.7.6)$$

N^* yra dalelių koncentracija, normalizuota pagal pagrindinės srovės koncentraciją. Beasmenis greitis ir operatorius, $u^* = u^*/U$ bei $\nabla^* = l \nabla$, yra apibrėžiami naudojant vidutinį greitį U ir sistemos charakteristinį ilgį l . Pecleto skaičius $Pe = l^*U/D$ rodo konvekcinio ir difuzinio masės perdavimo santykį. Jis lygus Šmidto skaičiaus (Sc) ir srauto Reynoldso skaičiaus sandaugai. Šmidto skaičius, apibrėžiamas kaip kinematinės klampos ir dalelių difuzijos koeficiento santykis, priklauso tik nuo dujų ir dalelių prigimties[51,52].

1.8. Apibendrinimas

Atlikta mokslinės literatūros apžvalga, analizuojant tabako kaitinimo produktų galimą poveikį žmogaus sveikatai ir patalpų oro kokybei, iš surinktų duomenų ryškėja tendencija, jog kaitinamojo tabako gaminiai yra mažiau kenksmingi negu tradiciniai tabako gaminiai. Literatūros apžvalgoje, išsamiai išanalizuotas THS gaminių veikimo principas, išpučiamų teršalų koncentracijos palyginimas su kitais tradiciniais tabako gaminiiais. Tabako pramonės remiami tyrimai, daugiausia teigė, kaitinamųjų gaminių mažesnę žalą sveikatai lyginant su įprastų cigarečių vartojimu, dėl mažesnių išskleidžiamų dūmuose esančių, kenksmingų medžiagų. Taip pat buvo apžvelgtos SSD modeliavimo galimybės, trūkumai ir privalumai bei skaičiavimo metodika ir modeliavimo proceso eiliškumas.

2. Metodinė dalis

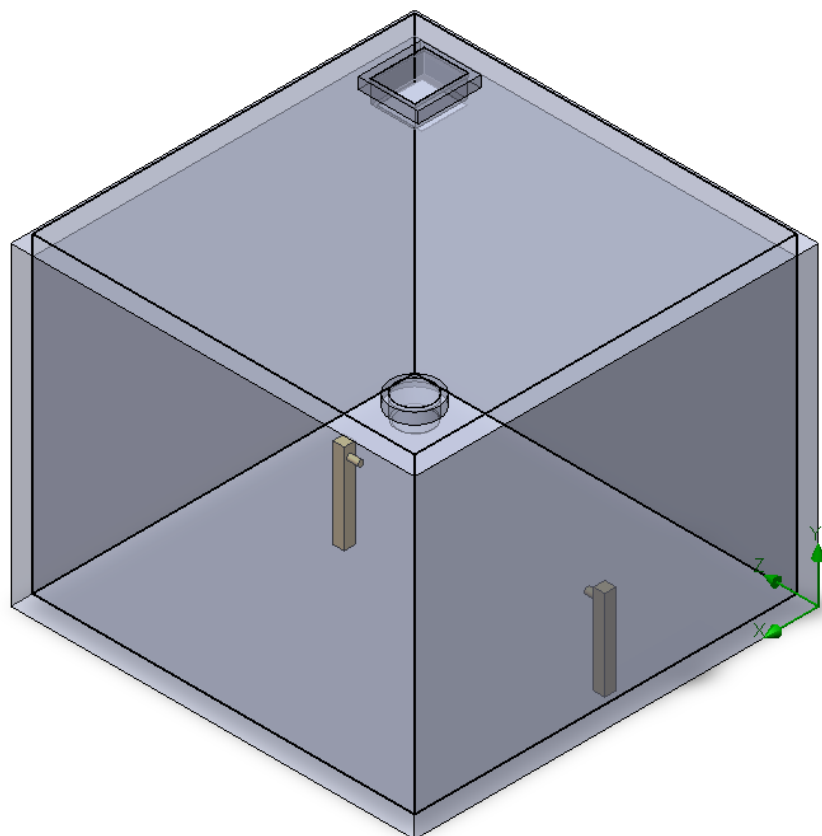
Metodinėje dalyje pateikiama pasiruošimo eksperimentams metodika, kurią sudaro:

1. SSD programinės įrangos „SOLIDWORKS 2021“ žinių gilinimas.
2. skaičiavimų 3D modelio erdvės suprojektavimas ir sistemos ribų apibrėžimas;
3. aerozolio dalelių sklaidos scenarijų modeliavimas esant skirtingiems ventiliacijos intensyvumams;
4. taršos šaltinio (aerozolio dalelių) generavimas į manekoną;
5. rezultatų įvertinimas ir modelio validavimas.

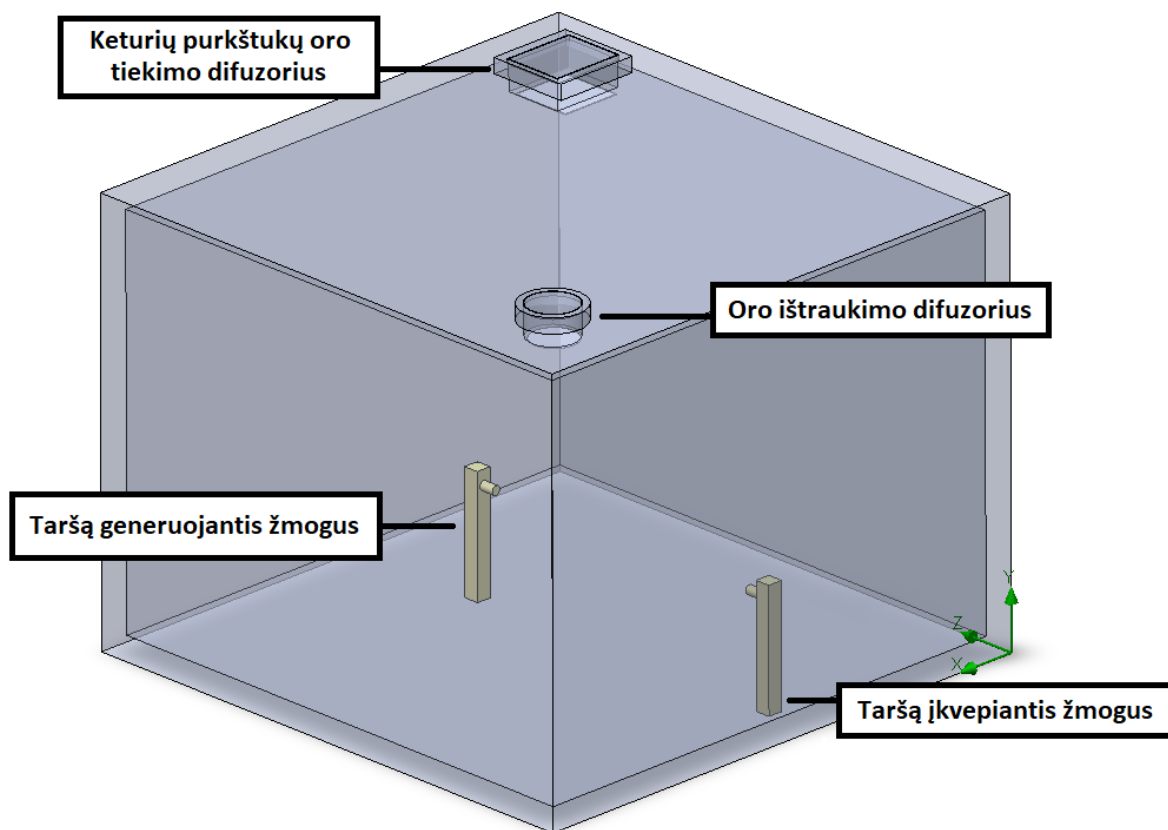
Tyrimų metodika parengta siekiant pasirengti eksperimentams, kurie skirti ištirti pasirinktų teršalų sklaidos scenarijus, esant skirtingiems ventiliacijos intensyvumams ir pasiruošti tolimesnei darbo eigai, kai bus tiriama kaitinamojo tabako produkto, išpučiamų teršalų dalelių modeliavimas į sėdintį žmogų (manekoną).

2.1. Teršalų sklaidos modeliavimas

Norint įvertinti teršalų sklaidą esant skirtingiems ventiliacijos intensyvumams, buvo atliekamas SSD modeliavimas. Šiam tikslui buvo suprojektuota 3D geometrijos patalpa, Solidworks programoje. Kameros duomenys ir matmenys buvo imami iš jau prieš tai atlikto tyrimo duomenų, kai buvo vykdoma kaitinamojo tabako gaminių, skleidžiamų teršalų analizė ir pagal pateiktus duomenys, patalpos rodmenys sudarė: plotis – 3,6 m, ilgis 3,6 m, aukštis – 2,8 m (grindų plotas 13 m² ir patalpos tūris 35,8 m³) suteikiant standartinio kambario sąlygas. Kambario sienos, grindys ir lubos pagamintos naudojant įprastas statybines medžiagas, tokios kaip sienos dažytos dažais, PVC pamušalas ir skydinės lubos. Tiekiamo ir šalinamo oro srautas, per lubų oro difuzorius, valdomas naudojant vėdinimo įrenginį (GOLD 04, Swegon AB, Sweden). Eksperimentų metu, nustatyta tiekiamo oro temperatūra siekė iki $+22 \pm 2$ C. Santykinė drėgmė (RH) buvo reguliuojama iki 30 %, naudojant oro drėkinimo sistemą (ES4, NORDMANN Engineering AG, Basel, Switzerland). Vienas, keturių purkštukų oro tiekimo difuzorius (0,5 x 0,5 m) su slėgio dėže, buvo naudojamas lubų oro tiekimui [22].

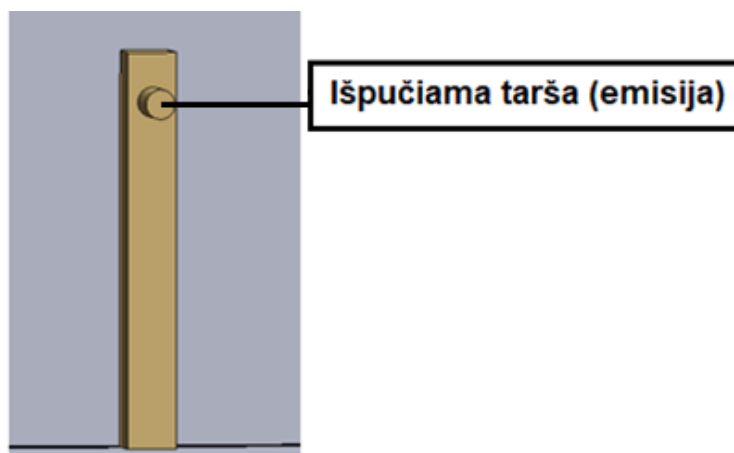


10 pav. Suprojektuotos patalpos 3D geometrijos brėžinys.

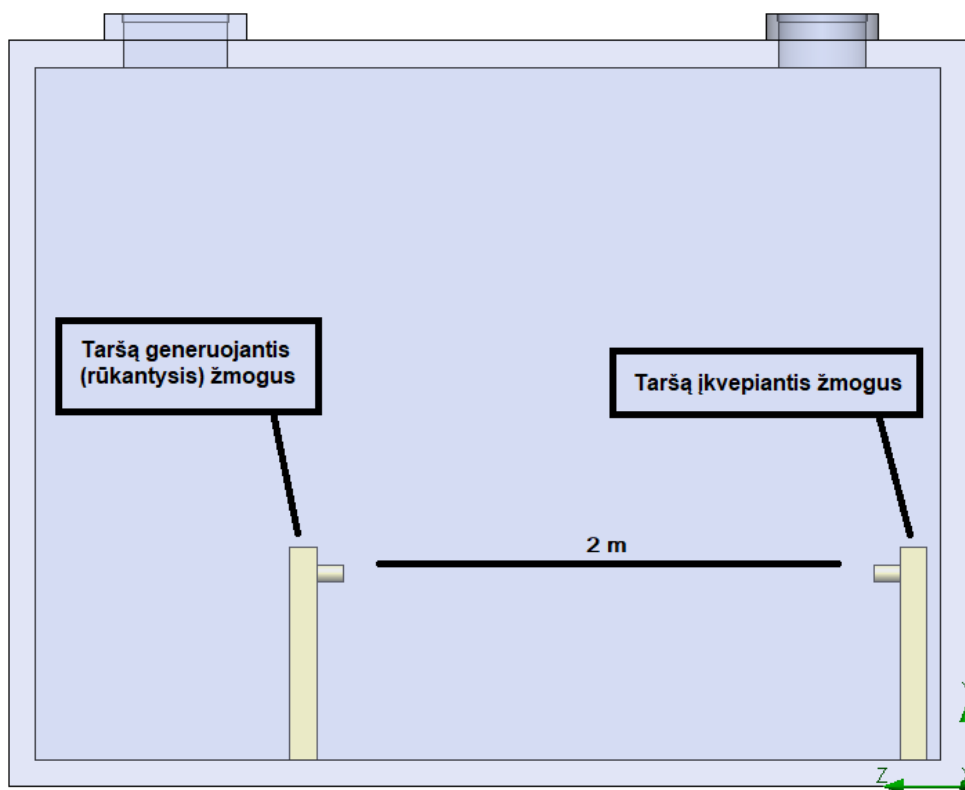


11 pav. Patalpos vaizdas iš viršaus ir oro tiekimo komponentai.

