



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

**Statybinių medžiagų išskiriamų lakių organinių junginių  
taršos patalpų ore modeliavimas**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Aurimas Tulas**

Projekto autorius

**doc. Violeta Kaunelienė**

Vadovė

---

**Kaunas, 2021**



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

# **Statybinių medžiagų išskiriamų lakių organinių junginių taršos patalpų ore modeliavimas**

Baigiamasis magistro projektas

Aplinkosaugos inžinerija (6211EX003)

---

**Aurimas Tulas**

Projekto autorius

**doc. Violeta Kaunelienė**

Vadovė

**v.m.d. Tadas Prasauskas**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2021**



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

Aurimas Tulas

## **Statybinių medžiagų išskiriamų lakių organinių junginių taršos 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.

Aurimas Tulas

*Patvirtinta elektroniniu būdu*

Tulas, Aurimas. Statybinių medžiagų išskiriamų lakių organinių junginių taršos patalpų ore modeliavimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. Violeta Kaunelienė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: modeliavimas, lakūs organiniai junginiai (LOJ), statybos produktai, emisija, patalpų oro kokybė.

Kaunas, 2021. 55 p.

## Santrauka

Šiais laikais, kai urbanizacijos lygis vis didėja, žmonės vis daugiau laiko praleidžia pastatuose. Prasta patalpų oro kokybė gali sukelti įvairius simptomus ar net kartais sukelti įvairias ligas. Iš mokslinių tyrimų žinoma, kad dalį nepageidaujamų simptomų sukelia lakūs organiniai junginiai. Šie teršalai neretai į patalpų orą patenka iš lauko, tačiau nemaža dalis, o ypač naujos statybos pastatuose, išmetami iš statybinių gaminių. Šiuo metu tik maža dalis Europos valstybių taiko apribojimus lakių organinių junginių emisijai iš statybinių gaminių. EU-LCI koncepcija siekiama suderinti ir apriboti lakių organinių junginių kiekį, leistiną statybiniuose gaminiuose. Šiame darbe, pagrindinis tikslas buvo modeliavimo būdu patikrinti, ar EU-LCI koncentracijų vertės įvairiems organiniams junginiams yra pakankamos, esant skirtingoms patalpų sąlygoms, kad nebūtų viršytos ribinės koncentracijų vertės. Šiame darbe buvo tiriami 8 skirtingi lakūs organiniai junginiai: 3-karenas, formaldehidas, acetaldehidas, ksilenas, benzilo alkoholis, stirenas, toluenas ir  $\alpha$ -pinenas. Modeliavimas buvo vykdomas dviejų skirtingų dydžių patalpoms – standartiniam kambariui ir mokyklos klasei. Šiems scenarijams skyrėsi apkrovimo faktorių dydis. Ventiliacijos intensyvumas buvo pasirinktas pagal aprašytus standartus, ir šiame darbe buvo tirama esant  $0,25 \text{ h}^{-1}$ ,  $0,5 \text{ h}^{-1}$ ,  $1 \text{ h}^{-1}$  ir  $2 \text{ h}^{-1}$  oro srauto apytakos intensyvumams. Tyrimo metu, paaiškėjo, kad ribinės vertės nebuvo viršytos visais scenarijais, kai oro srauto apytakos intensyvumas buvo didesnis nei  $1 \text{ h}^{-1}$ . Taip pat buvo nustatyta, kad visais scenarijais, esant didžiausiam apkrovimo faktoriui ir mažiausiam ventiliacijos intensyvumui, formaldehido ir benzilo alkoholio koncentracijos neviršijo ribinių verčių. Tuo tarpu, acetaldehido koncentracija viršijo ribinę vertę daugiau nei 3 kartais. Iš 96 scenarijų, tik 2 atvejais ribinė koncentracija buvo viršyta, kai ventiliacijos intensyvumas buvo  $0,5 \text{ h}^{-1}$ . Abu šie atvejai buvo modeliuojant standartiniame kambaryje prie didžiausio apkrovimo faktoriaus  $1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ir mažiausio ventiliacijos intensyvumo. Acetaldehido koncentracija viršijo ribinę vertę ir buvo lygi  $0,13 \text{ mg}/\text{m}^3$ , ir  $\alpha$ -pineno koncentracija viršijo ribinę vertę ir buvo lygi  $0,27 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Taip pat buvo atliktas modeliavimo tyrimas, kurio metu buvo nustatomas suminės lakių organinių junginių koncentracijos pokytis laike. Modeliuojant standartiniame kambaryje, suminė lakių organinių junginių maksimali koncentracija viršijo ribinę vertę daugiau nei 3 kartus ir buvo lygi  $3,3 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Modeliuojant mokyklos klasėje, ši koncentracija buvo šiek tiek mažesnė, tačiau taip pat viršijo ribinę koncentracijos vertę ir buvo lygi  $2,55 \text{ mg}/\text{m}^3$ .

Tulas, Aurimas. Simulation of Building Material Emitted Indoor Air Pollution with Volatile Organic Compounds. Master's Final Degree Project supervisor doc. Violeta Kaunelienė; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: modeling, volatile organic compounds (VOC), construction products, emission, indoor air quality.

Kaunas, 2021. 55 pages.

### Summary

In recent times of increasing urbanization, people are spending more and more time inside of buildings. Poor indoor air quality can lead to a variety of symptoms or even cause some serious illnesses. Research shows that some of those symptoms are caused by volatile organic compounds. These pollutants often enter indoor air from the outside, but a significant amount, especially in newly constructed buildings, are emitted from construction products. Currently, only a small number of European countries apply restrictions on volatile organic compounds in construction products. The EU-LCI concept aims to harmonize and limit the amount of volatile organic compounds allowed in construction products. In this work, the main objective was to use modelling to check whether the EU-LCI concentration values for different organic compounds are sufficient under different indoor conditions to not exceed the concentration limits. In this work, 8 different volatile organic compounds were investigated. These compounds are: 3-carene, formaldehyde, acetaldehyde, xylene, benzyl alcohol, styrene, toluene,  $\alpha$ -pinene. The simulation was performed for two different sized rooms – a standard room and a school classroom. The size of the loading factors varied for both of these scenarios. Air exchange rate was selected according to the described standards and in this work it was chosen to use  $0.25\text{ h}^{-1}$ ,  $0.5\text{ h}^{-1}$ ,  $1\text{ h}^{-1}$  and  $2\text{ h}^{-1}$  air exchange rates. It was found that the limit values were not exceeded in all scenarios when the air exchange rate was higher than  $1\text{ h}^{-1}$ . It was found that concentrations of formaldehyde and benzyl alcohol did not exceed the limit values in all scenarios with highest loading factor and lowest air exchange rate, meanwhile the concentration of acetaldehyde, in the same scenario, exceeded the limit value more than 3 times. There were only 2 of 96 simulation cases, where the limit value was exceeded with the air exchange rate of  $0.5\text{ h}^{-1}$ . Both of these cases were modeled in a standard room with the maximum loading factor of  $1.4\text{ m}^2/\text{m}^3$  and lowest air exchange rate. In these cases, acetaldehyde concentration exceeded the limit value at the maximum of  $0.13\text{ mg}/\text{m}^3$  and  $\alpha$ -pinene exceeded the limit value at the maximum of  $0.27\text{ mg}/\text{m}^3$ . Additional modeling experiment was carried out to determine the change of the total concentration of volatile organic compounds over time. During the modeling in a standard room, TVOC concentration reached a maximum concentration of  $3.3\text{ mg}/\text{m}^3$ , which is more than 3 times higher than its limit value. In the classroom experiment, TVOC concentration was higher than limit value and capped at  $2.55\text{ mg}/\text{m}^3$ .

# Turinys

Lentelių sąrašas .....	8
Paveikslų sąrašas .....	9
Įvadas.....	10
<b>1. Literatūros apžvalga .....</b>	<b>11</b>
1.1. Lokieji organiniai junginiai .....	11
1.2. Lakiųjų organinių junginių kilmė.....	11
1.3. Pagrindiniai lokieji organiniai junginiai .....	12
1.4. Lakiųjų organinių junginių poveikis žmogaus sveikatai .....	13
1.4.1. Žalingo sveikatai pastato sindromas.....	13
1.5. Lakiųjų organinių junginių ribinės vertės.....	14
1.6. EU-LCI koncepcija.....	16
1.7. Lakiųjų organinių junginių emisijos vertinimo būdai .....	18
1.7.1. Išmetimo testavimo kameros.....	18
1.7.2. Lauko ir laboratorijos emisijos celės.....	19
1.7.3. Pasyviojo srauto mėginių imtuvai.....	20
1.7.4. Tiesioginė terminė desorbcija.....	23
1.8. Lakiųjų organinių junginių išmetimo modeliavimas.....	23
1.9. Literatūrinės dalies apibendrinimas.....	25
<b>2. Tyrimų metodika .....</b>	<b>27</b>
2.1. „Simulink“ modelis .....	27
2.2. Lokieji organiniai junginiai .....	29
2.3. Proceso parametrai .....	30
2.3.1. Apkrovimo faktorius $L$ .....	30
2.3.2. Oro apytakos (ventiliacijos) intensyvumas $\lambda$ .....	31
2.3.3. Statybinės medžiagos išskiriamų teršalų koncentracija $c$ .....	31
2.3.4. Natūralus lakiojo organinio junginio koncentracijos mažėjimo koeficientas $\tau$ .....	31
<b>3. Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas .....</b>	<b>33</b>
3.1. 3-karenas.....	33
3.1.1. 3-kareno koncentracijos modeliavimas standartiniame kambaryje.....	33
3.1.2. 3-kareno koncentracijos modeliavimas mokyklos klasėje .....	35
3.2. Formaldehidai .....	36
3.2.1. Formaldehido koncentracijos modeliavimas standartiniame kambaryje .....	36
3.2.2. Formaldehido koncentracijos modeliavimas mokyklos klasėje .....	37
3.3. Acetaldehidai .....	38
3.3.1. Acetaldehido koncentracijos modeliavimas standartiniame kambaryje.....	38
3.3.2. Acetaldehido koncentracijos modeliavimas mokyklos klasėje .....	39
3.4. Ksilenas .....	40
3.4.1. Ksileno koncentracijos modeliavimas standartiniame kambaryje .....	40
3.4.2. Ksileno koncentracijos modeliavimas mokyklos klasėje .....	40
3.5. Benzilo alkoholis .....	41
3.5.1. Benzilo alkoholio koncentracijos modeliavimas standartiniame kambaryje .....	41
3.5.2. Benzilo alkoholio koncentracijos modeliavimas mokyklos klasėje.....	42
3.6. Stirenas .....	43
3.6.1. Stireno koncentracijos modeliavimas standartiniame kambaryje .....	43

3.6.2. Stireno koncentracijos modeliavimas mokyklos klasėje .....	44
3.7. Toluenas .....	45
3.7.1. Tolueno koncentracijos modeliavimas standartiniame kambaryje.....	45
3.7.2. Tolueno koncentracijos modeliavimas mokyklos klasėje .....	45
3.8. $\alpha$ -pinenas .....	46
3.8.1. $\alpha$ -pineno koncentracijos modeliavimas standartiniame kambaryje.....	46
3.8.2. $\alpha$ -pineno koncentracijos modeliavimas mokyklos klasėje .....	48
3.9. Suminės teršalų koncentracijos modeliavimas .....	48
3.9.1. Suminės teršalų koncentracijos modeliavimas standartiniame kambaryje .....	49
3.9.2. Suminės teršalų koncentracijos modeliavimas mokyklos klasėje.....	50
<b>Išvados .....</b>	<b>51</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>52</b>

## Lentelių sąrašas

1 lentelė. Įvairių lakių junginių dominuojantys šaltiniai biuro tipo pastatuose ir gyvenamuose ar viešuose pastatuose (Shrubsole et al. 2019) .....	12
2 lentelė. Žmogaus sveikatos sutrikimai priklausomai nuo lakiųjų organinių junginių koncentracijos .....	14
3 lentelė. Keleto lakiųjų organinių junginių ribinės vertės.....	16
4 lentelė. Šiame darbe analizuojamų junginių EU-LCI vertės .....	18
5 lentelė. Lakių organinių junginių koncentracijos, nustatytos modeliavimo būdu ir eksperimentiškai, palyginimas.....	25
6 lentelė. Lakūs organiniai junginiai ir jų šaltiniai .....	29
7 lentelė. Organinių junginių mažėjimo koeficientai .....	31