Tyrimo stebėjimui kameroje, buvo pastatytas stačiakampio formos manekenas, imituojantis žmogų. Manekeno paviršiaus plotas lygus $1,7 \text{ m}^2$ ir aukštis $1,2 \text{ m}$. Paviršiaus temperatūra palaikoma nuo $+31 \text{ }^\circ\text{C}$ iki $+34 \text{ }^\circ\text{C}$, atsižvelgiant į žmogaus kūno paviršiaus temperatūrą. Manekeno buvimo vieta netoli sienos. Kitas manekenas modelyje suprojektuotas 2 m atstumu, kuris atlieka taršos šaltinio vaidmenį, tai yra rūkantį, kaitinamąjį tabako gaminį, žmogų. Žemiau esančiame paveiksle (žr. 21), galima matyti žmogų esantį arčiau sienos ir atstumas tarp sienos ir jo siekia 20 cm [21].



12 pav. Suprojektuoto manekeno modelis.



13 pav. Šoninis patalpos vaizdas ir atstumas tarp manekenių.

2.2. Skaičiavimo modelis

Patalpos oro ir ventiliacijos parametrus galime apžvelgti 3 lentelėje. Buvo vykdomi trys skirtingi modeliavimai, kai buvo tiekiami skirtingi oro tūrio debitai. Oro kiekiai buvo parenkami, atsižvelgiant į patalpos parametrus. Parinktos $0,5 \text{ h}^{-1}$, 1 h^{-1} ir 2 h^{-1} oro apykaitos. Visų modeliavimo metu, yra išlaikomi tie patys patalpos temperatūros, santykinės drėgmės, slėgio sistemos, laisvojo kritimo pagreičio parametrų reikšmės.

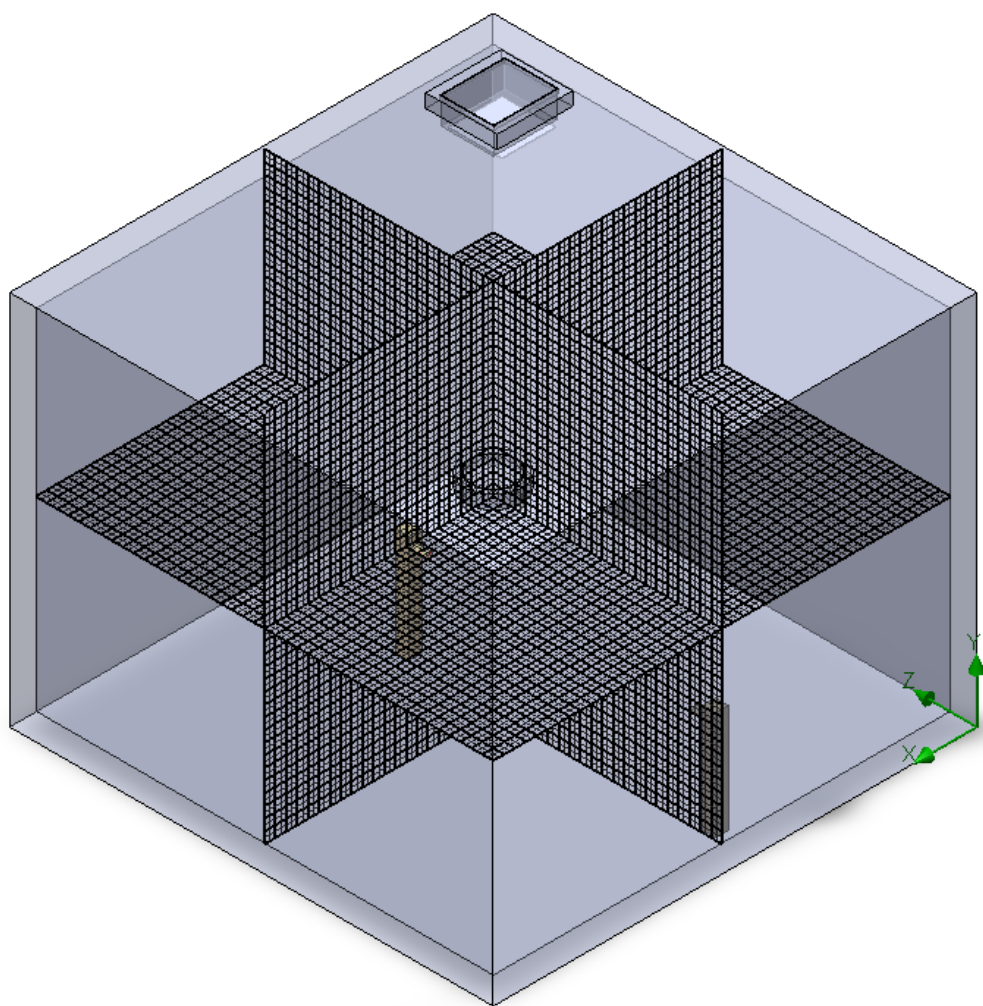
3 lentelė. Tyrimams parinktų patalpos oro sąlygų parametrai.

Tyrimo numeris	Ventiliacijos oro apykaitos režimai	Patalpos parametras	Patalpos parametro reikšmė
1	1 h^{-1} oro apykaita	Oro tiekimas, m^3/h	35,8
		Oro ištraukimas, m^3/h	35,8
		Patalpos temperatūra, $^{\circ}\text{C}$	22
		Santykinė drėgmė, %	30
		Slėgis, Pa	101325
		Laisvojo kritimo pagreitis, m/s^2	9,81
2	2 h^{-1} oro apykaita	Oro tiekimas, m^3/h	71,6
		Oro ištraukimas, m^3/h	71,6
		Patalpos temperatūra, $^{\circ}\text{C}$	22
		Santykinė drėgmė, %	30
		Slėgis, Pa	101325
		Laisvojo kritimo pagreitis, m/s^2	9,81
3	$0,5 \text{ h}^{-1}$ oro apykaita	Oro tiekimas, m^3/h	17,9
		Oro ištraukimas, m^3/h	17,9
		Patalpos temperatūra, $^{\circ}\text{C}$	22
		Santykinė drėgmė, %	30
		Slėgis, Pa	101325
		Laisvojo kritimo pagreitis, m/s^2	9,81

2.2.1. Tinklelio parinkimas

Žemiau esančiame paveiksle (žr. 14 pav.), galima matyti suprojektuotos uždaros patalpos, skaičiavimo tinklelio „Mesh“ vaizdą. Tinklelio sutankinimas yra labai svarbus, modeliavimo analizės, žingsnis. SolidWorks srauto modeliavimo tinklelis susideda iš stačiakampio gretasienio formos gardelių. SolidWorks srauto modeliavimo tinklelyje gali būti trijų skirtingų tipų pagrindinės gardelės: sklandžios, dalinės ir kietosios. Pagrindinės gardelės gali susiskaidyti rafinavimo proceso metu. Rafinavimo metu, gardelė yra padalijama į aštuonias mažesnes tokio paties tūrio gardeles. Tai reiškia, kad kiekvienos rafinuotos gardelės tūris yra originaliosios gardelės $1/8$. Skaičiavimo valdymo parinktyse galima nustatyti ne daugiau kaip septynis rafinavimo lygius. Atliekant bet kokį skysčių srautų skaičiavimo tyrimą, būtina keisti skaičiavimo tinklelio dydį ir stebėti, ar sprendinys konverguoja tikslinant tinklelį.

Srauto modeliavime taip pat yra šešios valdymo plokštumos srauto modeliavime, kuriomis galima optimaliai sutraukti ar išplėsti tinklą, kad būtų užtikrinta, jog skaičiavimo tinklelyje bus užfiksuotos geometrijos detalės ir ypatybės [34].



14 pav. Skaičiavimo tinklelio 3D vaizdas.

2.3. Tyrimų planas ir darbų seka

Tyrimo planas susideda iš tinkamų ventiliacijos sąlygų parinkimo, taršos šaltinio suprojektavimo (rūkantysis asmuo) ir generuojančio taršą objekto (manekeno) nustatymo. Šiuo eksperimentu, yra nustatoma, aerozolio dalelių koncentracija, patenkanti į kvėpuojantį manekoną ir palyginama jau su turimais eksperimentinio tyrimo duomenimis.

Planuojamos generuojamos taršos šaltinio dalelės: 50nm, 60nm, 70nm, 80nm, 90nm, 100nm. Išpučiamų dalelių kiekiai ir parametrai yra apskaičiuojami arba randamos vertės, remiantis iš mokslinės literatūros surinktų duomenų: tūrio, tankio turimais duomenimis ir apskaičiuojama dalelių masė per laiko vienetą[33,42].

4 lentelė. Srautų duomenys.

Dalelių skaičius sraute	1000
Dalelių oro srautas (įkvepiamas), l/min	20
Temperatūra, °C	33
Tankis, kg/m ³	1200
Aerolio dalelės greitis, m/s	1,3
Dalelių oro srautas (iškvepiamas), l/min	20

Žinant dalelių skersmenį, yra apskaičiuojamas vienos dalelės tūris:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3; \quad (2.3.1)$$

Kur V – aerolio dalelės tūris; π – matematinė konstanta, reikšmė – 3,14; r – rutulio (šiuo atveju aerolio dalelės) spindulys.

Toliau pagal tūrimus duomenys yra gaunama vienos dalelės masė, atsižvelgiant į dalelės tankį ir tūrį:

$$m = \rho V; \quad (2.3.2)$$

Kur m – aerolio dalelės masė, ρ – aerolio dalelės tankis, V – aerolio dalelės tūris.

5 lentelė. Aerolio dalelių masių reikšmės.

Aerolio dalelės dydis, nm	Vienos aerolio dalelės masė, kg
50	7,83 x10 ⁻²⁰
60	1,35 x10 ⁻¹⁹
70	2,14 x10 ⁻¹⁹
80	3,2 x10 ⁻¹⁹
90	4,56 x10 ⁻¹⁹
100	6,26 x10 ⁻¹⁹

Apskaičiavus aerolio dalelės masę, yra apskaičiuojamas išpučiamas teršalų srautas iš taršos šaltinio ir naudojantis „SOLIDWORKS“ programine įranga, yra atliekama funkcija „particle study“. „Dalelių studija“ – vykdoma simuliacija mažų dalelių, kai jos patenka į egzistuojantį srautą. Šio modeliavimo metu, stebimas tiek kietų, tiek skysčio dalelių judėjimas[40].

Programinėje įrangoje apskaičiuojama pagal žemiau esančias lygtis[41,51]:

Kai dalelė juda per dujas, aplinkinės dujų molekulės yra linkusios priešintis jos judėjimui. Sferinės dalelės bendroji pasipriešinimo jėga, paprastai vadinama pasipriešinimo jėga, yra proporcinga jos skersmeniui d_p , santykiniam greičiui u_p ir dujų klampumui μ :

$$F_d = 3 \pi \mu d_p u_p \quad (2.3.3)$$

$$\approx \frac{24}{Re_p} \left(\frac{\pi}{4} d_p^2 \right) \left(\frac{1}{2} \rho_g u_p^2 \right) \quad (2.3.4)$$

Kai $Re_p < 1,0$

Re_p yra dalelės Reinoldso skaičius, o ρ - dujų tankis. Dalelių Reinoldso skaičius yra bedimensinė grupė, susijusi su dalelių skersmeniu, santykinu greičiu ir kinematinė dujų klampa ν .

$$Re_p = \frac{d_p u_p}{\nu} \quad (2.3.5)$$

Iš aukščiau pateiktos lygties galima matyti, kad dalelių Reinoldso skaičius rodo inercinių ir klampių jėgų santykį. Į inercines jėgas galima nekreipti dėmesio, kai $Re_p < 1$.

Taip pat sistemoje apskaičiuojama:

„Force equation“

$$m \frac{dV_p}{dt} = - \frac{\rho_f (V_f - V_p) |V_f - V_p|}{2} C_d * A + F_g; \quad (2.3.6)$$

„Drag equation“

$$C_d = \frac{24}{Re} = - \frac{4.12}{1 + 0.03Re + 0.48\sqrt{Re}} + 0.38; \quad (2.3.7)$$

„Reynolds number equation“

$$Re = \frac{\rho_f |V_f - V_p| d}{\mu}; \quad (2.3.8)$$

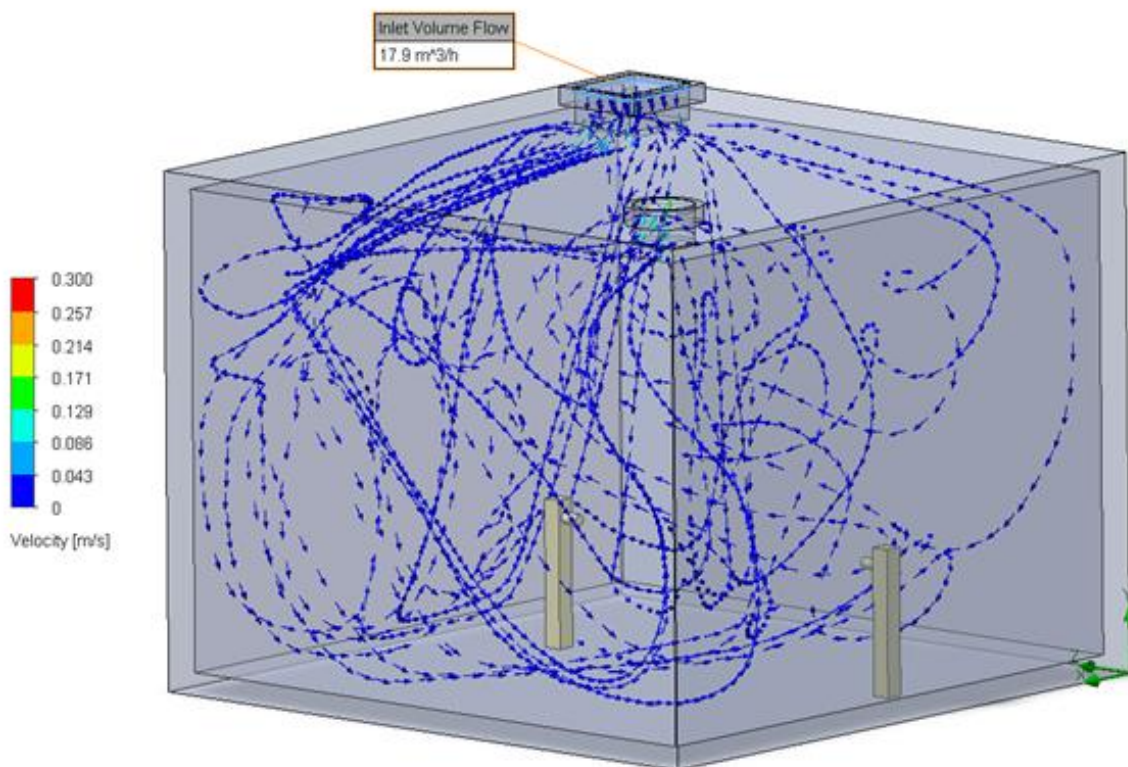
Kur m – dalelės masė, V_p ir V_f - dalelės ir srauto greičiai, ρ_f - skysčio tankis, F_g - gravitacijos jėga, A – dalelės plotas, C_d - dalelių pasipriešinimo koeficientas, Re - Reinoldso skaičius, d – dalelės diametras, μ - dinaminė klampa.

3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

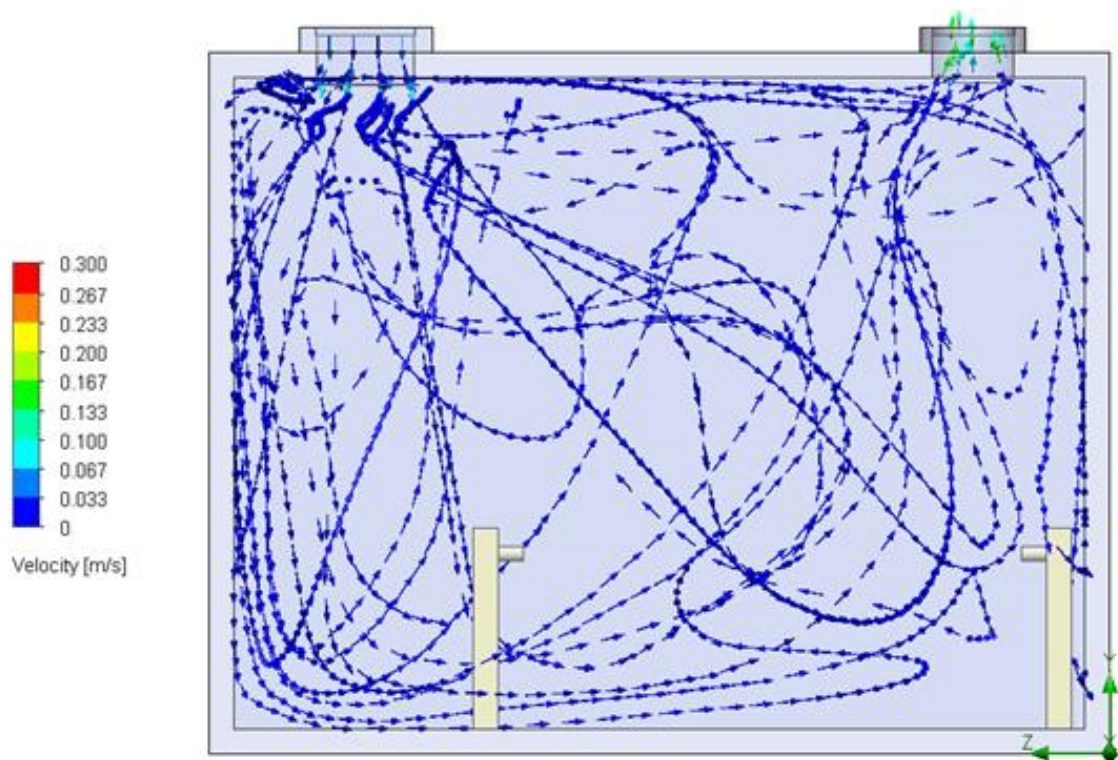
3.1. Teršalų sklaidos scenarijų modeliavimas esant skirtingiems ventiliacijos intensyvumams

3.1.1. Modeliavimo rezultatai esant $0,5 \text{ h}^{-1}$ oro srauto apykaitai

Vykdamas skirtingų ventiliacijos sistemų, tiekiamo oro kiekių apykaitos režimų modeliavimus, remiantis jau anksčiau atlikto eksperimento duomenimis. Gautuose modeliavimo rezultatuose, buvo pastebimi skirtingi oro srauto judėjimai patalpoje, nustatyti greičiai ir įvertintos galimos aerozolio dalelių teršalų sklaidos kryptys, apibrėžtos sistemos viduje.



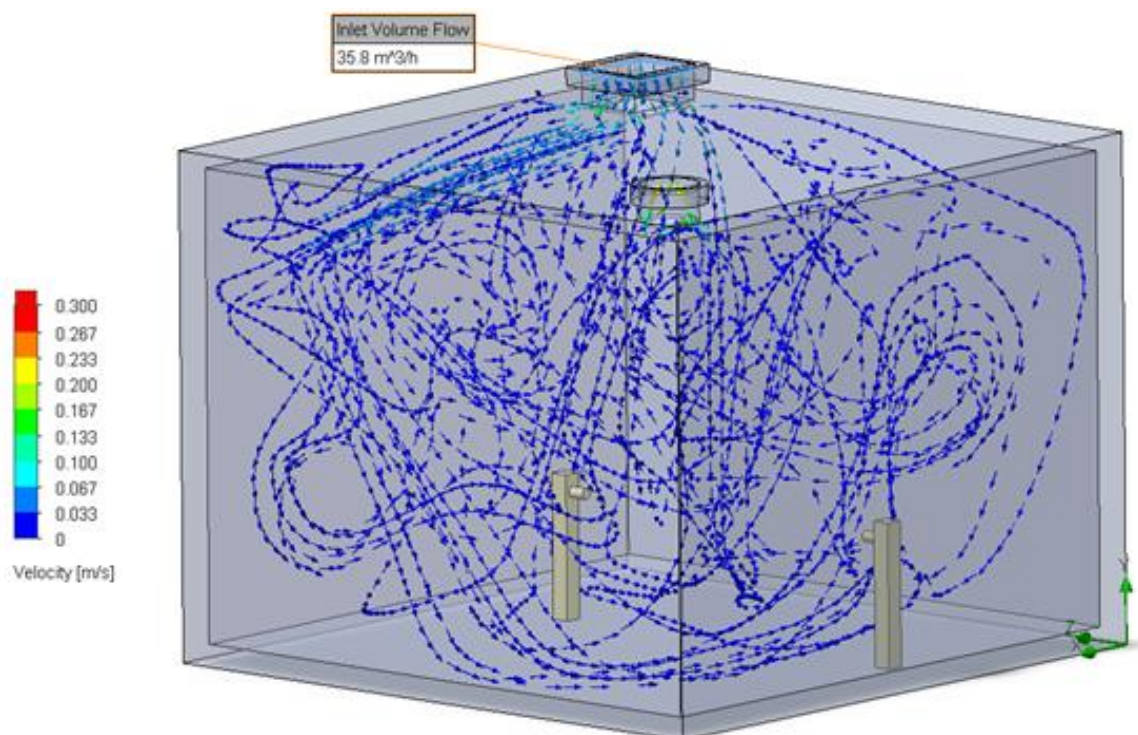
15 pav. $0,5 \text{ h}^{-1}$ oro apykaitos patalpoje modeliavimas.



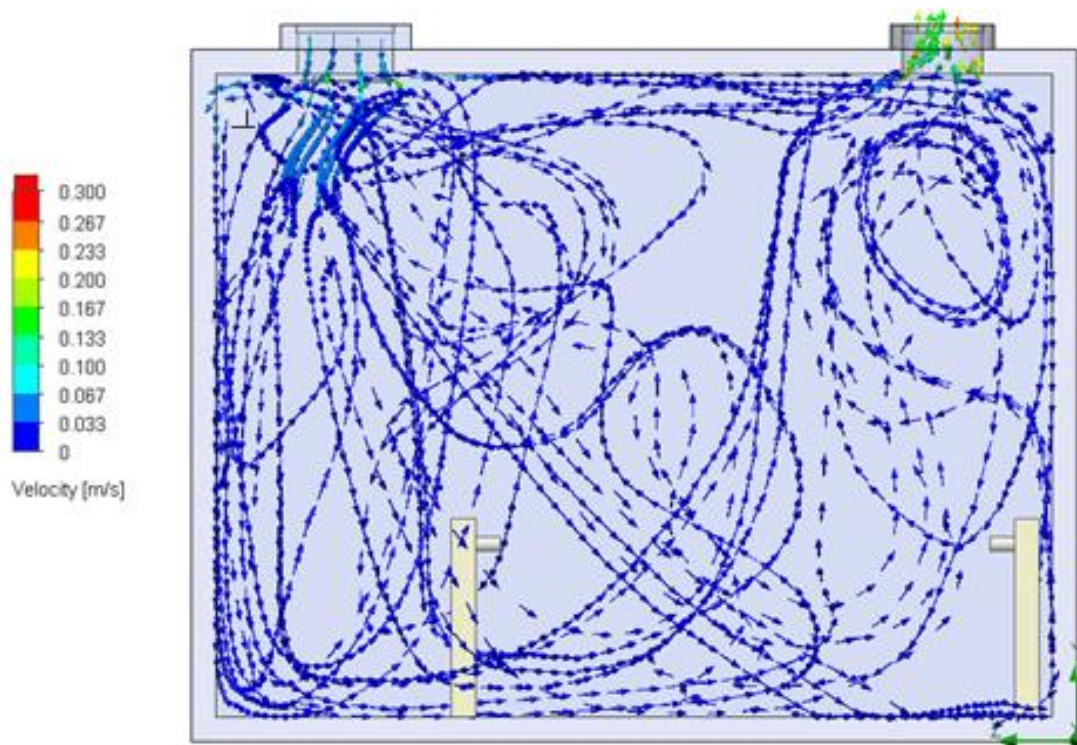
16 pav. $0,5h^{-1}$ oro apykaitos patalpoje modeliavimas (vaizdas iš šono).

Modeliavimo rezultatuose (žr. 15 pav. ir 16 pav.), esant $0,5 h^{-1}$ oro apykaitai, tiekiamas oro srauto debitas sudarė $17,9 m^3/h$. Srauto judėjimo vektorių pasiskirstymas patalpoje buvo matomas ne per visą sistemos tūrį, pastebimos tuščios erdvės, esančios arčiau sienų. Vertinant tokį oro srauto pasiskirstymą patalpoje, galima spręsti, jog esant papildomam taršos šaltiniui, sklaidos efektyvumas būtų mažesnis. Didesni oro srauto greičiai pastebėti ties oro tiekimo ir išėjimo angomis, ypač ties oro išėjimo anga (difuzoriumi), tačiau lyginant su kitais oro apykaitos režimais, šie greičiai yra mažesni. Maksimali oro srauto greičio vertė patalpoje siekė $0,186 m/s$, o vidutinė $0,0037 m/s$ (žr. 21 pav. ir 22 pav.).