## Paveikslų sąrašas

1 pav. Lakių organinių junginių šaltiniai (Frye 2016).....	12
2 pav. Išmetimo testavimo kamera (Even et al. 2020) .....	19
3 pav. Lauko ir laboratorijos išmetimo celė (Rizk et al. 2018) .....	20
4 pav. Pasyviojo srauto mėginių imtuvas (TISCH 2021).....	21
5 pav. PUF diskinio mėginių imtuvo schema (Strandberg et al. 2018).....	22
6 pav. Cilindrinis (radialinis) mėginių imtuvas (Gallego et al. 2018).....	22
7 pav. Lakiųjų organinių junginių koncentracijos kitimo laike modelis „Simulink“ aplinkoje .....	29
8 pav. 3-kareno koncentracija standartiniame kambaryje, kai $L = 1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	34
9 pav. 3-kareno koncentracija standartiniame kambaryje, kai $L = 1 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	34
10 pav. 3-kareno koncentracija standartiniam kambariui, kai $L = 0,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	35
11 pav. 3-kareno koncentracija mokyklos klasėje, kai $L = 0,85 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	36
12 pav. Formaldehido koncentracija standartiniame kambaryje, kai $L = 1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	37
13 pav. Formaldehido koncentracija mokyklos klasėje, kai $L = 0,85 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	37
14 pav. Acetaldehido koncentracija standartiniame kambaryje, kai $L = 1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	38
15 pav. Acetaldehido koncentracija standartiniame kambaryje, kai $L = 0,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	39
16 pav. Acetaldehido koncentracija mokyklos klasėje, kai $L = 0,45 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	40
17 pav. Ksileno koncentracija mokyklos klasėje, kai $L = 0,85 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	41
18 pav. Benzilo alkoholio koncentracija standartiniame kambaryje, kai $L = 1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	42
19 pav. Benzilo alkoholio koncentracija mokyklos klasėje, kai $L = 0,85 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	42
20 pav. Stireno koncentracija standartiniame kambaryje, kai $L = 1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	43
21 pav. Stireno koncentracija standartiniame kambaryje, kai $L = 0,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	44
22 pav. Stireno koncentracija mokyklos klasėje, kai $L = 0,625 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	44
23 pav. Tolueno koncentracija standartiniame kambaryje, kai $L = 1 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	45
24 pav. Tolueno koncentracija mokyklos klasėje, kai $L = 0,625 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	46
25 pav. $\alpha$ -pineno koncentracija standartiniame kambaryje, kai $L = 1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	47
26 pav. $\alpha$ -pineno koncentracija standartiniame kambaryje, kai $L = 0,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	47
27 pav. $\alpha$ -pineno koncentracija mokyklos klasėje, kai $L = 0,45 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .....	48
28 pav. TVOC koncentracija standartiniame kambaryje.....	49
29 pav. TVOC koncentracija mokyklos klasėje .....	50

## Įvadas

Bloga vidaus oro kokybė gali lemti daugybę rimtų sveikatos problemų. Teršalų kiekis pastatuose atsiranda dėl teršalų susidarančių pastato viduje, tiek atsklindančių iš lauko šaltinių. Lakios organinės medžiagos gali sukelti kvėpavimo takų problemų, sukelti alergijas ar slopinti žmogaus imuninę sistemą. Kadangi dauguma žmonių, didžiąją dalį dienos laiko praleidžia namuose, darbe, parduotuvėse, labai svarbu, jog lakiųjų organinių junginių kiekis patalpose būtų kuo mažesnis. Šiame darbe buvo gilinamasi į iš statybinių medžiagų išsiskiriančius lakiuosius organinius junginius.

Kaip žinoma, nemaža dalis teršalų į patalpų orą patenka iš statybinių medžiagų, todėl labai svarbu, kad statybiniai gaminiai savo sudėtyse turėtų minimalų kiekį kenksmingų lakių organinių junginių. Šiam tikslui bus nagrinėjama statybinėms medžiagoms taikoma EU-LCI koncepcija.

Pagrindinis šio darbo tikslas buvo patikrinti ar mokslininkų nustatytos EU-LCI koncentracijų vertės, įvairiais scenarijais neviršija lakių organinių junginių ribinių verčių. Šiam tikslui įgyvendinti buvo išsikelti šie uždaviniai:

1. Atlikti literatūros analizę, apžvelgti lakių organinių junginių emisijos iš statybinių medžiagų vertinimo ir reglamentavimo būdus.
2. Naudojantis moksline literatūra ir jau žinomais modeliais, sukurti modeliavimo schemą pasirinktoje programoje, apibrėžti modelio parametrus, identifikuoti charakteringus lakiuosius junginius modeliavimui.
3. Atlikti pasirinktų lakių organinių junginių koncentracijos modeliavimą, esant skirtingiems ventiliacijos intensyvumams ir apkrovimo faktoriams, bei palyginti su ribinėmis vertėmis.
4. Apibendrinti gautus rezultatus ir įvertinti, ar esamas lakių organinių junginių emisijos iš statybinių medžiagų reglamentavimas yra pakankamas.

## **1. Literatūros apžvalga**

### **1.1. Lakieji organiniai junginiai**

Vidutiniškai žmogus per dieną praleidžia apie 70 proc. laiko įvairiuose pastatuose ir apie 50 proc. namuose [1]. Pastatai ir jų viduje esančio oro kokybė yra labai svarbus faktorius žmogaus sveikatai. Patalpų ore yra labai daug skirtingų teršalų, įskaitant dujinius teršalus, tokius kaip neorganiniai cheminiai junginiai, lakūs organiniai junginiai, biologiniai teršalai (alergenai, virusai, bakterijos ir pelėsiai), ir kietosios dalelės [2]. Lakių organinių junginių fizikinės ir cheminės savybės bei išsilaikymo atmosferoje trukmė, kuri trunka, priklausomai nuo junginio, nuo kelių minučių iki kelių mėnesių, leidžia šiems junginiams kauptis ir galiausiai patenka į žmogaus organizmą, dažniausiai per kvėpavimo takus ir odą, ir sukelia įvairius simptomus kurie iššaukia ligas. Lakiųjų organinių medžiagų poveikis sveikatai yra nustatomas pagal patiriamą poveikio lygį per laiką praleistą pastate.

Lakūs organiniai junginiai yra labai didelė heterogeninė organinių cheminių junginių grupė, į kurią įeina alifatiniai ir aromatiniai angliavandeniliai, alkoholiai, aldehidai, ketonai, esteriai ir halogeninti junginiai, kurie yra labai lakūs. Lakūs organiniai junginiai iš esmės yra apibrėžiami kaip organiniai junginiai turintys didesnę garų slėgį nei 0,01 kPa esant kambario temperatūrai [3].

Lakūs organiniai junginiai yra skirstomi į tris grupes [4]:

- labai lakūs organiniai junginiai – šių junginių virimo temperatūra yra nuo <0 iki 50-100 laipsnių ribose. Dėl jų didelio lakumo, šie junginiai egzistuoja dujinėje fazėje;
- lakūs organiniai junginiai – šių junginių virimo temperatūra yra nuo 50-100 iki 240-260 laipsnių;
- pusiau lakūs organiniai junginiai – šių junginiai virimo temperatūra yra 250-390 laipsnių ribose.

### **1.2. Lakiųjų organinių junginių kilmė**

Didelis kiekis lakių organinių junginių yra išmetama į atmosferą iš natūralių arba antropogeninių šaltinių. Natūralius šaltinius sudaro augmenija, ypač mažai apgyvendintos miškingos vietovės, vandenynai, kiti vandens telkiniai, planktonai, dirvožemio mikrobiota. Augalai skleidžia tokius lakius junginius kaip terpenoidai, heksanaliai, metanolis ir acetonas [5].

Antropogeninius lakių organinių junginių šaltinius sudaro automobilių išmetamos dujos, kuro deginimas, pramoniniai šaltiniai ir kt. Apie 50% urbanizuotose vietovėse išmetamų dujų sudaro nesudegęs automobilių kuras kuris paskleidžia į atmosferą tokius junginius kaip alkanai, alkenai, alkinai, aromatiniai angliavandeniliai, benzenas, toluenas ir kiti junginiai [6].

Vidaus ore lakūs organiniai junginiai dažniausiai sklinda iš statybos ir baldinių medžiagų (dažų, vaškų, tirpiklių, klijų), taip pat iš namų apyvokos produktų (skalavimo priemonių, valymo priemonių, oro gaiviklių ir asmeninio naudojimo produktų). Žmogaus veikla taip pat prisideda prie lakių organinių junginių išsiskyrimo, pavyzdžiui gaminant maistą, kūrenant krosnį, rūkant ar tiesiog renovuojant namus. Ofisų aplinkoje didelę dalį teršalų į atmosferą išskiria kompiuteriai bei spausdintuvai [7, 8, 9].

 <p><b>Statybinės medžiagos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kilimai ir kilijai</li> <li>• Sandarinimo medžiagos</li> <li>• Dažai</li> <li>• Medienos gaminiai</li> <li>• Apmušaliniai audiniai</li> <li>• Tirpikliai</li> <li>• Lakai</li> <li>• Vinilinė grindų danga</li> </ul>	 <p><b>Namų apyvokos ir asmeninės priežiūros produktai</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oro gaivikliai</li> <li>• Mazutas ir benzinas</li> <li>• Kosmetinės priemonės</li> <li>• Ozoną gaminantys produktai</li> <li>• Valymo priemonės</li> <li>• Priemonės nuo vabzdžių ir kenkėjų</li> <li>• Transporto priemonių išmetimas</li> </ul>	 <p><b>Kuras ir buitinė technika</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maisto ruošimas</li> <li>• Sausas valymas</li> <li>• Kopijavimo aparatai</li> <li>• Patalpų šildytuvai</li> <li>• Cigarečių dėmai</li> <li>• Krosnys</li> <li>• Sandėliuojami dažai ir chemikalai</li> </ul>
---	--	---

**1 pav.** Lakių organinių junginių šaltiniai [10]

Lyginant lauko ir patalpų oro kokybę, pastatuose lakių organinių junginių poveikis žmogaus sveikatai yra didesnis, dėl didesnio laiko praleidžiamo pastatuose. Pastatų viduje žmonės dažniausiai yra veikiami 2-5 kartais didesniais kiekiais lakiųjų organinių junginių, negu būdami lauke [11, 12].

### 1.3. Pagrindiniai lakieji organiniai junginiai

Labai daug medžiagų yra priskirta prie lakių organinių junginių, tačiau dauguma jų yra arba labai retai aptinkami arba aptinkami labai mažomis koncentracijomis. Kai kurie lakūs junginiai turi gerų savybių ir gali būti randami kiekvienuose namuose [13].

1 lentelėje galima matyti pagrindinius lakiuosius junginius ir jų šaltinius ofiso tipo pastatuose bei privačiuose ar viešuosiuose pastatuose.