3.1.2. Modeliavimo rezultatai esant 1 h^{-1} oro apykaitai



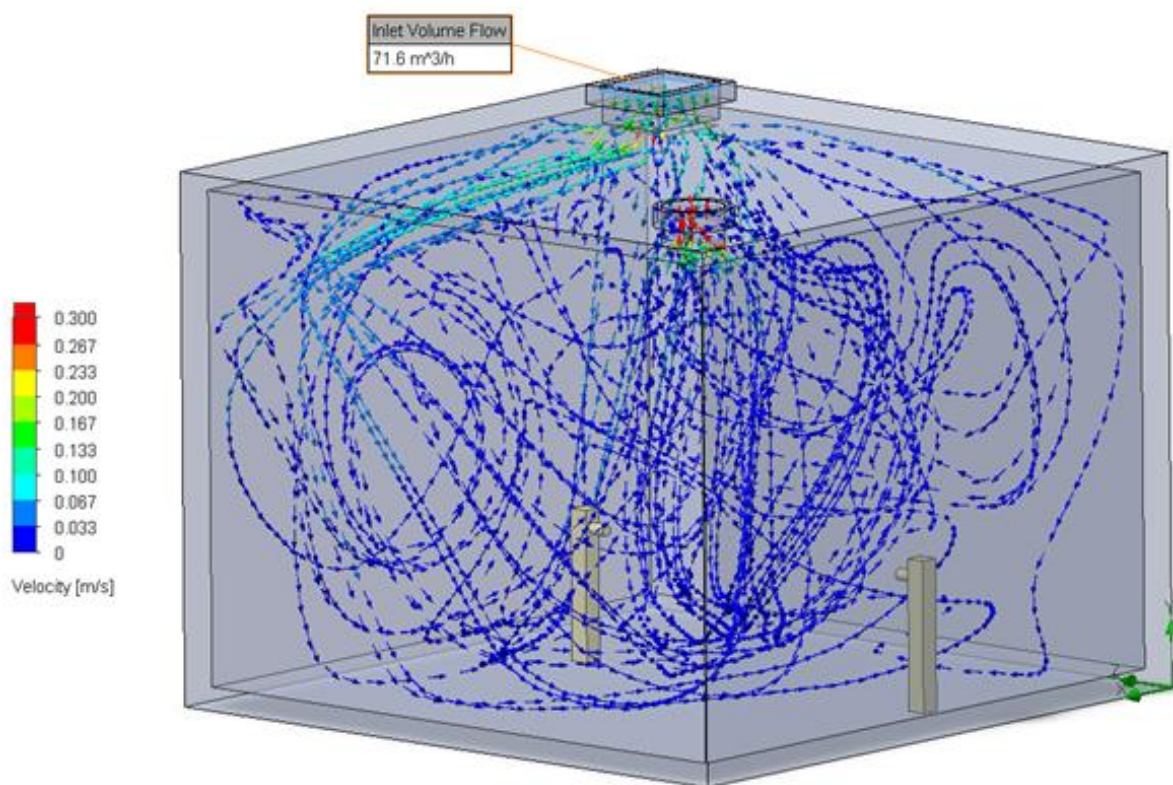
17 pav. 1 h^{-1} oro apykaitos patalpoje modeliavimas.



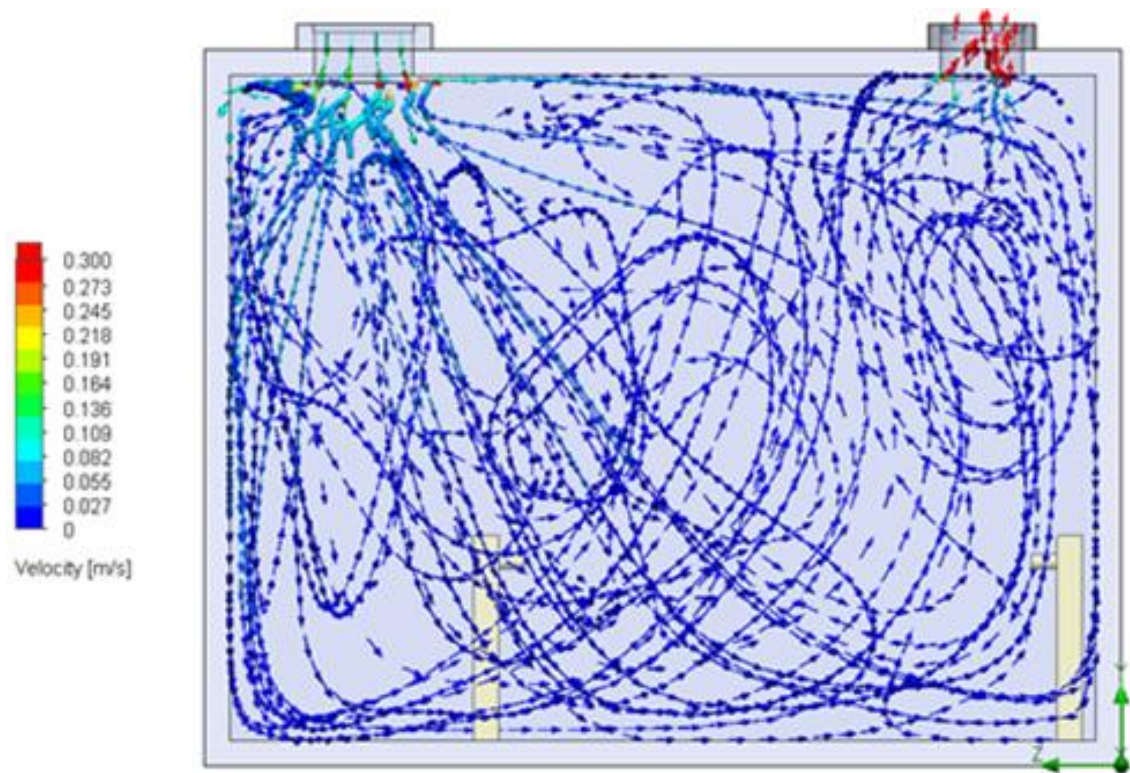
18 pav. 1 h^{-1} oro apykaitos patalpoje modeliavimas (vaizdas iš šono).

Aukščiau pavaizduotuose paveiksluose (žr. 17 pav. ir 18 pav.), yra pateikti modeliavimo rezultatai, kai buvo tiekiamas $35,8 \text{ m}^3/\text{h}$ oro srauto debitas į patalpą. Iš pateiktų vaizdų ir atliktos simuliacijos, buvo pastebėta, jog srautas išeinantis iš oro tiekimo difuzoriaus angos pasiskirsto didesniame patalpos tūryje nei lyginant su $0,5 \text{ h}^{-1}$ oro apykaita. Didesni oro srauto greičiai pastebimi ties ventiliacijos angomis, ypačingai prie ištraukimo angos ir maksimalaus oro srauto greičio vertė patalpoje siekė $0,374 \text{ m/s}$, o vidutinė apskaičiuota vertė $0,0073 \text{ m/s}$ (žr. 21 pav. ir 22 pav.).

3.1.3. Modeliavimo rezultatai esant 2 h^{-1} oro apykaitai

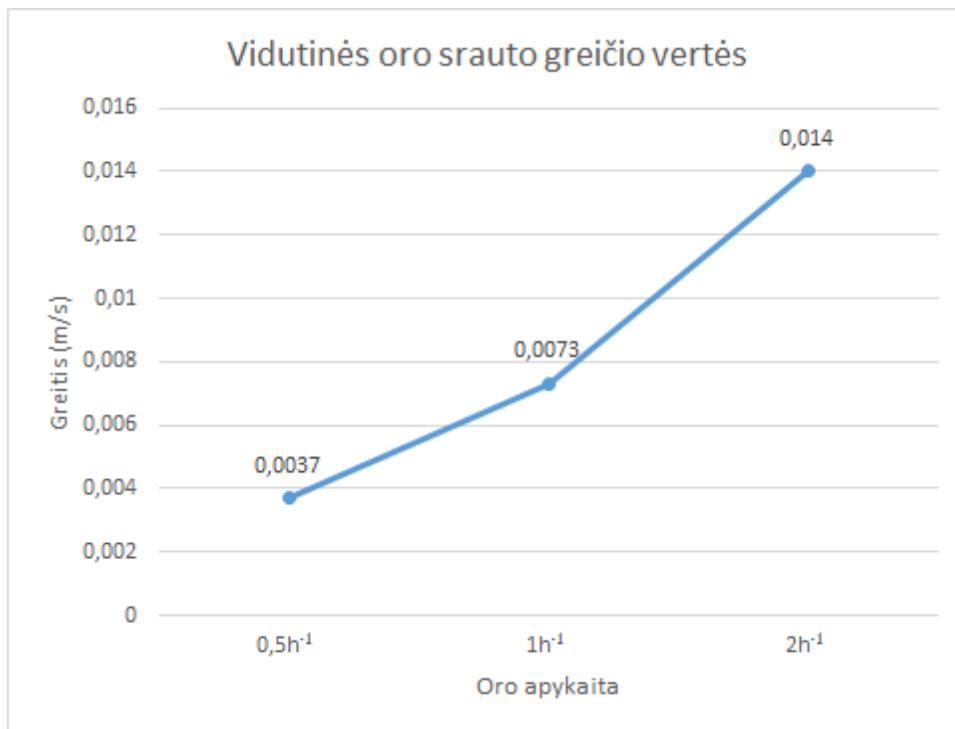


19 pav. 2 h^{-1} oro apykaitos patalpoje modeliavimas.

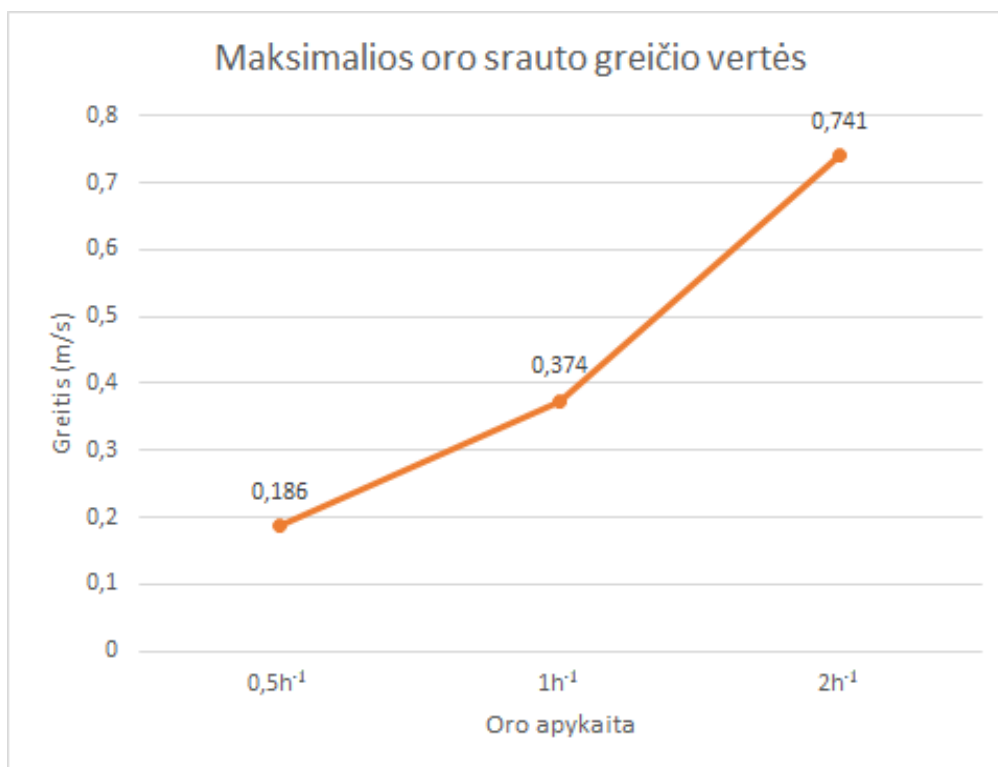


20 pav. 2 h^{-1} oro apykaitos patalpoje modeliavimas (vaizdas iš šono).

Modeliavimo metu (žr. 19 pav. ir 20 pav.), buvo vykdoma teršalų sklaidos simuliacija, kai tiekiamas 2 kartus didesnis oro srauto debitas – $71,6 \text{ m}^3/\text{h}$. Rezultatuose matomas intensyvesnis oro srautas patalpoje, kuris apima visą patalpos tūrį, oro srauto greičio vektoriai juda visoje patalpoje, įvairiomis kryptimis. Intensyvi teršalų sklaida matoma aplink patalpoje esančius objektus (žmonės). Didesni oro srauto greičiai pastebimi ties oro tiekimo ir išėjimo angomis, ypač ties oro išėjimo anga (difuzoriaus). Maksimali oro srauto greičio vertė patalpoje siekė $0,741 \text{ m/s}$, o vidutinė $0,014 \text{ m/s}$ (žr. 21 pav. ir 22 pav.).



21 pav. Vidutinės oro srauto patalpoje greičio verčių grafikas.