**1 lentelė.** Įvairių lakių junginių dominuojantys šaltiniai biuro tipo pastatuose ir gyvenamuose ar viešuose pastatuose [7]

Lakus organinis junginys	Šaltiniai biuro tipo pastatuose	Šaltiniai viešuose bei privačiuose namuose
Acetaldehidai	Žmonių veikla	Presuota mediena, sienų, grindų dažuose
Benzenas	Nepilnas degimas, daugiausiai sklinda nuo automobilių išmetimo	Nepilnas degimas, grindų laminatas, akriliniai dažai
Formaldehidai	Medinių grindų produktai, daugiau išsiskiria vasaros metu dėl pagreitinotos reakcijos	Laminatas, linoleumas, lakuotos grindys, kamštinė danga, dažai, tapetai, stalų mediena
$\alpha$ - pinenas	Medienos produktai, kvepalai, valymo priemonės, dezodorantai	Valymo bei grožio priemonės, medienos plokštės
D - limonenas	Valikliai ir oro gaivikliai	Valymo priemonės

Lakus organinis junginys	Šaltiniai biuro tipo pastatuose	Šaltiniai viešuose bei privačiuose namuose
Toluenas	Automobilių išmetamos dujos, įvairūs klijai	Kilimai, baldai
Ksilenas	Klijai, tinkas	Tinkas, dažai, įvairūs klijai

#### 1.4. Lakių organinių junginių poveikis žmogaus sveikatai

Lakūs organiniai junginiai, priklausomai nuo jų charakteristikos, koncentracijos ir poveikio trukmės, yra siejami su nemažai žmogaus sveikatos problemų. Žmonės šių junginių gali būti paveikti įkvepiant jais užteršto oro, per virškinimo traktą bei sąlytyje su odos paviršiumi. Epidemiologiniai tyrimai rodo, kad chroninis įvairių cheminių medžiagų, tokių kaip policikliniai aromatiniai angliavandeniliai, lakūs organiniai junginiai, ore suspenduotos dalelės, kurios atsiranda iš įvairių pramoninių procesų, yra siejamos su įvairiomis plaučių problemomis, tokiomis kaip sumažėjusi plaučių funkcija, padidėjusi rizika susirgti kitomis plaučių ligomis [6, 14, 15].

Lakių organinių junginių sukeltos sveikatos problemos [16]:

- akių, nosies ir gerklės dirginimas;
- galvos skausmas, koordinacijos sutrikimai;
- kepenų sutrikimas, inkstų ir centrinės nervų sistemos pažeidimas;
- kai kurie lakūs organiniai junginiai gali sukelti vėžinių ląstelių atsiradimą.

Simptomai galimai susiję su lakiųjų organinių junginių poveikiu:

- galvos skausmas;
- odos alerginė reakcija;
- akių dirginimas;
- nosies ir gerklės diskomfortas;
- pykinimas;
- dusulys;
- vėmimas;
- silpnumas;
- svaigimas;
- kraujavimas iš nosies.

Kaip jau buvo minėta, simptomų stiprumas priklauso nuo daugybės faktorių tokių kaip teršalų koncentracija ir laikas, per kurį buvo veikiamas šių medžiagų.

##### 1.4.1. Žalingo sveikatai pastato sindromas

Išsivysčiusio pasaulio žmonės, ypač žmonės dirbantys ofisuose, senyvo amžiaus žmonės ir žmonės su alerginėmis ligomis praleidžia 90% laiko namuose ir kituose pastatuose ir yra ypač pažeidžiami šio žalingo sveikatai pastato sindromo.

Žalingo sveikatai pastato sindromas - tai fenomenas, kuris yra jaučiamas žmonių, kurie praleidžia daug laiko pastato viduje. Jei pradeda jausti galvos skausmą, alergines reakcijas, pykinimą, dusulį, svaigimą, silpnumą ir kitus simptomus, išėjus iš pastato ir praėjus 5 ar daugiau minutėms, šie simptomai išnyksta.

Šie sindromo simptomai priklauso nuo pastatų vidaus oro kokybės faktorių, tokių kaip: ventiliacija, apšvietimas, oro temperatūra, triukšmas, oro drėgnumas, pastato mikrobinė įvairovė (pelėsiai, bakterijos, dulkių erkės), pastato statybinės medžiagos ir lakūs organiniai junginiai [17, 18].

Švedijos ir Malaizijos mokslininkai darė tyrimą apie Malaizijos mokyklų oro kokybę. Paėmę mėginius nustatė, kad lakiųjų organinių junginių koncentracijos yra žymiai mažesnės nei leistinos, tačiau statistiniai duomenys parodė, kad yra statistiškai reikšmingas ryšys tarp lakiųjų organinių junginių ore ir mokinių sveikatos simptomų. Formaldehidai sukelia akių ir gerklės simptomus ir nuovargį, ksilenas – akių simptomus ir nuovargį, etilbenzenas – nosies simptomus ir nuovargį, benzaldehidai – galvos skausmą, metilcikloheksanas – nosies simptomus [19].

Lakiųjų junginių koncentracija pastato viduje priklauso nuo šių faktorių:

- lakiųjų organinių junginių išmetimo kiekis vidaus ore;
- pastato tūris;
- lakiųjų organinių junginių pašalinimo greitis;
- oro maišymo tempas mechanine ventiliacija;

2 lentelėje galima matyti, prie kokios lakiųjų organinių junginių koncentracijos pradedama jausti pirmieji simptomai [20]:

**2 lentelė.** Žmogaus sveikatos sutrikimai priklausomai nuo lakiųjų organinių junginių koncentracijos

Lakiųjų organinių junginių koncentracija ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Simptomai
< 200	Jokių simptomų
200 – 3000	Dirginimas ir diskomfortas
3000 – 25000	Diskomfortas ir galvos skausmas
> 25000	Sveikatai pavojinga koncentracija, galimas toksiškas nervams efektas

### 1.5. Lakiųjų organinių junginių ribinės vertės

Pasaulio sveikatos organizacija (PSO) sukūrė gaires patalpų oro kokybei, reglamentavo keletą teršalų. Pagrindinės iš šių medžiagų yra azoto dioksidas, naftalenas, policikliniai aromatiniai junginiai, benzenas, radonas, anglies monoksidas, trichloretilenas ir tetrachloretilenas [21].

Šiuo metu nėra jokių pamatinių direktyvų patalpų oro kokybei Europos teisės aktuose, tačiau vis daugėja iniciatyvų šių teisės aktų rengimui. Pavyzdžiui, Europos bendradarbiavimo veiksmų grupė kartu su mokslininkais iš visos Europos kuria strategijas, kurių tikslas kurti netaršius ir aplinką tausojančius pastatus.

Kai kurios Europos Sąjungos valstybės, tokios kaip Prancūzija, Belgija, Lietuva, Austrija, Portugalija, Vokietija, Olandija ir Suomija pradėjo imtis veiksmų, siekiant įteisinti leistinas teršalų koncentracijų vertes patalpų oro kokybei [22]. Šie veiksmai gali būti:

- tam tikrų teršalų leistinų koncentracijų nustatymas, laikantis gairių, sukurtų pasaulio sveikatos organizacijos;
- patalpų aplinkai skirtų teisės aktų rengimas;
- patalpų oro stebėjimo procesų planavimas ir nustatymas;
- edukacinių programų kūrimas patalpų oro kokybės klausimais, biuro ar kitų dažnai naudojamų patalpų naudotojams, vadovams ir darbuotojams;
- mokslo žiniomis ir praktine patirtimi pagrįstų saviugdos veiklos protokolų ir vadovų, apie patalpų oro kokybę, įvedimas.

Pastaraisiais metais kelios ES šalys įsteigė darbo grupes, kurios turi įgaliojimus sukurti orientacines oro kokybės vertes uždaroje patalpose. Pavyzdžiui Vokietijoje dar 1993 metais buvo sukurta darbo grupė, kuri pradėjo rengti patalpų oro kokybės gaires šalyje. Šią darbo grupę sudaro patalpų oro higienos komisijos ir aukščiausiųjų valstybinių sveikatos institucijų ekspertai. Nuo 2015 metų ši grupė pavadinta Vokietijos vidaus oro gairių komitetu.

Vokietijoje patalpų oro orientacinės vertės individualioms medžiagoms yra nustatomos Federalinės aplinkos agentūros vidaus oro higienos komisijos ir nuolatinės aukščiausių valstybinių sveikatos institucijos darbo grupės narių. Orientacinės vertės skirstomos į dvi grupes:

- orientacinė vertė I – nusako individualios medžiagos koncentraciją vidaus ore, kuri turi minimalią įtaką žmogaus sveikatai veikiant ilgesnį laiką. Koncentracija, viršijanti šią orientacinę vertę yra siejami su neigiamu poveikiu žmogaus sveikatai.
- orientacinė vertė II – tai vertė nustatyta pagal dabartines toksikologines ir epidemiologines žinias apie teršalo ribines vertes. Tai koncentracija, kurią peržengus gali sukelti rimtų sveikatos sutrikimų, ypač jautriems žmonėms.

Šios orientacinės vertės yra nustatomos individualioms medžiagoms ir nenusako galimų efektų žmogaus organizmui, jeigu vienu metu veikiama daugeliui medžiagų [23].

Taip pat, Vokietijoje 2013 metais ekologinių tyrimų institutų asociacija (AGOF) atliko duomenų analizę ir susistemino orientacines organinių junginių vertes savo darbe „AGOF lakių organinių junginių orientacinės vertės patalpų ore“ [24].

Didžioji Britanija yra taip pat viena iš Europos lyderių, siekiančių nustatyti ribas orą teršiančioms medžiagoms. Šios šalies mokslininkai orientacines vertes individualioms medžiagoms, kaip ir Vokietijoje, nustato pagal pasaulio sveikatos organizacijos gaires, pasitelkiant mokslinių tyrimų medžiagą ir jau įsigaliojusias kitų šalių gaires [25].

Lietuvoje taip pat yra nustatytos ribinės koncentracijos vertės Lietuvos Sveikatos apsaugos ministro įsakymu patvirtintoje Higienos Normoje HN 35:2007 „Didžiausia Leidžiama Cheminių medžiagų (teršalų) koncentracija gyvenamosios ir visuomeninės paskirties pastatų patalpų ore“ [26].

Didžiojoje Britanijoje, Vokietijoje ir Lietuvoje nustatytos ribinės vertės yra pateiktos 3 lentelėje.

**3 lentelė.** Keleto lakiųjų organinių junginių ribinės vertės

Organinio junginio pavadinimas	Ribinė vertė (mg/m <sup>3</sup> ) (PHE, JK)	Ribinė vertė (mg/m <sup>3</sup> ) (Umwelt Bundesamt, Vokietija)	Ribinė vertė (mg/m <sup>3</sup> ) (AGOF, Vokietija)	Ribinė vertė (mg/m <sup>3</sup> ) (Lietuva)
3-karenas	0,28	-	0,2	-
Formaldehidas	-	0,1	-	0,1
Acetaldehidas	-	0,1	0,1	0,01
Ksilenas	0,1	0,1	-	0,2
Benzilo alkoholis	-	0,4	0,4	0,16
Stirenas	0,85	0,03	0,03	0,04
Toluenas	2,3	0,3	0,3	0,6
α-pinenas	4,5	-	0,2	-
BLOJ	-	-	1	-

### 1.6. EU-LCI koncepcija

Statybinės medžiagos, tokie kaip grindų danga, medienos drožlių plokštės, medienos plokštės, kilimai ir kilijai skleidžia į aplinką įvairias dujines medžiagas, įvairius lakius organinius junginius.

Mažai taršių statybinių produktų naudojimas yra pagrindinė priemonė norint pagerinti patalpų oro kokybę. Šiais laikais pastatų įrengimas susitelkęs į energijos efektyvumo didinimą, todėl lakių organinių junginių išmetimas gali tapti rimta problema, kadangi oro maišymosi su šviežiu oru intensyvumas gali būti ribojamas.

Europos Sąjungoje buvo įgyvendintas statybos produktų reglamentas siekiant suderinti testavimo metodus ir statybinių produktų žymėjimą su tikslu pašalinti prekybos kliūtis Europos rinkoje. Statybos produktų reglamentas apibrėžia septynis reikalavimus statybos darbams ir jiems naudojamiems produktams, kurių 3 reikalavimas „Higiena, sveikata ir aplinka“ nurodo, kad junginiai iš statybinių medžiagų neturi kelti pavojaus pastato vartotojų sveikatai [27].

Statybos produktų reglamente nurodoma, kad gamintojai turi taikyti CE ženklimą produktams, kuriems taikomas darnusis Europos standartas (hEN). Jis apibrėžia parametrus, kurie turi būti aprašomi produkto veikimo deklaracijoje. Anksčiau CE ženklimas buvo kaip priemonė daugeliui statybos gaminių patekti į Europos rinką. Jis buvo naudojamas apibūdinti produkto savybėms, tokioms kaip degumas ir mechaninis stabilumas. Statybos produktų reglamentu siekiama papildyti CE ženklimą papildoma informacija dėl pavojingų, išmetamų į aplinką, medžiagų. Šiuo metu Europoje tik nedaugelis gaminių standartų turi su sveikata susijusius reikalavimus. Ypačingai nebuvo atsižvelgiama į lakių organinių junginių išmetimą, išskyrus formaldehidą. Ateityje CE ženklimas bus privalomas kartu su gaminio eksploatacinių savybių deklaracija dėl lakių organinių medžiagų išmetimo. Šiuo tikslu Europos šalys – narės turės apibrėžti savo nacionalinius reikalavimus, tai yra priimant leidžiamas lakių organinių junginių išmetimo į aplinką ribas, kad produkcija galėtų patekti į rinką.

Vokietija buvo pirmoji Europos Sąjungos šalis, 2006 metais įvedusi privalomąjį vertinimo modelį, kuriuo reguliuojami su sveikata susijusių organinių junginių išmetimai iš statybinių produktų. Taip



vadinama - AgBB schema buvo sukurta „Su sveikata susijusių statybinių produktų vertinimo komiteto“. Prancūzija ir Belgija įsteigė panašius reglamentus 2011 ir 2014 metais. Tačiau, šių trijų šalių sistemos naudoja skirtingus lakių organinių medžiagų sąrašus vertinant lakių organinių junginių išmetimą iš statybinių gaminių: Vokietijos AgBB komitetas parengė išsamius kriterijus 185 medžiagoms, Prancūzijoje reikalaujama pateikti išmetimo klasę pagal 10 skirtingų į patalpą išmetamų teršalų, o Belgijoje statybiniai produktai turi atitikti kriterijus, panašius į Vokietijos, konkrečiai naudojant suderintą EU-LCI (LCI – mažiausia dominantanti koncentracija) sąrašą.

Europos Komisija atsižvelgdama į nepakankamus sveikatos reikalavimus statybinių medžiagų reglamente, planuoja išleisti teisės aktą, kuriuo aprašoma kaip pateikti statybinių produktų emisijas naudojantis lakių organinių junginių klasėmis. Jau 2005 metais Europos Komisija išdavė įgaliojimą Europos standartizacijos komitetui sukurti standartizuotą metodą, kuriuo galima būti testuoti statybines medžiagas testavimo kamerų eksperimentuose. Šis įgaliojimas lėmė CEN/TX 351 „Pavojingos medžiagos“ įsiteigimą. Pagrindinis šio testavimo kamerų eksperimento tikslas buvo nustatyti teršiančių medžiagų tipus ir kiekius esant standartizuotoms sąlygoms [27].

2011 metais ekspertai iš dešimties Europos Sąjungos šalių pradėjo kurti EU-LCI sąrašą, siekiant suteikti bendrą statybos produktų emisijos vertinimo pagrindą, kuris yra koordinuojamas junginių tyrimų centro. Ekspertai apibrėžė EU-LCI vertes kaip „poveikiu sveikatai pagrįstos koncentracijų vertės įkvėpimo metu, vertinant emisijas po 28 dienų iš atskiro produkto, testavimo kamerų eksperimento metu“. EU-LCI verčių nustatymo procesas prasidėjo sudarant organinių junginių sąrašus, kurių koncentracijos iš statybinių gaminių išmetamos aptinkamais kiekiais. Šis etapas buvo įvykdytas naudojantis jau esamais nacionaliniais, mažiausių dominančių koncentracijų sąrašais, taip pat metodais taikomais AgBB Vokietijoje ir AFSSET Prancūzijoje. 2012 metais Prancūzijoje AFFSET (dabar ANSES) parengė lakių organinių junginių vertinimo schemą, panašią į AgBB. Ši vertinimo schema sudaryta iš 165 LCI verčių atskiriems lakiems organiniams junginiams. Vokietijos ir Prancūzijos vertinimo schemas dalijosi beveik tokiais pačiais organiniais junginiais, tačiau kai kurios LCI vertės skyrėsi dėl naudojamų skirtingų metodų. EU-LCI darbo grupė sujungė Vokietijos ir Prancūzijos junginių sąrašus į bendrą, 185 junginių, sąrašą [27].

Kitas žingsnis buvo sukurti EU-LCI verčių nustatymo protokolą. Ši procedūra pagrįsta toksikologiniais ir rizikos vertinimo principais ir atitinka principus aprašytus REACH. EU-LCI protokolas susideda iš trijų pagrindinių etapų:

- publikuotų ir turimų toksikologinių duomenų rinkimas atskiroms medžiagoms;
- duomenų vertinimas ir pagrindinio tyrimo pasirinkimas tiriant originalią literatūrą;
- EU-LCI vertės nustatymas remiantis bendru įvertinimo faktoriumi standartizuotame informaciniame lape.

Pirmasis išsamus EU-LCI verčių nustatymo protokolas, susidedantis iš 82 EU-LCI verčių, buvo publikuotas 2013 metais. Protokolas buvo pateiktas Europos Komisijai 2012 metų gruodžio mėnesį, siekiant įgyti struktūrinę ir finansinę paramą, kad būtų galima pabaigti EU-LCI verčių sąrašą. Tačiau tuo metu nebuvo aišku, kas bus atsakingi už šio projekto pratęsimą ir tuo metu Europos Komisija neparodė iniciatyvos šio proceso įgyvendinimui. EU-LCI darbo grupė, žinodama šio projekto svarbą, nusprendė tęsti EU-LCI verčių nustatymą savo lėšomis ir resursais [27].

2014 metais buvo išleistas pirmasis dokumentas, pavadintas „Suderintos EU-VOC klasės: emisijos klasifikavimo sistema, lakių organinių junginių emisijoms iš statybos gaminių, patalpų aplinkoje“.

Šis dokumentas buvo išsiųstas Europos Sąjungos šalims-narėms, į kurį buvo įtraukta pagrindinė lakių organinių junginių deklaratavimo sistema. Pilnas ir išbaigtas EU-LCI verčių sąrašas buvo laikomas būtinu, norint sukurti lakių organinių junginių klases. Šis projektas atsižvelgė į jau esamas nacionalines šalių nuostatas statybos produktų emisijoms. 2015 metais EU-LCI grupė gavo Europos Komisijos įgaliojimą steigti tolesnę EU-LCI verčių sąrašą. Iki 2019 metų pabaigos EU-LCI vertės buvo nustatytos 152 junginiams ir dar 30 junginių šiuo metu yra testuojama [27, 28].

Šiuo metu galiojančios EU-LCI vertės šiame darbe analizuojamoms medžiagoms, iš statybinių produktų, pateikiamos 4 lentelėje.

**4 lentelė.** Šiame darbe analizuojamų junginių EU-LCI vertės

Junginys	EU-LCI vertė
3-Karenas	1,5 mg/m <sup>3</sup>
Formaldehidas	0,1 mg/m <sup>3</sup>
Acetaldehidas	1,2 mg/m <sup>3</sup>
Ksilenas	0,5 mg/m <sup>3</sup>
Benzilo alkoholis	0,44 mg/m <sup>3</sup>
Stirenas	0,25 mg/m <sup>3</sup>
Toluenas	2,9 mg/m <sup>3</sup>
α-pinenas	2,5 mg/m <sup>3</sup>

## 1.7. Lakiųjų organinių junginių emisijos vertinimo būdai

### 1.7.1. Išmetimo testavimo kameros

Išmetimo testavimo kameros yra dažnai naudojamos nustatyti išmetamoms dujoms statybinių ar kitų medžiagų. Šių kamerų tūris gali siekti nuo 0,003 iki 80 kubinių metrų ir dažniausiai yra dviejų tipų [29, 30]:

- mažos talpos, išmetimo testavimo kameros nesiekia 1 m<sup>3</sup> talpos;
- didelės talpos kameros, kurių talpa siekia 12 – 80 m<sup>3</sup>.

Išmetimo testavimo kameros eksperimentai susideda iš dviejų skirtingų procesų:

1 – tiriamą medžiagą paliekama išmetimo testavimo kameroje, kad išleistų oro teršalus į kameros vidų, kol jų koncentracija pasiekia balansą ir tada išmatuojama teršalų koncentracija kameroje. Reikia pabrėžti, kad testavimo kamera privalo būti visiškai sandari, kad tyrimo rezultatai būtų tinkami.

2 – beveik 100% švarus oras, pastoviu oro tekėjimo srautu įleidžiamas į kamerą ir tuo pat metu, reali teršalų koncentracija kameroje yra pamatuojama išmetimo angoje [31, 32].

Labai svarbu, kad medžiagos, iš kurių pagaminta kamera nereaguotų su ieškomomis analitėmis. Šios kameros dažniausiai gaminamos iš stiklo ar nerūdijančio plieno [30].

Šių kamerų naudojimas nėra labai patogus, nes testavimo bandinį reikia atgabenti į laboratoriją, kurioje yra šios kameros, kad galima būtų išmatuoti norimų junginių koncentraciją. Dažniausiai testuojama medžiaga turi būti sumažinta, supjaustant, kad būtų tinkamo dydžio naudojimui šioje kameroje. Taip pat šis metodas reikalauja labai daug laiko ir darbo. Tačiau su labai didelio tūrio kameromis (2 pav.), galima testuoti pilno dydžio gaminius, pvz. įstatant tam tikro dydžio medienos ar laminato plokštes [33].



**2 pav.** Išmetimo testavimo kamera [30]

Šio proceso metu, nuolatos yra stebimi medžiagų parametrai, tokie kaip:

- temperatūra;
- drėgnumas;
- oro kaitos intensyvumas;
- ventiliacijos intensyvumas;
- produkto padavimo faktorius.

Medžiagos, išsiskiriančios iš skirtingų statybinių ar namų apyvokos prekių yra traukiamos per sorbcinį vamzdelį, kuriame yra imobilizuotas sorbentas, pavyzdžiui Tenax TA poli(2,6-difenil-p-fenileno oksidas). Pasibaigus adsorbicijai, analitės gali būti desorbuotos dviem būdais [34]:

- termodesorbicija, jei analitės yra lakūs organiniai arba pusiau lakūs organiniai junginiai;
- tirpiklių ekstrakcija – analitės (aldehidai arba ketonai).

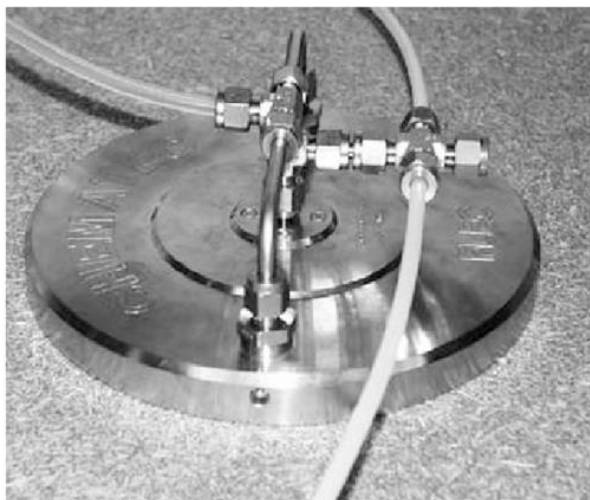
Desorbuotos analitės toliau analizuojamos dujų chromatografu, nustatoma lakių ir pusiau lakių organinių junginių koncentracija. Kartais naudojama skysčių chromatografija kartu su UV – regimosios šviesos detektoriumi (aldehidams ir ketonams) [35].

### **1.7.2. Lauko ir laboratorijos emisijos celės**

Pastaruju metu, analitiniai instrumentai – celės – susilaukia vis daugiau dėmesio dėl jų mobilumo ir patogumo nustatant teršėjų išmetimą nuo paviršių, padengtų dažais arba klizais. O taip yra todėl, kad

šios celės yra lengvai sumontuojamos ir jas lengva transportuoti. Kadangi jos nedidelės, nesudrumsčia įprastos veiklos pastato viduje.

Celės yra apvalios, 150 mm diametro skersmens, 18 mm aukščio, pagamintos iš nerūdijančio plieno (3 pav.). Medžiagos, iš kurios pagamintos šios celės, nereaguoja su analitėmis ir turi silikoningą – guminę traukę, kad būtų nepralaidi orui analizės metu.