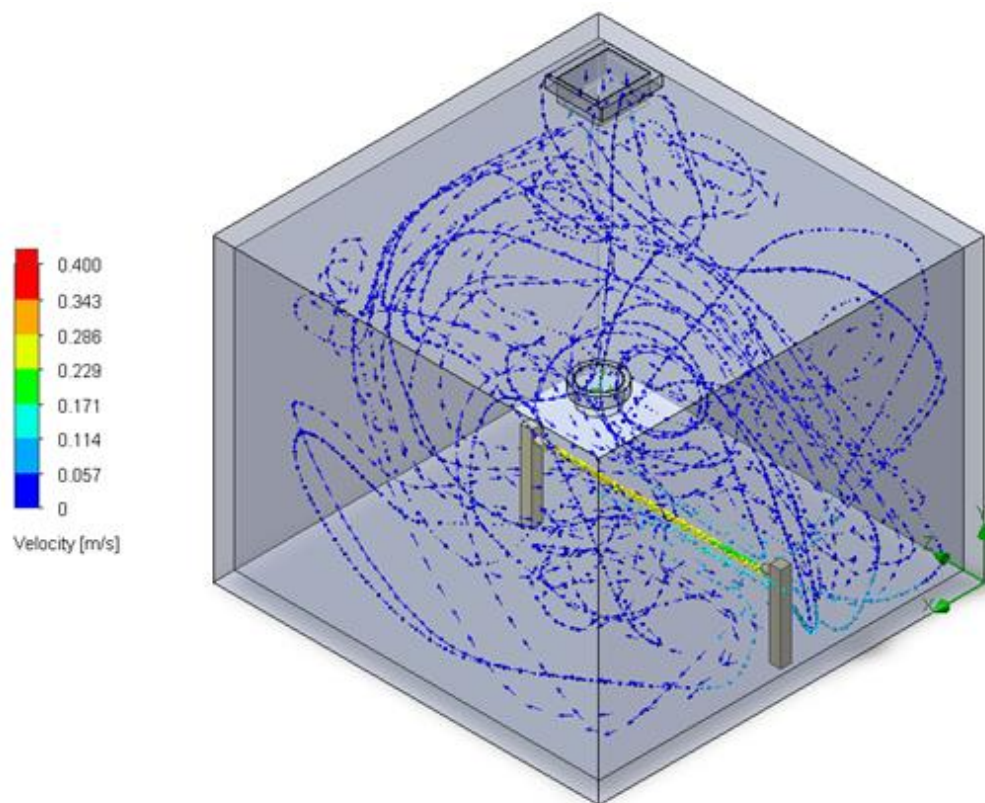


22 pav. Maksimalios oro srauto patalpoje greičio verčių grafikas.

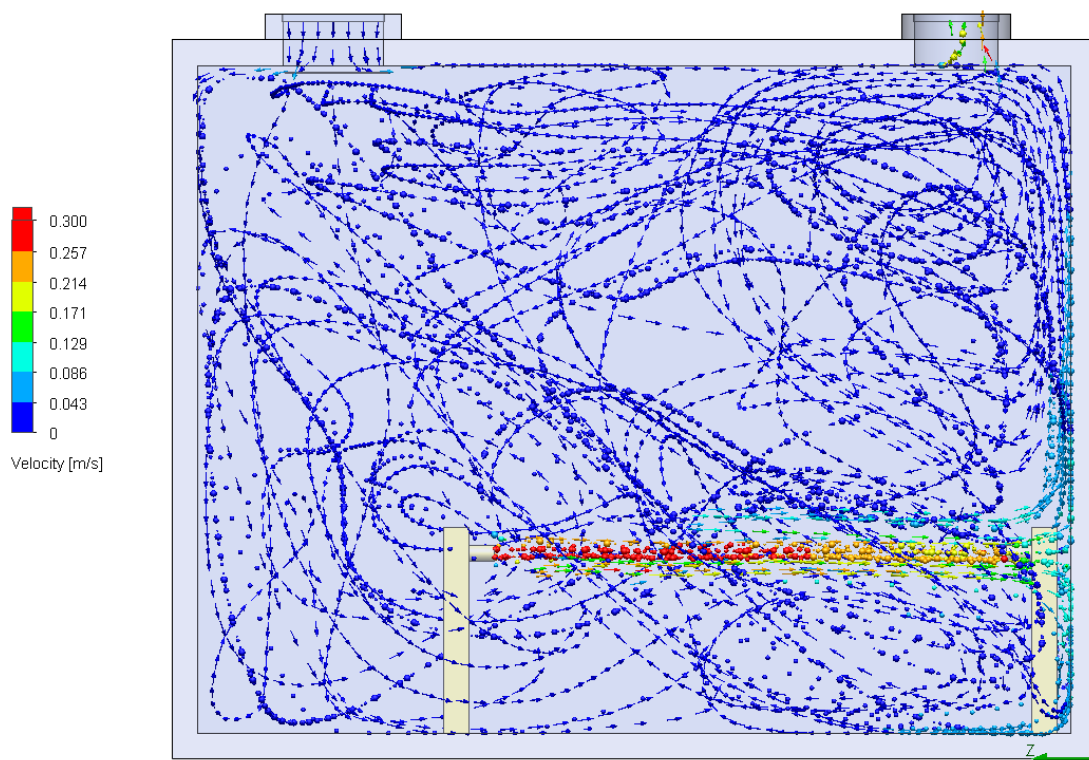
Iš grafikų galima matyti, jog esant didžiausiai 2 h⁻¹ oro apykaitai patalpoje, vyksta intensyviausias oro srauto judėjimas ir gaunamos didžiausios tiek maksimali ir vidutinė vertės, tai galima manyti, jog prie šių sąlygų, bus geriausia taršos sklaida patalpoje.

3.2. Taršos šaltinio modeliavimas

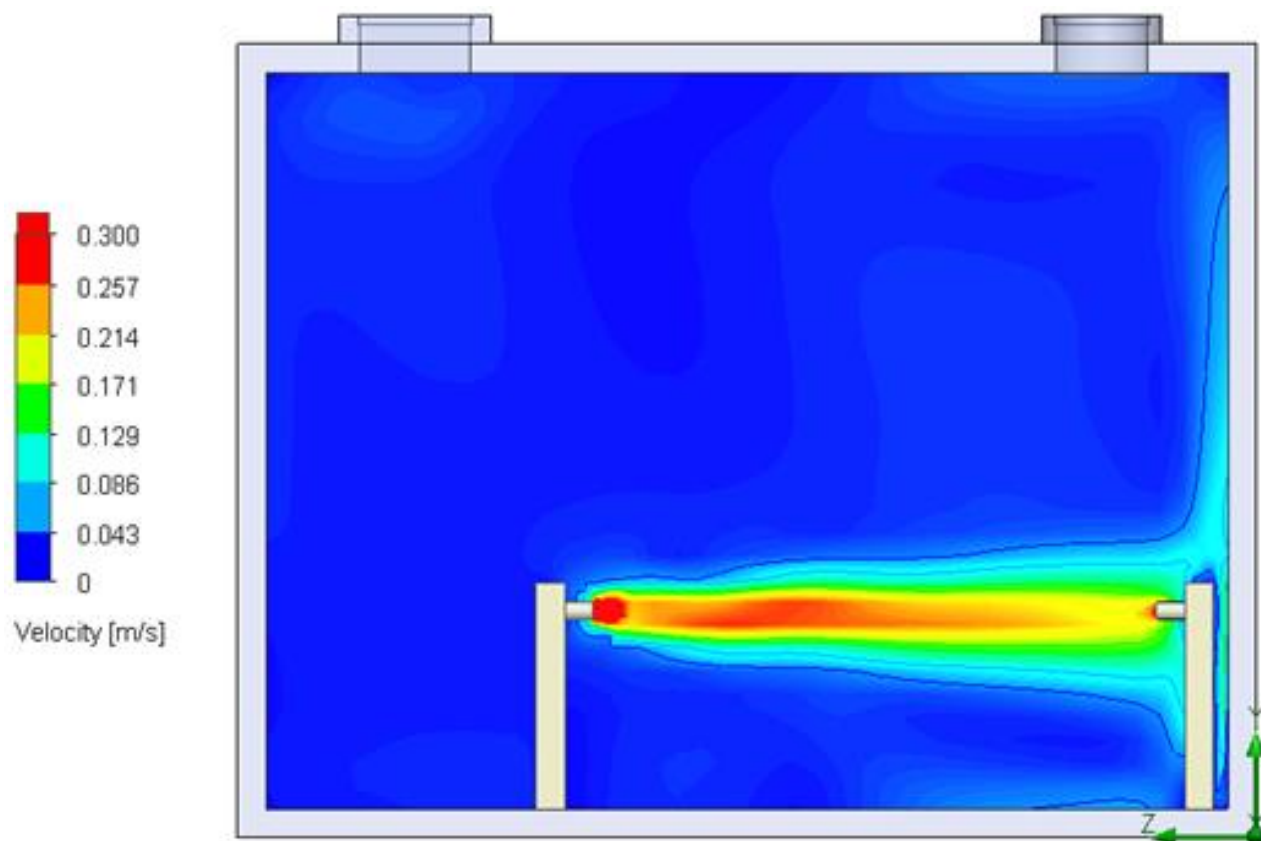
3.2.1. Aerosolio dalelių srauto modeliavimas esant $0,5 \text{ h}^{-1}$ oro apykaitai



23 pav. Aerosolio dalelių srauto pasiskirstymas patalpoje ($0,5 \text{ h}^{-1}$ oro apykaitai).



24 pav. Aerosolio dalelių pasiskirstymas patalpoje esant $0,5 \text{ h}^{-1}$ oro apykaitai (vaizdas iš šono).



25 pav. Taršos šaltinio dalelių srauto pjūvis ($0,5 \text{ h}^{-1}$ oro apykaita).

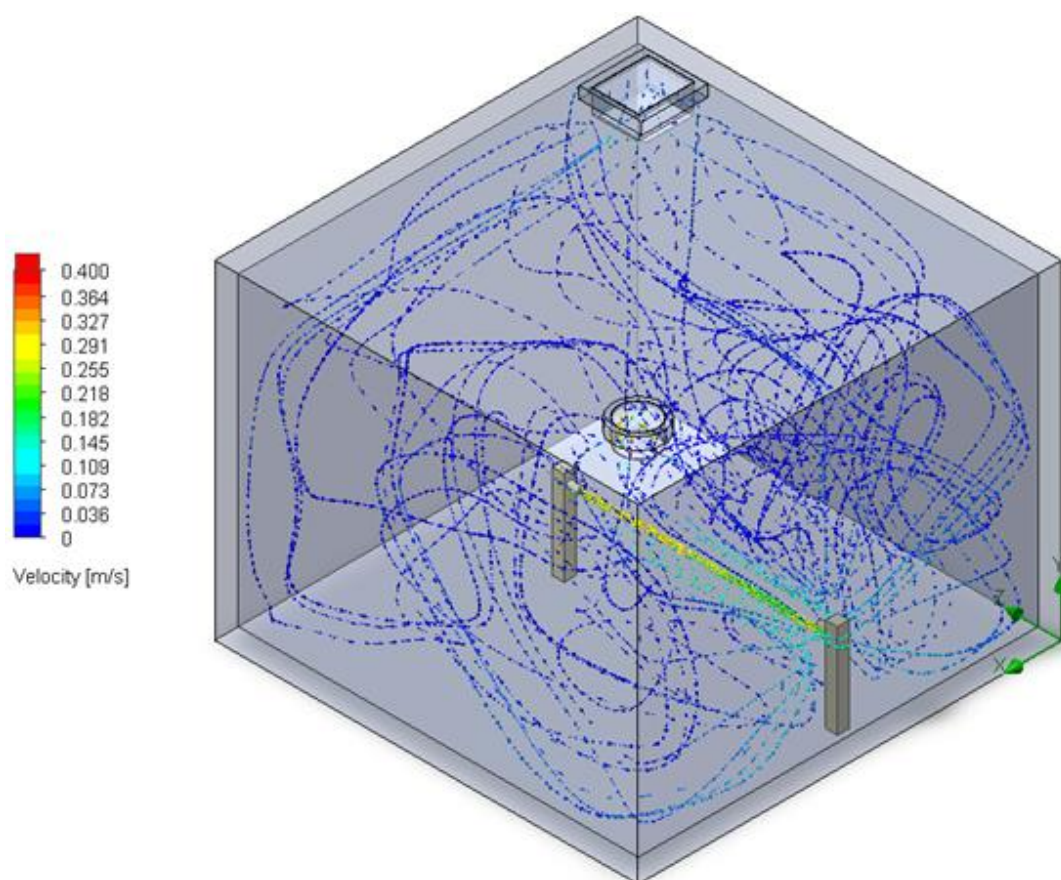
6 lentelė. Dalelių modeliavimo rezultatai ($0,5 \text{ h}^{-1}$ oro apykaita).

Dalelių dydis, nm	Dalelių skaičius	Procentai, %
50	161	16,1
60	160	16
70	159	15,9
80	158	15,8
90	160	16
100	157	15,7

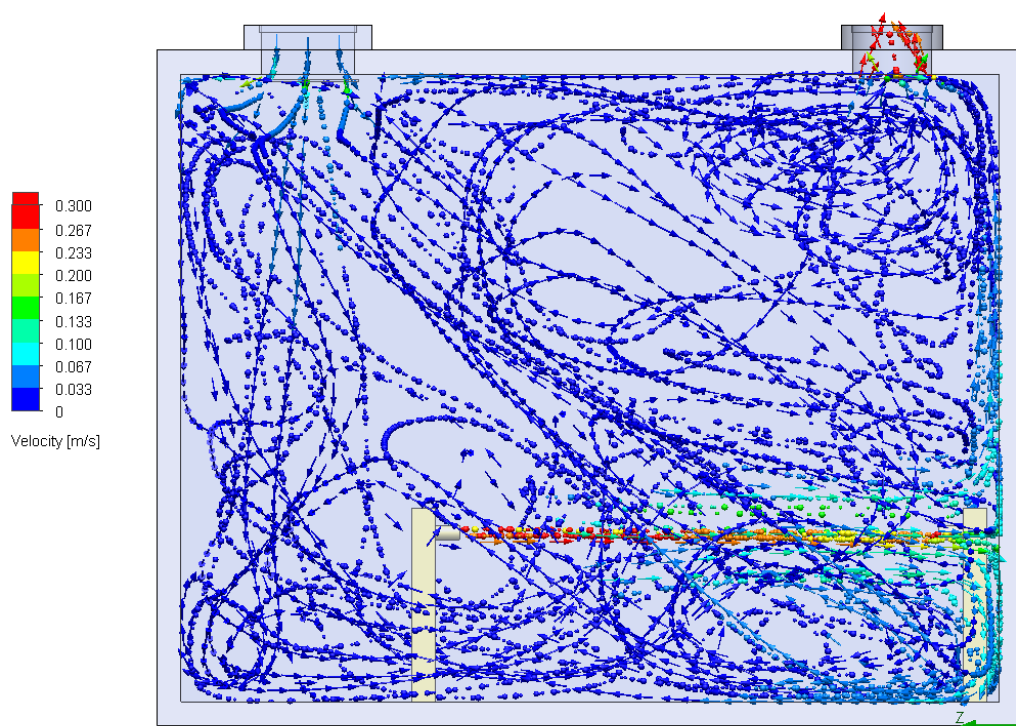
Aukščiau pavaizduoti modeliavimo rezultatai (žr. 23 pav., 24 pav. ir 25 pav.), kuriuose galima matyti, suprojektuotą taršos šaltinį ir aerosolio dalelių pasiskirstymą patalpoje. Kaip matoma, dalelės yra pučiamos tiesiai, į žmogų, esantį šalia sienos. Šis žmogus, dalį aerosolio dalelių, per suprojektuotą cilindro formos nosį, įkvėpia į save, o likusios aerosolio dalelės pasiskirsto patalpoje visu tūriu ir dalis jų yra ištraukiamos pro oro išėjimo difuzorių. Matomi skirtumai nuo kitų modeliavimo atveju – rezultatuose gaunamas didesnis procentinis dalelių srautas, patenkantis į taršos gavėją.

Iš taršos šaltinio buvo projektuojamas – 1000 dalelių srautas į aplinką. Pagal gautus duomenis matoma, jog įkvėptų dalelių procentinės vertės svyruoja tarp 15,7 ir 16,1 %. Bendras įkvėptas dalelių srautas sudarė $\pm 15,91$ %.

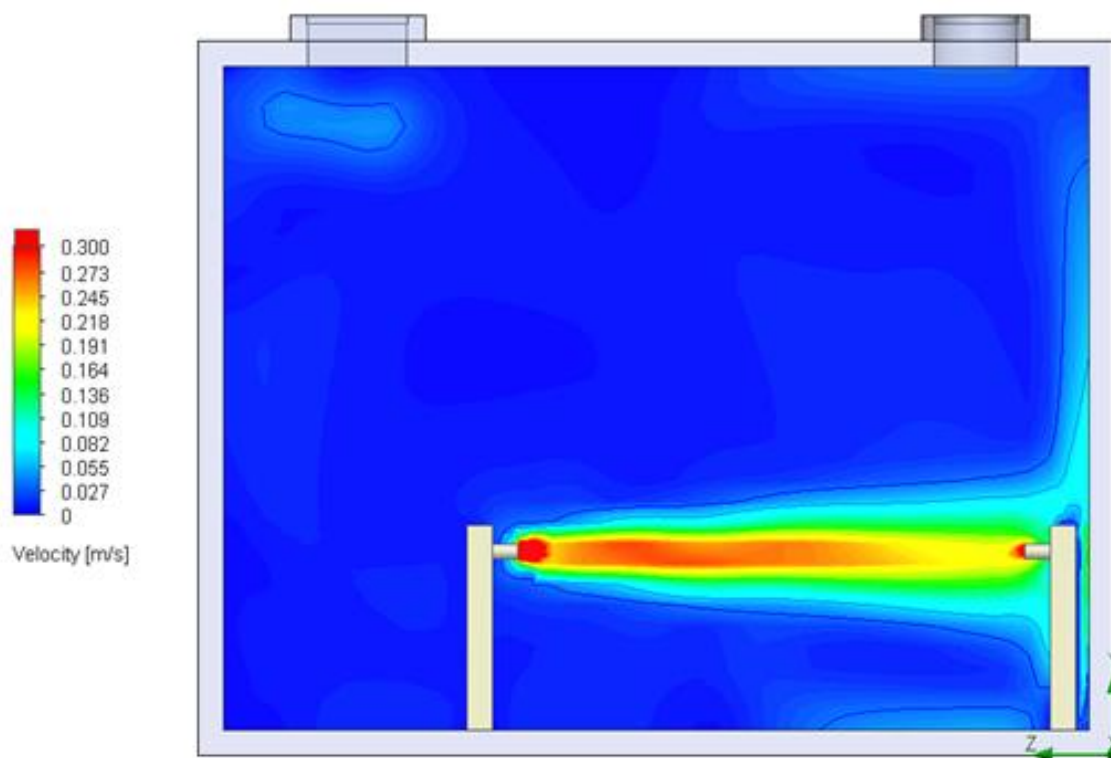
3.2.2. Dalelių srauto modeliavimas esant 1h^{-1} oro apykaitai



26 pav. Aerosolio dalelių pasiskirstymas patalpoje (1h^{-1} oro apykaitai).



27 pav. Aerosolio dalelių pasiskirstymas patalpoje esant 1h^{-1} oro apykaitai (vaizdas iš šono).



28 pav. Taršos šaltinio dalelių srauto pjūvis (1 h⁻¹oro apykaita).

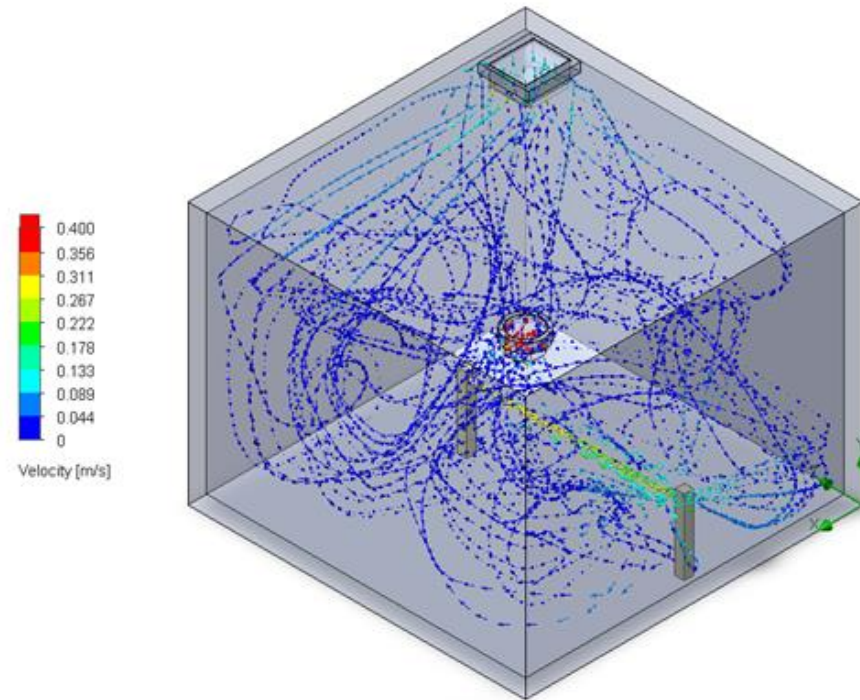
7 lentelė. Dalelių modeliavimo rezultatai (1h⁻¹ oro apykaita).

Dalelių dydis, nm	Dalelių skaičius	Procentai, %
50	121	12,1
60	118	11,8
70	115	11,5
80	116	11,6
90	113	11,3
100	111	11,1

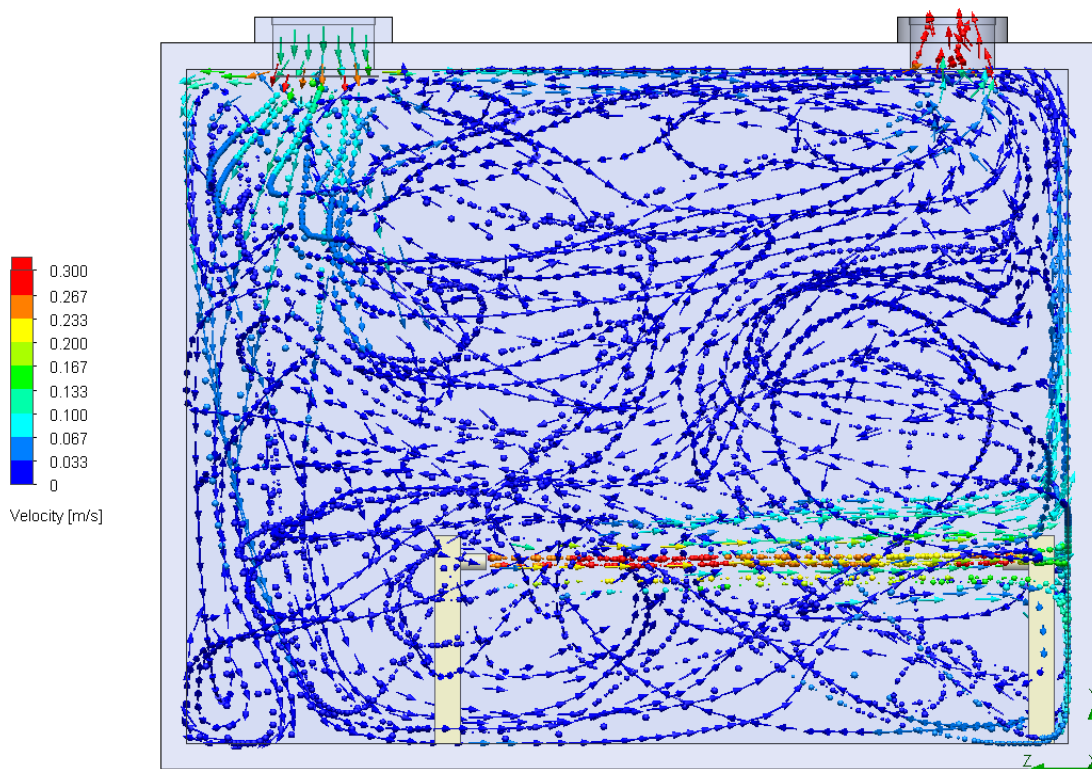
Aukščiau pavaizduoti, modeliavimo rezultatai (žr. 19 pav. 20 pav.), kuriuose galima matyti, suprojektuotą taršos šaltinį, taršą įkvepiantį žmogų ir dalelių pasiskirstymą patalpoje. Kaip matoma, modeliavimas vyksta tokiomis pat sąlygomis kaip ir prieš tai vykdytame modeliavime, dalelės yra pučiamos tiesiai, prie šalia sienos esantį žmogų (manekėną). Šis žmogus, dalį dalelių, per suprojektuotą cilindro formos nosį, įkvepia į save, o likusios aerozolio dalelės pasiskirsto patalpoje visu tūriu ir dalis jų yra ištraukiamos pro oro išėjimo difuzorių. Matoma, jog srautas keliaujantis nuo taršos šaltinio pradžios turi didesnę greitį, o artėjant link prie sienos esančio žmogaus sumažėja ir padidėja ties nosies sritimi. Dalelės labiau pasiskirsto patalpoje, dėl didesnės ventiliacijos oro apykaitos, dėl to yra mažesnis įkvepiamų dalelių kiekis.

Iš taršos šaltinio buvo projektuojamas – 1000 dalelių srautas į aplinką. Pagal gautus duomenys matoma, jog įkvėptų dalelių procentinės vertės svyruoja tarp 11,1 ir 12,1%. Bendro srauto procentinė dalis sudaro $\pm 11,56\%$.