**3 pav.** Lauko ir laboratorijos išmetimo celė [36]

Šių celių tūris yra  $3.5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$  ir gali išmatuoti  $0.0177 \text{ m}^2$  ploto.

Du nerūdijančio plieno vamzdeliai yra pritvirtinti prie, su paviršiumi besiliečiančios, plokštelės. Vienas vamzdelis yra perskirtas į du kanalus: į celę patenkančiam orui ir išeinančiomis dujomis. Sensoriai, kuriais stebimi proceso parametrai, palaiko tinkamą temperatūrą ir drėgnumą analizės metu. Oras patenka pro du vamzdelius, kurie yra labiausiai nutolę vienas nuo kito, ir išleidžiamas iš celės per vidurį. Šis vamzdelis taip pat sujungtas su sorbciniu vamzdeliu, kuriame yra sugaunamos analitės. Po tam tikro laiko vamzdelis su adsorbuota analite yra atjungiamas ir paruošiamas desorbcijai. Desorbcija vykdoma tokiais pačiais būdais kaip buvo naudojama išmetimo testavimo kamerų būdu [36, 37].

### **1.7.3. Pasyviojo srauto mėginių imtuvas**

Dar vienas metodas, cheminių junginių nustatymui patalpų viduje, yra pasyviojo srauto mėginių metodas. Ši technologija tampa vis populiarenes dėl savo praktiškumo. Šiam metodui nereikia jokių išorinių galios šaltinių, kurie įprastai naudojami kad būtų pernešamos dujos. Kitas privalumas yra, kad šis metodas nėra priklausomas nuo aplinkos sąlygų, tai yra, kad temperatūra ir drėgmė gali kisti proceso metu [38].

Pasyviojo srauto mėginių imtuvų pagrindinė sudedamoji dalis yra poliuretano kempinė (PUF), kuri adsorbuoja ore esančius teršalus. Šie mėginių imtuvai būna dviejų skirtingų formų:

- PUF diskiniai mėginių imtuvai;
- PUF cilindriniai mėginių imtuvai.

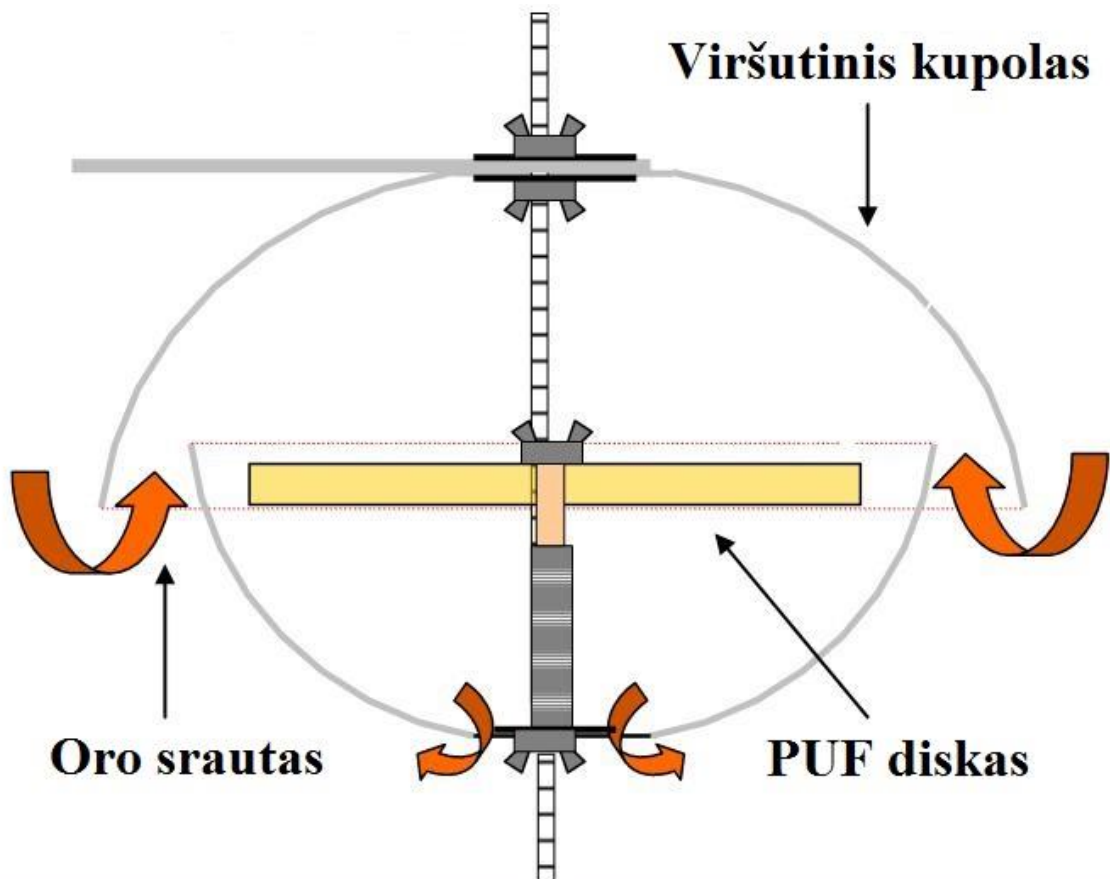
Diskinių mėginių imtuvo forma yra apvali, primenanti „skraidančią lėkštę“ (4 pav.) [39]. Imtuvo išorė sudaryta iš dviejų pusrutulio formos nerūdijančio plieno dubens formos kupolų. Po šiais kupolais

įmontuotas adsorbacinis diskas arba filtras padengtas adsorbicine medžiaga. Taršios medžiagos, esančios pastate, prikimba ant adsorbacinio disko molekulinės difuzijos dėka [40].



**4 pav.** Pasyviojo srauto mėginių imtuvas [39]

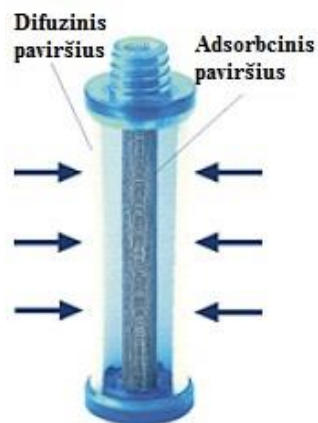
Šis dizainas labai išpopuliarėjo dėl to, kad jo kaina yra maža, lengva naudoti ir turi pakankamai didelę talpą, o mėginių paėmimo dažnis yra vidutiniškai nuo 3 iki 4 m<sup>2</sup> per dieną. Moksliniai eksperimentai parodė, kad šio mėginių paėmimo dažnis labai priklauso nuo vėjo greičio, kadangi tarp viršutinio ir apatinio kupolo yra 2-3 cm tarpas orui patekti ant poliuretano disko. Patalpų viduje naudojamo PUF mėginių paėmimo dažnis yra dažnai mažesnis negu lauke, dėl skirtingų oro srautų [41].



5 pav. PUF diskinio mėginių imtuvo schema [41]

Dėl ribotos poliuretano mėginių imtuvų talpos, PUF kempinė kartais padengiama su susmulkintais XAD-4 (divinilbenzeno-stireno kopolimero) milteliais. Šis metodas gerokai padidina talpą.

Antrasis mėginių imtuvo tipas yra cilindrinis, arba kitaip, radialinis mėginių imtuvas (6 pav.). Jo korpusas susideda iš difuzinės poringos polipropileno membranos ir adsorbento. Adsorbentas pasirenkamas pagal tiriamą objektą (šiuo atveju, norint tirti lakiuosius organinius junginius būtų pasirenkama PUF). Dėl aparato simetrijos adsorbentas pasiekiamas 360 laipsnių aplink ašį, todėl jo paėmimo dažnis yra žymiai didesnis nei diskinio imtuvo. Taip pat šio aparato membranos poros yra mikroskopinio dydžio, todėl vėjo (oro srautų) įtaka yra minimali arba jos iš vis nėra [42].



6 pav. Cilindrinis (radialinis) mėginių imtuvas [42]

Po tam tikro laiko, adsorbcijos diskas yra nuimamas nuo pasyviojo srauto imtuvo plokštelės ir desorbuojamas tirpiklio ekstrakcijos, su mikrobangų pagalba, metodu.

#### **1.7.4. Tiesioginė terminė desorbcija**

Vienas iš populiariausių metodų lakių organinių junginių stebėjimui ore yra mėginių surinkimas sorbento mėgintuvėliais ir ieškomų junginių ekstrahavimas naudojantis termine desorbcija.

Lakių organinių junginių išmetimo intensyvumas, tam tikroms medžiagoms gali būti vertinamas ir tiesioginės desorbcijos metodu. Šis metodas tinkamas sausoms, homogeninėms medžiagoms:

- pakuotėms;
- dervoms;
- polimerams;
- vandens pagrindo dažams.

Susmulkinta medžiaga patalpinama į tuščią desorbcijos vamzdelį, kuris yra pakaitinamas iki 40 laipsnių temperatūros, kur pačios lakiausios medžiagos yra išleidžiamos. Nešančios dujos perkelia išleistus teršalus ant mikro gaudyklės, ant kurios analitės yra adsorbuojamos. Po kurio laiko gaudyklė yra smarkiai ir greitai pakaitinama (antrinė desorbcija). Šios analitės toliau yra transportuojamos inertinių dujų į dujų chromatografą. Su šiuo metodu galima greitai nustatyti kuri medžiaga išskiria daugiausiai lakiųjų medžiagų.

Šis metodas yra labai greitas, paprastas ir nenaudojantis jokių organinių tirpiklių, tačiau bandinys turi būti atgabentas į laboratoriją, kad būtų galima ištestuoti. Taip pat šis metodas yra ribojamas tuo, kad mėginys yra sunaudojamas desorbcijos metu ir jo nebegalima dar kartą panaudoti [43].

#### **1.8. Lakių organinių junginių išmetimo modeliavimas**

Pagrįsto dizaino skaitmeninio modeliavimo naudojimas atliekant tyrimus yra dar vienas būdas siekiant užtikrinti ir pagerinti patalpų oro kokybę. Nors skysčių dinamikos modeliai iš pradžių nebuvo kurti šiam tikslui, šiuo metu yra plačiai taikomi patalpų oro kokybės problemoms spręsti ir yra sukurta integruota projektavimo priemonė. Iš tiesų, šie modeliai sugeba vienu metu imituoti realius parametrus, lemiančius patalpų sąlygas, kartu atsižvelgiant į aplinkos poveikį ir statybos procesų ypatybes [44].

Skaitmeninio modeliavimo naudojimas yra labai patogi priemonė, patalpų oro kokybės tyrimams. Modeliuojant galima lengvai keisti procesų parametrus. Šiuo metu yra gerai žinomi du skaitmeniniai modeliai naudojami patalpų oro kokybei vertinti:

- dėžės-tipo modeliai naudojantys masės balanso metodiką;
- skysčių dinamikos modeliai.

Siekiant pasirinkti kokio tipo modelį naudoti, reikia žinoti kokiu tikslu bus panaudojami gauti duomenys. Vienas iš pavyzdžių yra pastatų statybos planavimas.

Pirmojo tipo modeliai – dėžės modeliai – yra suskirstyti į vienos zonos (tai atskira patalpos aplinka, neatsižvelgiant į šalutinius poveikius ir vertinama viskas kas tik toje patalpoje), ir kelių zonų (kai atsižvelgiama į bendrą skirtingų patalpų, sujungtų tarpusavyje tame pačiame pastate, kontekstą) modelius. Šie modeliai, pradėdant nuo hipotezės iki galutinio teršalų susimaišymo uždaroje patalpoje,

naudojantis masės balanso lygtimis, apibūdina vienalytę koncentraciją, kuri yra pasiekama, atsižvelgiant į patalpoje vyraujančius faktorius, kurie gali turėti įtakos koncentracijai. Patalpoje vyraujantys faktoriai gali būti:

- patalpos tūris;
- ventiliacijos intensyvumas;
- teršalų šaltiniai;
- fiziko-cheminiai reiškiniai, galintys paveikti teršalą.