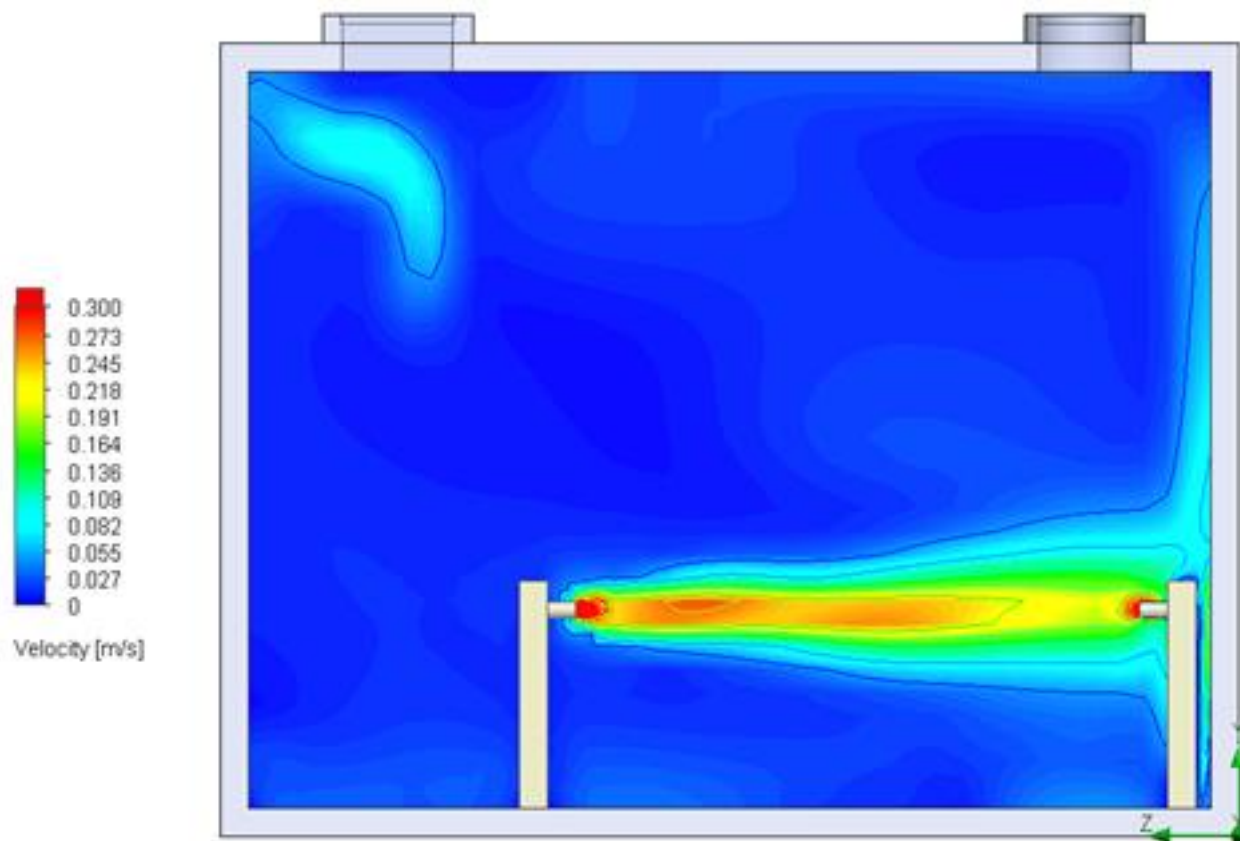
3.2.3. Dalelių srauto modeliavimas esant $2h^{-1}$ oro apykaitai



29 pav. Aerosolio dalelių srauto modeliavimas ($2 h^{-1}$ oro apykaita).



30 pav. Aerosolio dalelių pasiskirstymas patalpoje esant $2h^{-1}$ oro apykaitai (vaizdas iš šono).



31 pav. Taršos šaltinio dalelių srauto pjūvis ($2h^{-1}$ oro apykaita).

8 lentelė. Dalelių modeliavimo rezultatai ($2h^{-1}$ oro apykaita).

Dalelių dydis, nm	Dalelių skaičius	Procentai %
50	80	8
60	78	7,8
70	79	7,9
80	76	7,6
90	77	7,7
100	75	7,5

Modeliavimo rezultatai, (žr. 27 pav. 28 pav.) kuriuose galima matyti, suprojektuotą taršos šaltinį ir dalelių pasiskirstymą patalpoje, antrojo modeliavimo metu. Skirtingai negu nuo ankščiau vykdytos simuliacijos, matoma, jog dalelės yra sparčiau pašalinamos į aplinką ir mažesnis jų kiekis pasilieka patalpoje. Iš paveikslėlio, kuriame vaizduojamas patalpos pjūvis, galima matyti, jog srautas tiesiai eina į žmogų, tačiau greitis pačiame visame sraute nėra vienodas, pradžioje matomas intensyvesnis srautas, ties viduriu srauto dalelių greičio pakitimai ir tai galėjo lemti ventiliacijos nustatymo metu, tiekiamas didesnis oro srautas į patalpą.

Iš taršos šaltinio buvo projektuojamas 1000 dalelių srautas į aplinką. Pagal gautus duomenis matoma, jog įkvėptų dalelių procentinės vertės svyruoja tarp 7,5 ir 8%. Bendro srauto procentinė dalis sudaro $\pm 7,75\%$.

3.3. Modelio validavimas

Modelio validavimas atliktas remiantis jau anksčiau, turimo eksperimento duomenimis. Eksperimentas buvo vykdomas vidinėje bandymo kameroje, vaizduojanti standartinę kambarį, tokių pat matmenų, kaip ir pasirinktų, šio darbo modeliavimo metu. Patalpoje buvo pasodinti du žmonės, kurie atitiko vaidmenys, kaitinamojo tabako gaminį rūkantįjį ir taršos gavėją. Tyrimas buvo vykdomas esant skirtingiems atstumams tarp žmonių (0,5 m, 1 m, 2 m) bei skirtingiems ventiliacijos režimams ($0,2\text{h}^{-1}$ arba 1h^{-1}), tabako gaminys dirbo standartiniu režimu. Remiantis šio tyrimo duomenimis, buvo įvertinta įkvėpamo bendro srauto dalis procentais. Koncentracijų vertės, gautos vykdant eksperimentą su 0,5m atstumu, buvo laikomos standartu, t. y. pradinė koncentracija.

Iš turimų duomenų, gautomis išpučiamų aerozolio dalelių koncentracijomis, esant $0,2\text{h}^{-1}$ ventiliacijos oro apykaitai, buvo apskaičiuotos bendras srauto dalelių dalis procentais. Gautas skirtumas tarp 0,5m ir 2m atstumo, atitinka 7,83 k. ir bendra srauto dalis, patenkanti į žmogų, kuris įkvepia taršą, atitinka 12,73 %. Atliekant skaičiavimus esant 1h^{-1} ventiliacijos oro apykaitai, buvo gautas 11,2 k. skirtumas ir įkvėpamo dalelių koncentracijos bendro srauto dalis sudarė 8,93 %. Patikimai palyginti 2h^{-1} oro apykaitos įkvėpamų dalelių srauto dalį yra sudėtinga dėl trūkstamų tyrimo duomenų šiai oro pasikeitimo apykaitai, tačiau iš modeliavimo rezultato nustatyta, jog 7,75 % aerozolio dalelių pasiekia taršos gavėją (manekena) [44].

3.3.1. Rezultatų apibendrinimas

Tyrimų tikslas buvo nustatyti ventiliacijos oro taršos sklaida patalpoje ir kaitinamojo tabako produkto, aerozolio dalelių teikiamą taršą, esančiam manekenui. Šiam tikslui buvo pasinaudota skaičiuojamoji skysčių dinamikos mokslas ir SSD programinė įranga „SOLIDWORKS 2021“. Su Solidworks programine įranga, sėkmingai pavyko suprojektuoti, tiriamąją sistemą (kambario modelį) ir jame esančius papildomus komponentus. Modeliavimo metu pavyko nustatyti, pasirinktų, skirtingų ventiliacijos oro tiekimo apykaitos režimų, oro judėjimo pasiskirstymą patalpoje ir judėjimo vektorių kryptis patalpoje ir pasiektus greičius (vidutines ir didžiausias vertes). Taršos šaltinio projektavimo metu, buvo atsiradę sunkumų, projektuojant taršos šaltinio srautą, einantį nuo rūkančiojo žmogaus į taršos gavėją. Atlikus srauto modeliavimą, buvo nustatytas įkvėpamų dalelių dalis procentais nuo tiekiamos srauto, kai projektuojamų dalelių srautas sudarė 1000 ir palygintos su anksčiau atlikto eksperimentinio tyrimo duomenimis.

Išvados

1. Pasaulio sveikatos organizacija vis labiau atkreipia dėmesį į žmogų supančią aplinką, patalpų oro kokybę ir galimus pavojingus rizikos veiksnius sveikatai. Rūkymo žalos sumažinimas – viena iš sprendžiamų prioritetinių problemų. Nauji kaitinamojo tabako produktai (THS) – alternatyva, tradicinių cigarečių vartojimui. Atlikus mokslinės literatūros analizę apie šiuos sąlyginai rinkoje naujus gaminius, buvo nustatyta, jog šie produktai išpučiamų dūmų sudėtyje turi mažesnius kiekius kenksmingų cheminių junginių lyginant su tradiciniais tabako gaminiiais. Atliktos mokslinių straipsnių apžvalgos apie galimą šių produktų poveikį sveikatai atskleidė, jog daugeliu atveju šie produktai turės mažesnę poveikį sveikatai, tačiau tyrimų su THS gaminiiais yra sąlyginai mažai, todėl tikslesniems rezultatams, reikia atlikti daugiau eksperimentinių tyrimų.
2. Remiantis anksčiau mokslininkų atliktu eksperimentiniu tyrimu, kuriame buvo charakterizuojama aerolio dalelių emisija iš kaitinamojo tabako produktų, buvo suprojektuota kamera, atitinkanti standartinę kambarį, kuriame yra du objektai, vienas iš jų generuoja taršą (naudoja tabako kaitinimo gaminį), kitas įkvepia emisijas (manekenas). Tyrimų kameros projektavimui buvo naudota „SOLIDWORKS 2021“ programinė įranga.
3. Siekiant įvertinti aerolio dalelių taršos sklaidą patalpoje buvo atliktas modeliavimas esant skirtingoms ventiliacijos sąlygoms. Oro srautų modeliavimui buvo parinktos trys skirtingos oro apykaitos: $0,5 \text{ h}^{-1}$, 1 h^{-1} ir 2 h^{-1} . Iš modeliavimo rezultatų buvo matoma, jog geriausia taršos sklaida yra tuomet, kai tiekiamas didžiausias oro kiekis – $71,6 \text{ m}^3/\text{h}$ (oro apykaita - 2 h^{-1}). Esant tokiai oro sklaidai patalpoje, dalelės pasiskirsto visame patalpos tūryje ir vyksta intensyviausias dalelių ištraukimas per lubinį oro ištraukimo difuzorių. Maksimali greičio vertė patalpoje buvo apskaičiuota - $0,741 \text{ m/s}$, o vidutinė - $0,014 \text{ m/s}$. Taršos šaltinio projektavimui parinkti skirtingi aerolių dalelių dydžiai: 50nm , 60nm , 70nm , 80nm , 90nm , 100nm .
4. Aerolio dalelių taršos modeliavimo metu gauti duomenys buvo validuojami su anksčiau atlikto eksperimento duomenimis. Bendra įkvėpta aerolio dalelių vertė procentais iš bendro srauto buvo: $\pm 15,9\%$ esant $0,5 \text{ h}^{-1}$ oro apykaitai, $\pm 11,6\%$ esant 1 h^{-1} ir atitinkamai $\pm 7,75\%$, kai tiekiamas oro srautas sudarė 2 h^{-1} . Validavimo metu buvo vertinamos aerolio dalelių koncentracijos esant $0,2$ ir 1 h^{-1} oro apykaitoms, ir lyginamos su koncentracijomis prie $0,5$ ir 1 h^{-1} oro apykaitų. Apskaičiavus buvo gautos koncentracijų bendro srauto, įkvepiama dalis procentais, atitikimas sudarė: $0,2 \text{ h}^{-1}$ – $12,73 \%$ ir 1 h^{-1} – $8,93 \%$. Tikslesniems rezultatams pasiekti, siūlyčiau išbandyti kitus skaičiuojamosios skysčių dinamikos programinės įrangos produktus, kurie yra labiau orientuoti į tokio tipo skaičiavimus arba vykdyti modeliavimo procesus pasinaudojant hibridiniais SSD programinės įrangos paketais.

Literatūros sąrašas

1. Hyam Nazmy. Particulate matter variation for different types of cigarettes in indoor air. December 2020. AIP Conference Proceedings 2313(1). [žiūrėta 2021-02-16] DOI:10.1063/5.0032162.
2. WHO. Household air pollution and health.) [žiūrėta 2021-02-16] prieiga per internetą: <https://www.who.int/en/newsroom/fact-sheets/detail/household-airpollution-and-health> (2018).WHO. Tobacco. [žiūrėta 2021-02-16] prieiga per internetą: <https://www.who.int/newsroom/fact-sheets/detail/tobacco> (2020) [žiūrėta 2021-02-16].
3. WHO. Heated tobacco products. [žiūrėta 2021-02-16] prieiga per internetą: [https://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/tobacco/publications/2020/heated-tobacco-products-a-brief-2020#:~:text=Heated%20tobacco%20products%20\(HTPs\)%20are,as%20modified%2Drisk%20tobacco%20products](https://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/tobacco/publications/2020/heated-tobacco-products-a-brief-2020#:~:text=Heated%20tobacco%20products%20(HTPs)%20are,as%20modified%2Drisk%20tobacco%20products).
4. Anne McCarthy, Caitriona Lee, Doireann O'Brien, Jean Long. Harms and benefits of e-cigarettes and heat-not-burn tobacco products: A literature map. 2020) [žiūrėta 2021-02-25] prieiga per internetą: https://www.hrb.ie/fileadmin/2._Plugin_related_files/Publications/2020_publication-related_files/2020_HIE/Evidence_Centre/Harms_and_benefits_of_e-cigarettes_and_heat-not-burn_tobacco_products_Literature_map.pdf.
5. Mateusz Jankowski. New ideas, old problems? Heated tobacco products – a systematic review. 2019 [žiūrėta 2021-02-25] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01433>
6. Philip Morris International. Tobacco meets technology. [žiūrėta 2021-02-16] prieiga per internetą: <https://www.pmi.com/smoke-free-products/iqos-our-tobacco-heating-system>.
7. Benjamin Savareear. Comprehensive comparative compositional study of the vapour phase of cigarette mainstream tobacco smoke and tobacco heating product aerosol. Journal of Chromatography; Volumes 1581–1582, 21–28 December 2018, Pages 105-115. [žiūrėta 2021-03-04] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2018.10.035>.
8. Japan: Ministry of Health, Labor and Welfare. National health and nutrition survey 2018 summary report, 2020. [žiūrėta 2021-03-04] prieiga per internetą: <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000584138.pdf>.
9. Erikas Simonavicius. Heat-not-burn tobacco products: a systematic literature review. BMJ journals. Tobacco control. Volume 28, Issue 5. 2019 [žiūrėta 2021-03-12] [interaktyvus] <http://dx.doi.org/10.1136/tobaccocontrol-2018-054419>.
10. Mateusz Szparaga. Review of data on chemical content in an aerosol resulting from heating a tobacco or a solution used in e-cigarettes and in the smoke generated from the reference cigarettes. Toxicology Mechanisms and Methods; Volume 31, 2021 - Issue 5. [žiūrėta 2021-03-12] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1080/15376516.2021.1884922>.
11. Tomoyasu Hirano. Exposure Assessment of Environmental Tobacco Aerosol from Heated Tobacco Products: Nicotine and PM Exposures under Two Limited Conditions. 2020. Environmental Science, Medicine International Journal of Environmental Research and Public Health. [žiūrėta 2021-03-24] [interaktyvus] DOI:10.3390/ijerph17228536.
12. Pranas Šerpytis. KAITINAMOJO TABAKO POVEIKIS SVEIKATAI BEI ŠIRDIES IR KRAUJAGYSLIŲ SISTEMAI. 2020. [žiūrėta 2021-03-25] [interaktyvus] DOI: 10.35988/sm-hs.2020.146