Šie modeliai leidžia paskaičiuoti medžiagos koncentraciją kintant laikui, atsižvelgiant į faktorius lemiančius pačios koncentracijos pokytį:

- teršiančios medžiagos kiekis, patenkantis į aplinką ir išeinantis iš aplinkos dėl ventiliacijos įtakos;
- medžiagos kiekis, išsiskiriantis iš patalpose esančių šaltinių;
- medžiagos kiekis, pašalinamas filtracijos procesu;
- medžiagos kiekis, siejamas su procesais, kurie veikia aerosolius, tokie kaip nusėdimas, pakartotinis maišymas, adsorbicija ir agregacija.

Dėžes modeliai yra plačiai naudojami patalpų oro kokybės tyrimuose. Jų metodologija taip pat yra naudojama eksperimentiniuose tyrimuose, tokiuose kaip išmetimo testavimo kamerų tyrimuose norint nustatyti įvairių taršių medžiagų emisijas.

Vienas iš dėžes tipo modelio pavyzdžių yra 2020 metų Italijos mokslininkų atliktas tyrimas [44] siekiant vertinti lakių organinių junginių koncentracijas dviejų skirtingų dydžių ofiso patalpose. Vienos patalpos tūris 44,32 m<sup>3</sup>, kitos 281,88 m<sup>3</sup>. Modeliavimas buvo vykdomas pagal masės balanso lygtį, kurios dėka nustatomas lakių organinių junginių koncentracijos pokytis laike tam tikro dydžio patalpoje.

$$C_{ind}^{(i+1)} - C_{ind}^{(i)} = \left[ AER \times (C_{vent}^{(i)} - C_{ind}^{(i)}) + \frac{S}{V} \right] \times \Delta t \quad (1.8.1)$$

Čia  $C_{ind}$  (μg/m<sup>3</sup>) – lakių organinių junginių koncentracija patalpos ore,  $C_{vent}$  (μg/m<sup>3</sup>) – iš lauko oro patenkančių lakių organinių junginių koncentracija,  $S$  (μg/h) – patalpoje esančių taršos šaltinių emisijos intensyvumas,  $V$  – patalpos tūris,  $AER$  (h<sup>-1</sup>) – oro maišymosi intensyvumas,  $\Delta t$  – temperatūros pokytis.

Visose scenarijuose buvo atsižvelgiama į lakių organinių medžiagų emisiją iš dažais padengtų sienų. Buvo įvertintas tik šis šaltinis, kadangi buvo nuspręsta, kad patalpoje nėra jokių baldų, o grindų, lubų ir langų medžiagos yra netaršios.

Atsižvelgiant į tiek iš dažų išsiskiriančius lakius organinius junginius, tiek iš lauko į patalpą patenkančius teršalus, simuliacijų rezultatai buvo palyginti su eksperimentiniais duomenimis ir palyginti tarpusavyje:



**5 lentelė.** Lakių organinių junginių koncentracijos, nustatytos modeliavimo būdu ir eksperimentiškai, palyginimas.

			Dėžės modelis	Eksperimentiniai duomenys
	Tūris	Emisijos plotas	LOJ koncentracija	LOJ koncentracija
Pavadinimas	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
Susirinkimų kambarys	280	65,72	20,4	32,7
Mažas kambarys	46	32,21	21,2	31,8

Simuliacijose koncentracija gauta šiek tiek mažesnė negu eksperimentinių duomenų. Tačiau taip galėjo nutikti būtent dėl to, kad modeliuojant buvo nuspręsta priimti tik emisijas iš dažų.

Antrojo tipo modeliai tai skaičiavimo skysčių dinamikos modeliai. Tarp labiausiai naudojamų, patalpų oro kokybės tyrimams yra ANSYS Fluent, COMIS ir CONTAM, nors pastarasis turi labai paprastą skysčių dinamikos modulį. Šio tipo modeliai leidžia tirti dviejų ir trijų dimensijų erdvinį pasiskirstymą, atsižvelgiant į kintančius parametrus, tokius kaip ventiliacija, temperatūra, masė, energija ir pasklidusios medžiagos koncentracijos [45].

2019 metais Indijos studentai tyrė lakių organinių medžiagų išsiskyrimą iš kopijavimo aparatų [46]. Šiam darbui atlikti jie pasitelkė skaičiavimo skysčių dinamikos modeliavimo įrankį ANSYS Fluent. Modeliavimui buvo pasirinktas kambario dydis buvo 3,66 m ilgio, 3,55 metrų pločio ir 3 metrų aukščio. Apskaičiavus ventiliacijos kambaryje greitį buvo nustatyta ANSYS Fluent programos geometrija. Kitas žingsnis buvo skaičiavimų skysčių simuliacija, kuri susideda iš:

- medžiagos savybių ir ribinių sąlygų nustatymas turbulentinei priverstinei konvekcijai. Benzenas buvo pasirinktas kaip pradinė medžiaga iš programoje esančių medžiagų sąrašo. Buvo nustatyta, kad nėra pradinės koncentracijos kitimo, tačiau jis yra nustatomas programoje pagal masės srauto lygtį;
- naudojantis masės ir energijos balanso lygtimis apskaičiuojami rezultatai;
- tiriant srautų ir temperatūrų laukus ANSYS Fluent programinėje įrangoje, apibūdinami oro srautai, ir kelių parametų įtaka jiems, tokių kaip temperatūra ir kopijavimo popieriaus tipas.

Modeliavimo rezultatai gana tiksliai parodė, kad esant aukštesnei oro temperatūrai, bei didesnei kopijavimo spartai, didėja teršalų koncentracija patalpos ore. Taip pat šis modeliavimas parodo teršalų pasiskirstymą tiriamajame kambaryje.

## 1.9. Literatūrinės dalies apibendrinimas

Dauguma žmonių, didžiąją laiko dalį savo gyvenimo, praleidžia pastatuose, ar tai būtų namai, ar biuras, ar kitos patalpos. Todėl labai svarbu, kad patalpų oro kokybė būtų neprikaištinga ir švari nuo taršių medžiagų, tokių kaip lakūs organiniai junginiai, kurie gali sukelti rimtų sveikatos problemų. Ši problema yra labai aktuali, kai kalbama apie naujos statybos įvairios paskirties pastatus, kuriuose žmonės praleis nemažai laiko. Ką tik pastatytame pastate, lakių organinių junginių koncentracija būna didžiausia, kadangi įvairūs dažai, grindų danga, medienos plokštės, įvairūs sandarikliai, pamažu išleidžia į aplinkos orą taršias medžiagas. Įvairios organizacijos telkiasi ir kuria metodus, kurie turėtų padėti sumažinti taršių medžiagų koncentracijas statybinėse medžiagose. Vienas iš šių projektų yra EU-LCI koncepcija. Šia koncepcija siekiama apriboti leidžiamas organinių junginių koncentracijas statybiniuose produktuose, siekiant pagerinti patalpų oro kokybę. Norint patikrinti, ar EU-LCI

koncentracijų vertės yra pakankamos, kad būtų užtikrinta gera patalpų oro kokybė, galima eksperimentiškai ištirti patalpose esančią teršalų koncentraciją išmetimo testavimo kamerų tyrimu, emisijų celių tyrimu arba pasyvių srauto imtuvų tyrimais. Be eksperimentinių tyrimų, kurie įprastai reikalauja daug laiko ir lėšų, galima pasitelkti į pagalbą kompiuterinę įrangą ir modeliavimo būdų atkartoti scenarijus, kurie atitiktų realybę. Populiariausi metodai oro kokybei įvertinti yra dėžės tipo modeliai ir skysčių dinamikos modeliai.

## 2. Tyrimų metodika

Kaip jau buvo minėta, patalpų oro kokybę galima tirti tiesiogiai naudojant išmetimo testavimo kameras, lauko ir laboratorijų išmetimo celes, pasyviojo srauto mėginių imtuvus ir kitus prietaisus. Tačiau šiais būdais išmatuoti reikia nemažai pinigų ir laiko, per kurį surenkami duomenys. Tuo tikslu pasitelkiama programinė įranga. Šiame darbe patalpų oro kokybės tyrimas buvo atliktas naudojantis MATLAB paprograme Simulink.

"Simulink" yra MATLAB pagrįsta grafinė programavimo aplinka, skirta multidomeninių dinaminių sistemų modeliavimui, imitavimui ir analizei. Jo pagrindinė sąsaja yra grafinio bloko diagramų kūrimo įrankis ir tinkinamas blokų bibliotekų rinkinys. "Simulink" plačiai naudojamas automatiniam valdymui ir modelių pagrįstam dizainui [47].

### 2.1. „Simulink“ modelis

Simulink duomenų analizė buvo paremta patalpų oro kokybės masės balanso modeliu. Tokie modeliai yra plačiai taikomi apibūdinti teršalų susidarymą patalpoje dėl taršos šaltinių. Taip pat šie modeliai gali būti naudojami tiriant koncentracijos pokytį, kai teršalai pašalinami dėl vėdinimo, nusodinimo ir kitų pašalinimo procesų.

Bendroji modelio lygtis pateikiama taip [48]:

$$\frac{d}{dt} N_p = \lambda \times P_i \times N_0 - (\lambda + \lambda_d) \times N_p + S; \quad (2.1.1)$$

Kur  $N_p$  - teršalų koncentracija kambaryje ( $\text{mg}/\text{m}^3$  - lakiems organiniams junginiams),  $t$  - laikas (s),  $N_0$  yra teršalų koncentracija patenkanti iš lauko oro ( $\text{mg}/\text{m}^3$  - lakiems organiniams junginiams),  $P_i$  - ventiliuojamo oro padavimo srautas ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $\lambda$  - oro apytakos intensyvumas ( $\text{s}^{-1}$ ),  $\lambda_d$  - dalelių nusėdimo intensyvumas ( $\text{s}^{-1}$ ),  $S$  - teršalų susidarymo greitis ( $\text{mg}/\text{m}^3 \cdot \text{s}$  - lakiems organiniams junginiams).

Kadangi lakiųjų organinių junginių teršalų patenkančių iš lauko koncentracija yra minimali, taip pat dalelių nusėdimo intensyvumas yra neaktualus šiame procese, todėl galima nepaisyti jų įtakos bendrai koncentracijai, todėl galime formulę supaprastinti:

$$\frac{d}{dt} N_p = -\lambda \times N_p + S; \quad (2.1.2)$$

Lakiųjų organinių junginių koncentracija patalpose priklauso nuo ploto, kuris padengtas statybinėmis medžiagomis, todėl teršalų koncentraciją patalpoje nuo paviršiaus turime perskaičiuoti pagal žemiau pateiktą formulę [49]:

$$C = \frac{PEG \times L}{\lambda}; \quad (2.1.3)$$

Kur  $C$  - lakiųjų organinių junginių koncentracija patalpoje ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ),  $\lambda$  - oro apytakos intensyvumas ( $\text{s}^{-1}$ ),  $L$  - apkrovimo faktorius ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ ), t.y. santykis ploto, padengto tam tikra statybine medžiaga, turinčia lakiųjų organinių junginių, su patalpos tūriu,  $PEG$  - ploto emisijos greitis arba emisijos faktorius ( $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ).

Ploto emisijos greitis apskaičiuojamas iš medžiagos emisijos greičio ir emisijos ploto pagal 2.1.4 formulę:

$$PEG = \frac{EG}{S_{pav}} \quad (2.1.4)$$

Čia EG – emisijos greitis (mg/h) ir  $S_{pav}$  – paviršiaus plotas ( $m^2$ ).

Emisijos greitis apskaičiuojamas naudojant EU-LCI koncentraciją, įvertinant patalpos tūrį ir oro maišymosi greitį.

$$EG = C_{EU-LCI} \times V \times \lambda \quad (2.1.5)$$

Čia  $C_{EU-LCI}$  – junginio koncentracija ( $mg/m^3$ ),  $V$  – patalpos tūris ( $m^3$ ),  $\lambda$  – oro apytakos intensyvumas ( $h^{-1}$ ).

Pakeitę teršalų susidarymo greitį į ploto emisinį teršalų susidarymo greitį gauname tokią formulę:

$$\frac{d}{dt} N_p = -\lambda \times N_p + C = -\lambda \times N_p + \frac{PEG \times L}{\lambda}; \quad (2.1.6)$$

Laikui bėgant, iš statybinių medžiagų išsiskiriančių lakiųjų organinių medžiagų emisijos intensyvumas mažėja, todėl kuriant šį modelį reikia į tai atsižvelgti. Koncentracijos mažėjimo faktorius kiekvienam lakiajam junginiui yra skirtingas, bet principas visoms medžiagoms taikomas vienodas [50]:

$$c(t) = C \times e^{-\tau \times t}; \quad (2.1.7)$$

Kur  $c(t)$  – koncentracijos mažėjimas laike ( $mg/m^3 \cdot s$ ),  $\tau$  – natūralus lakiojo organinio junginio koncentracijos mažėjimo koeficientas ( $h^{-1}$ ).

Įvertinus koncentracijos mažėjimą gauname galutinę modelio formulę, pagal kurią darysime skaičiavimus:

$$\frac{d}{dt} N_p = -\lambda \times N_p + C \times e^{-\tau \times t}; \quad (2.1.8)$$

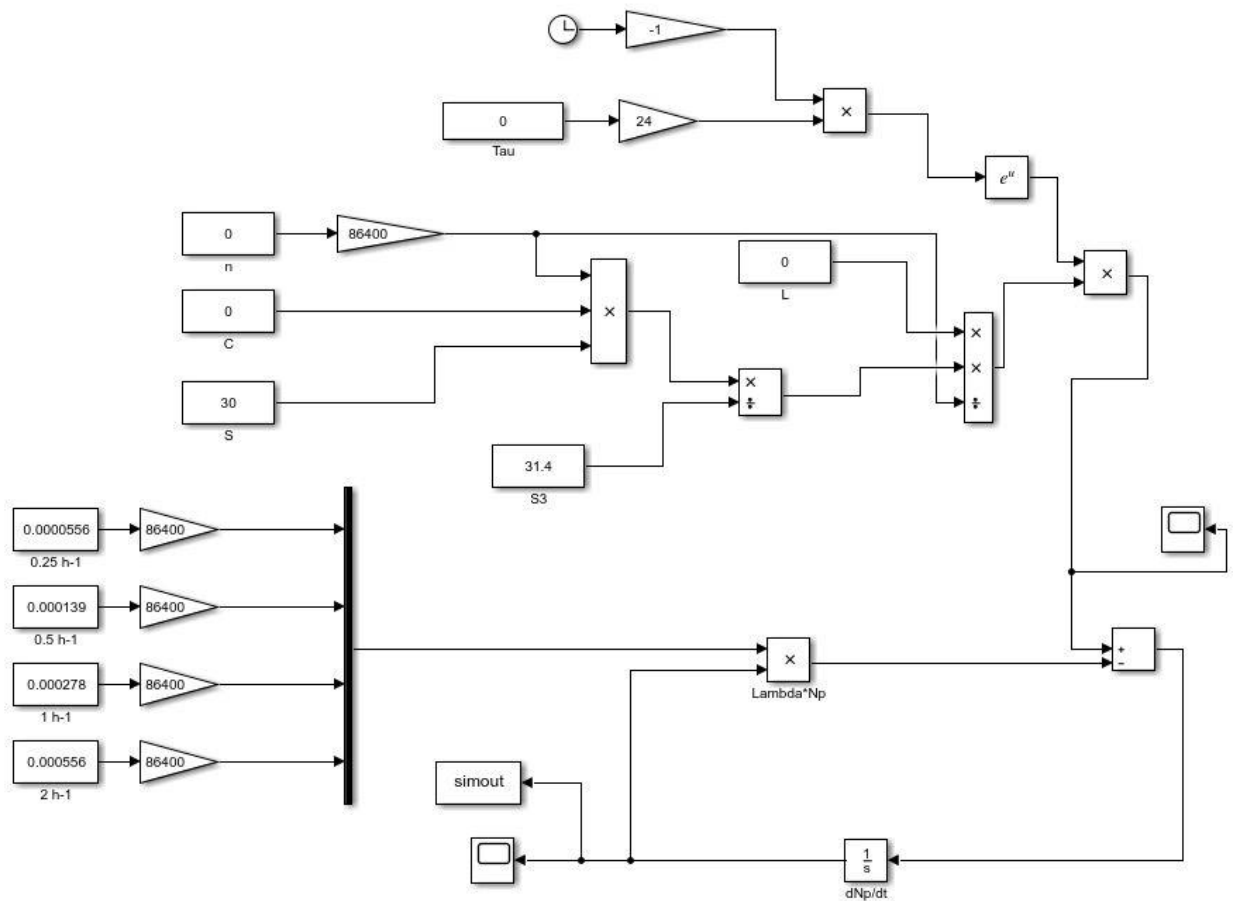
Taipogi, kad programa duotų tinkamą rezultatą, modelio parametrus reikia optimizuoti, kad galutiniuose grafikuose būtų rodomi teisingi ir suprantami duomenys. Lygties duomenys pateikiami žemiau:

- oro apytakos intensyvumas  $\lambda$  ( $s^{-1}$ );
- lakiųjų organinių junginių koncentracija patalpoje  $N_p$  ( $mg/m^3$ );
- statybinės medžiagos teršalų koncentracija patalpoje  $C$  ( $mg/m^3$ );
- apkrovimo faktorius  $L$  ( $m^2/m^3$ );
- natūralus lakiojo organinio junginio koncentracijos mažėjimo koeficientas  $\tau$  ( $h^{-1}$ ).

Kadangi koncentracijos pokytis laike ventiliuojant skirtingo stiprumo srautais yra lėtas procesas, simuliacijas vykdysime 90 dienų laikotarpiui, todėl proceso įvestis reikia suvienodinti, siekiant gauti norimą rezultatą. Baigtinė proceso formulė atrodo štai taip:

$$\frac{d}{dt} N_p = -86400 \times \lambda \times N_p + \frac{PEG \times L}{86400 \times \lambda} \times e^{-24 \times \tau \times t}; \quad (2.1.9)$$

Viską suprojektavę „Simulink“ aplinkoje gauname štai tokį modelį:



7 pav. Lakiųjų organinių junginių koncentracijos kitimo laike modelis „Simulink“ aplinkoje

## 2.2. Lokieji organiniai junginiai

Šiame darbe, naudojantis „Simulink“ programoje sukurtu modeliu bus tiriami įvairūs scenarijai su skirtingais lakiais organiniais junginiais naudojamais statybinėse medžiagose įrenginėjant pastatų vidų. Lakūs organiniai junginiai, ilgainiai gali sukelti rimtų sveikatos problemų, todėl labai svarbu įvertinti pastatų vidaus oro kokybę prieš pradėdant patalpas naudoti žmonėms.

Šiame darbe nagrinėjami lakūs organiniai junginiai pateikiami 6 lentelėje.

6 lentelė. Lakūs organiniai junginiai ir jų šaltiniai

Organinio junginio pavadinimas	Statybinė medžiaga
3-karenas	Sienų, grindų danga
Formaldehidas	Statybinių medžiagų derva
Acetaldehidas	Grindų dangos medžiaga
Ksilenas	Grindų derva
Fenolis	Fenolinės dervos
Stirenas	Sienų izoliacinė danga, rišiklis
Toluenas	Tirpiklis dažuose
$\alpha$ -pinenas	Medienos plokščių rišiklis

## 2.3. Proceso parametrai

Kaip minėta 2.1. poskyryje, modelis „Simulink“ aplinkoje yra vykdomas pagal 2.1.9 formulę. Tam kad galima būtų tiksliai apskaičiuoti kiekvienos skirtingos medžiagos koncentracijos kitimą patalpoje laike, reikia užsiduoti parametrus, kurie kiekvienu atveju būtų pastovūs, siekiant gauti tikslus rezultatus.

### 2.3.1. Apkrovimo faktorius L

Lakiųjų organinių junginių koncentracijos pokytis laike bus apskaičiuojamas dviem skirtingais scenarijais, tai yra, simuliacijos bus vykdomos dviejose skirtingo dydžio patalpose. Pirmoji patalpa – standartinis namo ar buto kambarys, o antruoju atveju – mokyklos klasė.

Nuo patalpų dydžio ir jose esančių langų, durų skaičiaus priklauso modeliavimo procese vyraujantis dydis L – apkrovimo faktorius.

Standartinio namo ar buto kambario dydį naudosime tokį kaip pateikta standarte [51]. Kambario dydžio parametrai:

- sienų aukštis 2,5 metro;
- grindų ir lubų ilgis ir plotis yra 4 metrai ir 3 metrai, atitinkamai, 12 m<sup>2</sup> kiekvienam iš įvardintų paviršių;
- kambaryje yra vienos durys, kurių išmatavimai yra 0,8 metrai pločio ir 2 metrai aukščio (1,6 m<sup>2</sup>);
- vienas langas, kurio plotas sudaro 2 m<sup>2</sup>;
- sandarikliai ir kiti maži paviršiai sudaro iki 0,2 m<sup>2</sup>.

Visų sienų bendras plotas, neskaitant durų ir lango sudaro 31,4 m<sup>2</sup>, o patalpos tūris yra 30 m<sup>3</sup>.

Vadovaujantis šio kambario dydžiu ir dimensijomis apibrėžiamas apkrovimo faktorius L:

- 1 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> – sienoms;
- 0,4 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> – grindims, luboms;
- 0,05 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> – mažo ploto paviršiams (durims, langui, šildymo sistemoms);
- 0,007 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> labai mažo ploto paviršiams (sandarikliams).

Antrojo scenarijaus modeliavimui naudosimės standartinės mokyklos klasės maketą. Pagal Lietuvos higienos normos HN 21:2017 „Mokykla, vykdanči bendrojo ugdymo programas. Bendrieji sveikatos saugos reikalavimai“, 5 skyrių „Patalpų įrengimo reikalavimai“ [52] teigiama, kad vienam mokiniui klasėje turi būti skirta ne mažiau kaip 1,7 m<sup>2</sup> patalpos ploto. Kadangi įprastai vienam vaikui tenka daugiau nei 1,7 m<sup>2</sup>, todėl galime priimkime, kad skirsime 2,5 m<sup>2</sup> vienam vaikui 24 vaikų klasėje. Šiuo atveju reikiamas patalpos grindų ir lubų plotas būtų po 60 m<sup>2</sup> (10 m ilgis, 6 m plotis). Klasės aukštį priimkime 2,5 m, taigi patalpos tūris būtų 150 m<sup>3</sup>. Įprasta mokyklos klasėse būna vienos durys ir langai visu sienos ilgiu. Durų plotas sudarytų 2,4 m<sup>2</sup> (1,2 m × 2 m), o langai 10 m<sup>2</sup> (1 m × 10 m). Patalpos parametrai:

- sienų aukštis 2,5 metro;
- grindų ir lubų ilgis ir plotis 10 metrų ir 6 metrai, atitinkamai, 60 m<sup>2</sup> kiekvienam iš išvardintų paviršių;

- kambaryje vienos durys, kurių išmatavimai yra 1,2 metrai pločio ir 2 metrai aukščio ( $2,4 \text{ m}^2$ );
- langai per visą vienos klasės sienos ilgį, kurių plotas  $10 \text{ m}^2$ ;
- sandarikliai ir kiti maži paviršiai sudaro iki  $1 \text{ m}^2$ .