13. Violeta Kauneliene. A review of the impacts of tobacco heating system on indoor air quality versus conventional pollution sources. *Chemosphere*. Volume 206, September 2018, Pages 568-578. [žiūrėta 2021-04-16] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.039>.
14. John F. Wendt *Computational Fluid Dynamics An Introduction*; [žiūrėta 2021-04-16] ISBN978-3-540-85056-4.
15. Stéphanie Boué. State-of-the-art methods and devices for the generation, exposure, and collection of aerosols from heat-not-burn tobacco products. 2020. [žiūrėta 2021-04-16] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1177/2397847319897869>.
16. H.Gasparyan. Accurate measurement of main aerosol constituents from heated tobacco products (HTPs): Implications for a fundamentally different aerosol. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*; Volume 99, November 2018, Pages 131-141. [žiūrėta 2021-04-19] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2018.09.016>.
17. Ram Kumar Raman. A review on applications of computational fluid dynamics. *International Journal of LNCT*, Vol 2(6). ISSN (Online): 2456-9895. [žiūrėta 2021-04-19] prieiga per internetą: <http://ijlnct.org/paper-directory/volume-2/issue-6/6.pdf>.
18. C. Sharma. Review of Computational fluid dynamics applications in biotechnology processes. [žiūrėta 2021-04-30] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1002/btpr.689>.
19. Guide: Numerical Basis of CAD-Embedded CFD – SOLIDWORKS. [žiūrėta 2021-04-30]
20. John E. Matsson. *An Introduction to SolidWorks Flow Simulation 2013*. [žiūrėta 2021-04-30]
21. Dainius Martuzevičius, Marija Meišutovič-Akhtarjeva, Tadas Prasauskas. THE COMPARISON OF NEW TOBACCO HEATING PRODUCTS WITH RESPECT TO THEIR IMPACT ON INDOOR AIR QUALITY. May 2020. [žiūrėta 2021-05-05].
22. Jurelionis, A., Gagyte, L., Prasauskas, T., Čiužas, D., Krugly, E., Šeduikytė, L., Martuzevičius, (2015). The impact of the air distribution method in ventilated rooms on the aerosol particle dispersion and removal: The experimental approach. *Energy Build.* 86, 305–313. [žiūrėta 2021-05-05] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.014>
23. Jessica L. Fetterman. Mitochondrial Toxicity of Tobacco Smoke and Air Pollution. *Toxicology*. 2017 Nov 1; 391: 18–33. [žiūrėta 2021-05-05] doi: [10.1016/j.tox.2017.08.002](https://doi.org/10.1016/j.tox.2017.08.002)
24. Teemu Kärkelä. Unto Tapper. Tuula Kajolinna. Comparison of 3R4F cigarette smoke and IQOS heated tobacco product aerosol emissions. *Environmental Science and Pollution Research* volume 29, 27051–27069 (2022) [žiūrėta 2021-05-05] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18032-x>
25. Javier E. Chavarrio Cañas. M. Monge-Palacios. E. Grajales-González. S. Mani Sarathy. Early Chemistry of Nicotine Degradation in Heat-Not-Burn Smoking Devices and Conventional Cigarettes: Implications for Users and Second- and Third-Hand Smokers. *The Journal of Physical Chemistry A* 2021 125 (15), 3177-3188 [žiūrėta 2021-05-12] DOI: 10.1021/acs.jpca.1c01650
26. Rahman Başaran. Naile Merve Güven. Benay Can Eke. An Overview of iQOS ® as a New Heat-Not-Burn Tobacco Product and Its Potential Effects on Human Health and the Environment. *Turk J Pharm Sci.* 2019 Sep;16(3):371-374. doi: 10.4274/tjps.galenos.2018.79095.
27. Jamie Hartmann-Boyce. Loren Kock. Erikas Simonavicius. Leonie Brose. Sarah Jackson. Lion Shahab. Jamie Brown. Heated tobacco products for smoking cessation and reducing smoking prevalence. *Cochrane Database of Systematic Reviews. Intervention*. [žiūrėta 2021-05-16] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013790.pub2>.

28. Marie Sawa. Akira Ushiyama. Yohei Inaba. Kenji Hattori. Increased oxidative stress and effects on inflammatory cytokine secretion by heated tobacco products aerosol exposure to mice. *Biochemical and Biophysical Research Communications* Volume 610, 25 June 2022, Pages 43-48 [žiūrēta 2021-06-15] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2022.04.042>.
29. Romain Dusautoir. Gianni ZarconeMarie. Verrielle Guillaume. Garçon Isabelle. Fronval Nicolas. Beauval Delphine. Allorge Véronique. Riffault Nadine. Locoge Jean-Marc. Lo-Guidice. Sébastien Anthérieu. Comparison of the chemical composition of aerosols from heated tobacco products, electronic cigarettes and tobacco cigarettes and their toxic impacts on the human bronchial epithelial BEAS-2B cells. *Journal of Hazardous Materials* Volume 401, 5 January 2021, 123417. [žiūrēta 2021-06-15] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123417>.
30. Parth Singh. Vishnu Raghav. Vignesh Padhmashali. Gunther Paul. Mohammad S. Islam. Suvash C. Saha. Airflow and Particle Transport Prediction through Stenosis Airways. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17(3), 1119; [žiūrēta 2021-06-20] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/ijerph17031119>.
31. Anthony A. Lavertya. Constantine I. Vardavas. Filippos T. Filippidis. Prevalence and reasons for use of Heated Tobacco Products (HTP) in Europe: an analysis of Eurobarometer data in 28 countries. *The Lancet Regional Health - Europe* Volume 8, September 2021. [žiūrēta 2021-11-16] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.lanep.2021.100159>.
32. Philip Morris International. (December 5, 2019). Philip Morris International Inc. declares regular quarterly dividend of \$1.17 per share [Online]. [žiūrēta 2021-12-15] prieiga per internetą: <https://www.pmi.com/investor-relations/press-releases-and-events/press-releases-overview/press-release-details/?newsId=21696> [September 26, 2020].
33. Laura Nicolaou. William Checkley. Differences between cigarette smoking and biomass smoke exposure: An in silico comparative assessment of particulate deposition in the lungs. *Environmental Research* Volume 197, June 2021. [žiūrēta 2022-01-17] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111116>.
34. John E. Matsson. *An Introduction to SolidWorks Flow Simulation* 2014. [žiūrēta 2022-01-17]
35. Yong-Hyun Kim. Young-Ji An. Jae-Won Shin. Carbonyl Compounds Containing Formaldehyde Produced from the Heated Mouthpiece of Tobacco Sticks for Heated Tobacco Products. *Molecules* 2020, 25(23), 5612; [žiūrēta 2022-01-19] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/molecules25235612>.
36. WHO. Heated Tobacco Products (HTPs): Market Monitoring Information Sheet, No. WHO/NMH/PND/18.7; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2018. [žiūrēta 2022-01-19].
37. Bitzer, Zachary T.; Goel, Reema; Trushin, Neil; Muscat, Joshua; Richie, John P. (2020). Free Radical Production and Characterization of Heat-Not-Burn Cigarettes in Comparison to Conventional and Electronic Cigarettes. *Chemical Research in Toxicology*, [žiūrēta 2022-01-22] doi:10.1021/acs.chemrestox.0c00088.
38. Yoshihiro Enomoto, Ryosuke Imai, Keiko Nanjo, Yuichi Fukai, Katsura Ishikawa, Misato Kotaki. Comparison of the effects of three types of heating tobacco system and conventional cigarettes on indoor air quality. *SN Applied Sciences* volume 4, Article number: 8 (2022) [žiūrēta 2023-01-22] prieiga per internetą: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-021-04896-8>.

39. Maya I. Mitova. Comparison of the impact of the Tobacco Heating System 2.2 and a cigarette on indoor air quality. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* Volume 80, October 2016, Pages 91-101. [žiūrėta 2022-01-22] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2016.06.005>.
40. SOLIDWORKS 2019 Tutorial. A Step-by-Step Project Based Approach Utilizing 3D Solid Modeling. [žiūrėta 2021-02-16] prieiga per internetą: <https://static.sdcpublications.com/pdfsample/978-1-63057-238-9-1.pdf>.
41. Randy Shih. *Introduction to Finite Element Analysis Using SolidWorks Simulation* 2014. ISBN-13:978-1-58503-857.
42. Tyler J. Johnson. Steady-state measurement of the effective particle density of cigarette smoke. *Journal of Aerosol Science* .Volume 75, September 2014, Pages 9-16. [žiūrėta 2021-02-16] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2014.04.006>.
43. Guohui Feng, Yang Bi, Yixian Zhang, Yilin Cai, Kailiang Huang. Study on the motion law of aerosols produced by human respiration under the action of thermal plume of different intensities. *Sustain Cities Soc.* 2020 Mar; 54: 101935. [žiūrėta 2021-03-18] doi: 10.1016/j.scs.2019.101935.
44. Meišutovič-Akhtarjeva Marija. Prasauskas Tadas. Čiužas Darius. Kaunelienė Violeta Martuzevičius Dainius. The Dynamics of Exhaled Aerosol Following the Usage of Heated Tobacco Product, Electronic Cigarette, and Conventional Cigarette. Department of Environmental Technology, Kaunas University of Technology, Lithuania. [žiūrėta 2021-03-20] doi: 10.4209/aaqr.200653.
45. Vytautas Sasnauskas, Žymantas Tudžionis, Juozas Deltuva. *Statybinių medžiagų technologiniai procesai*. [žiūrėta 2021-03-26] ISBN 978-9955-686-55-2.
46. Solidworks flow simulation technical reference. [žiūrėta 2021-04-12] prieiga per internetą: https://d2t1xqejof9utc.cloudfront.net/files/18565/SW_CFD_technical_reference.pdf?1361897013.
47. Yong Chae Jung. Bharat Bhushan. Biomimetic structures for fluid drag reduction in laminar and turbulent flows. *Journal of Physics: Condensed Matter*, Volume 22, Number 3. [žiūrėta 2021-04-12] prieiga per internetą: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0953-8984/22/3/035104/met>.
48. World Health Organization (WHO) (2019). WHO Report on the Global Tobacco Epidemic: Offer to Help Quit Tobacco Use. [žiūrėta 2021-04-28] prieiga per internetą: <https://escholarship.org/uc/item/1g16k8b9>.
49. Kaunelienė, V. Meišutovič-Akhtarjeva, M. Prasauskas, T. Čiužas, D. Krugly, E. Keraitytė, K. Martuzevičius, D. (2019). Impact of using a Tobacco Heating System (THS) on indoor air quality in a nightclub. *Aerosol Air Qual. Res.* 19, 1961–1968. [žiūrėta 2021-12-16] [prieiga per internetą] <https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.04.0211>.
50. Jiyuan Tu, Guan Heng Yeoh, Chaoqun Liu *Computational Fluid Dynamics: A Practical Approach*. [žiūrėta 2021-05-18] ISBN: 978-0-08-101127-0.
51. Interface Science and Technology. *Inhaled Particles* Volume 5. Chapter 4. Behavior of aerosol particles., 55–78. [žiūrėta 2021-05-19] doi:10.1016/S1573-4285(05)80008-0.
52. Ajay Kumar Thakur. Bharti Kaundle. Inderbir Singh. Chapter 22 - Mucoadhesive drug delivery systems in respiratory diseases. *Targeting Chronic Inflammatory Lung Diseases Using Advanced Drug Delivery Systems*. 2020, Pages 475-49. [žiūrėta 2021-05-19] prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820658-4.00022-4>