Sienų bendras plotas, neskaitant durų ir langų sudaro  $67,6 \text{ m}^2$ , o tūris  $150 \text{ m}^3$ . Remiantis šiais mokyklos klasės dydžiais ir dimensijomis galime taip pat paskaičiuoti apkrovimo faktorių L:

- $0,45 \text{ m}^2/\text{m}^3$  - sienoms;
- $0,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$  - grindims ir luboms;
- $0,05 \text{ m}^2/\text{m}^3$  - mažo ploto paviršiams (durims, langams);
- $0,007 \text{ m}^2/\text{m}^3$  – labai mažo ploto paviršiams (sandarikliams)

### 2.3.2. Oro apytakos (ventiliacijos) intensyvumas $\lambda$

Patalpos ventiliacija  $\lambda$  įprastai skaičiuojama oro srauto pasikeitimų kartais per laiko vienetą. Pagal 2.1.1 formulę ventiliacijos intensyvumas išreikštas kartais per sekundę ( $\text{s}^{-1}$ ). Kadangi simuliacijų trukmė apibrėžta 90 dienų laikotarpiui, todėl šis dydis patogiau išreiškiamas kartais per valandą ( $\text{h}^{-1}$ ). Pagal Lietuvos standartą „Statybiniai gaminiai. Pavojingų medžiagų išsiskyrimo vertinimas. Medžiagų, išsiskiriančių į patalpų orą nustatymas“, patalpos ventiliacija neturėtų būti mažesnė nei 0,25 karto per valandą ir ne didesnė nei 2 kartai per valandą [51].

Modelyje (7 pav.) matome 4 skirtingas oro apytakos intensyvumo  $\lambda$  įvestis. Taip yra todėl, nes simuliacijas vykdysime esant skirtingiems ventiliacijos intensyvumams, kad geriau galima būtų įvertinti kokios ventiliacijos pakanka norit pasiekti reikiamą rezultatą. Oro srauto kitimą matuosime  $0,25 \text{ h}^{-1}$ ,  $0,5 \text{ h}^{-1}$ ,  $1 \text{ h}^{-1}$  ir  $2 \text{ h}^{-1}$ .

### 2.3.3. Statybinės medžiagos išskiriamų teršalų koncentracija c

Iš statybinių medžiagų išsiskiriančių teršalų koncentracijos nustatomos pagal mokslininkų darytų tyrimų apie statybines medžiagas duomenis. Modeliavimui buvo naudojami 4 lentelėje pateikiamos šios koncentracijos reikšmės.

### 2.3.4. Natūralus lakiojo organinio junginio koncentracijos mažėjimo koeficientas $\tau$

Koeficientas  $\tau$  nusako lakiojo organinio junginio koncentracijos mažėjimą per laiką. Kadangi iš statybinių medžiagų nuolatos išsiskiria tam tikras teršalų kiekis, natūralu, kad pamažu teršalų koncentracija pačiose statybinėse medžiagose mažėja, todėl labai svarbu atsižvelgti į šį parametą.

Šis koeficientas yra skirtingas visiems lakiems organiniams junginiams ir jų vertės yra pateikiamos 7 lentelėje [53, 54, 55, 56].

7 lentelė. Organinių junginių mažėjimo koeficientai

Organinio junginio pavadinimas	Natūralus lakiojo organinio junginio koncentracijos mažėjimo koeficientas $\tau$ , $\text{h}^{-1}$
3-karenas	0,002
Formaldehidas	0,0017
Acetaldehidas	0,0033

<b>Organinio junginio pavadinimas</b>	<b>Natūralus lakiojo organinio junginio koncentracijos mažėjimo koeficientas <math>\tau</math>, h<sup>-1</sup></b>
Ksilenas	0,0061
Benzilo alkoholis	0,018
Stirenas	0,0079
Toluenas	0,02
$\alpha$ -pinenas	0,0023

Svarbu paminėti, kad šiame modelyje nėra atsižvelgiama į patalpos temperatūros ir drėgmės pokyčius. Taip pat priimama, kad nevyksta jokios teršalų cheminės reakcijos.



### 3. Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas

Pagal pasirinktą modelį, MATLAB paprogramėje „Simulink“ buvo atliktos simuliacijos, siekiant patikrinti pasirinktų lakių organinių junginių EU-LCI vertes esant skirtingiems apkrovimo faktoriams, skirtingiems ventiliacijos intensyvumams ir esant standartinėms patalpos aplinkos sąlygoms, t.y. pastoviai temperatūrai ir drėgmei. Pasirinktos medžiagos pateiktos 5-oje lentelėje. Taip pat buvo atliktas tyrimas, apimantis kiek įmanoma daugiau junginių iš EU-LCI verčių lentelės, siekiant nustatyti bendrą lakių organinių junginių koncentracijos pokytį laike. Kaip jau buvo minėta, tyrimas buvo vykdomas dviem skirtingo dydžio patalpoms – standartiniam kambariui ir mokyklos klasei.

Buvo priimta, kad abiejose patalpose yra kintantis apkrovimo faktorius  $L$  priklausantis nuo ploto, padengto statybine medžiaga. Abiem patalpoms nuspręsta taikyti tokius pačius scenarijus. Standartinio kambario apkrovimo faktoriai yra:

- $L = 1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , kai kambaryje visos sienos ir arba lubos arba grindys padengtos statybine medžiaga, išmetančia lakų organinį junginį;
- $L = 1 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , kai kambaryje padengtos tik sienos;
- $L = 0,9 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , kai kambaryje padengta 50% sienų ir grindys arba lubos;
- $L = 0,8 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , kai kambaryje padengta grindys ir lubos;
- $L = 0,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , kai kambaryje padengta 50% sienų;
- $L = 0,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , kai kambaryje padengta arba grindys arba lubos.

Lygiai taip pat išreiškiami apkrovimo faktoriai mokyklinės klasės patalpai:

- $L = 0,85 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , kai kambaryje visos sienos ir arba lubos arba grindys padengtos statybine medžiaga, išmetančia lakų organinį junginį;
- $L = 0,8 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , kai kambaryje padengta grindys ir lubos;
- $L = 0,625 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , kai kambaryje padengta 50% sienų ir grindys arba lubos;
- $L = 0,45 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , kai kambaryje padengtos tik sienos;
- $L = 0,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , kai kambaryje padengtos tik grindys arba lubos;
- $L = 0,225 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , kai kambaryje padengta 50% sienų.

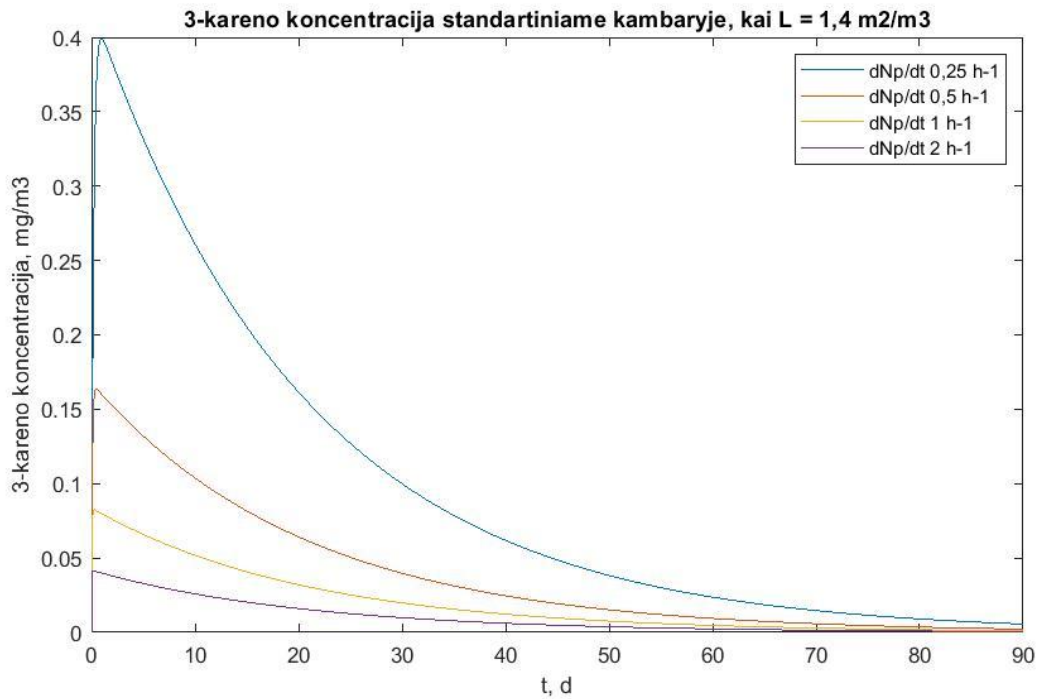
Toliau, aprašytiems scenarijams buvo vykdomas modeliavimas.

#### 3.1. 3-karenas

Pagal EU-LCI verčių sąrašą, 3-kareno koncentracija statybiniuose produktuose neturėtų viršyti  $1,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Kadangi 3-kareno ribinė vertė iš literatūrinių šaltinių ir nacionalinių reglamentų yra skirtinga, todėl šioms simuliacijoms priėmėme, kad ribinė vertė šiai medžiaga yra lygi  $0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$ .

##### 3.1.1. 3-kareno koncentracijos modeliavimas standartiniame kambaryje

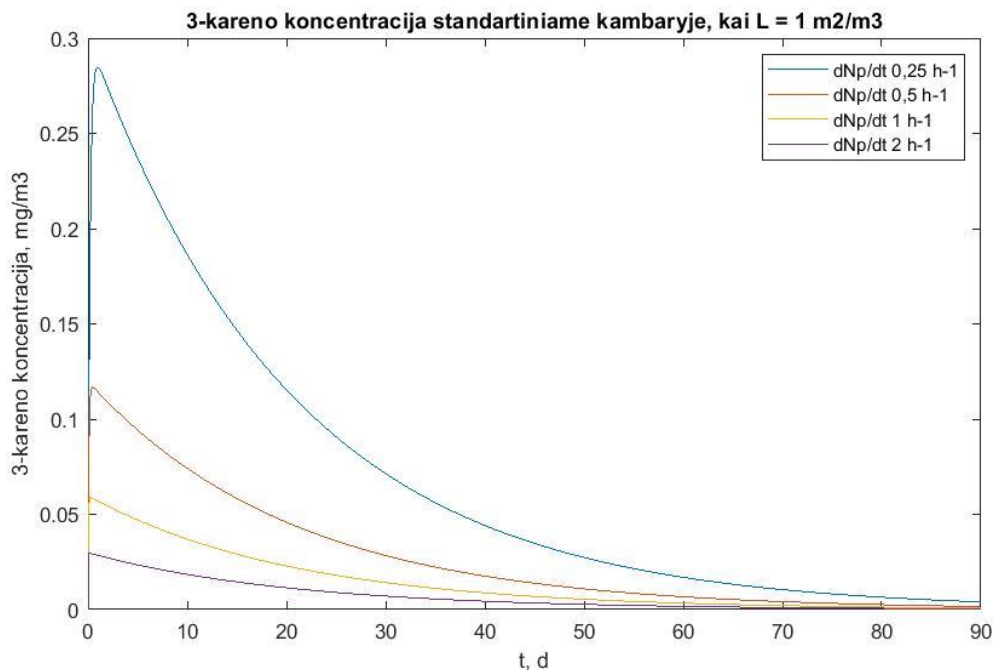
Esant apkrovimo faktoriui  $1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , 3-kareno koncentracija pasiekė  $0,40 \text{ mg}/\text{m}^3$  prie mažiausio oro apytakos intensyvumo  $0,25 \text{ h}^{-1}$ . Ši koncentracija buvo pasiekta praėjus 23 valandoms ir 30 minučių. Esant  $0,5 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumui, maksimali koncentracija  $0,16 \text{ mg}/\text{m}^3$  buvo pasiekta po 11 valandų. Prie  $1 \text{ h}^{-1}$  ir  $2 \text{ h}^{-1}$  oro apytakos intensyvumų, buvo pasiekta  $0,08 \text{ mg}/\text{m}^3$  ir  $0,04 \text{ mg}/\text{m}^3$  koncentracija, atitinkamai. Koncentracijos pokytis pateiktas 8 paveiksle.



**8 pav.** 3-kareno koncentracija standartiniame kambaryje, kai  $L = 1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Kaip matome, esant  $0,5 \text{ h}^{-1}$ ,  $1 \text{ h}^{-1}$  ir  $2 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumui, 3-kareno koncentracija neviršijo ribinės vertės, tačiau prie  $0,25 \text{ h}^{-1}$  oro apytakos intensyvumo, ji buvo viršyta. Prie silpniausio ventiliacijos intensyvumo, koncentracija nukrenta iki ribinės vertės tik po 15 dienų ir 14 valandų.

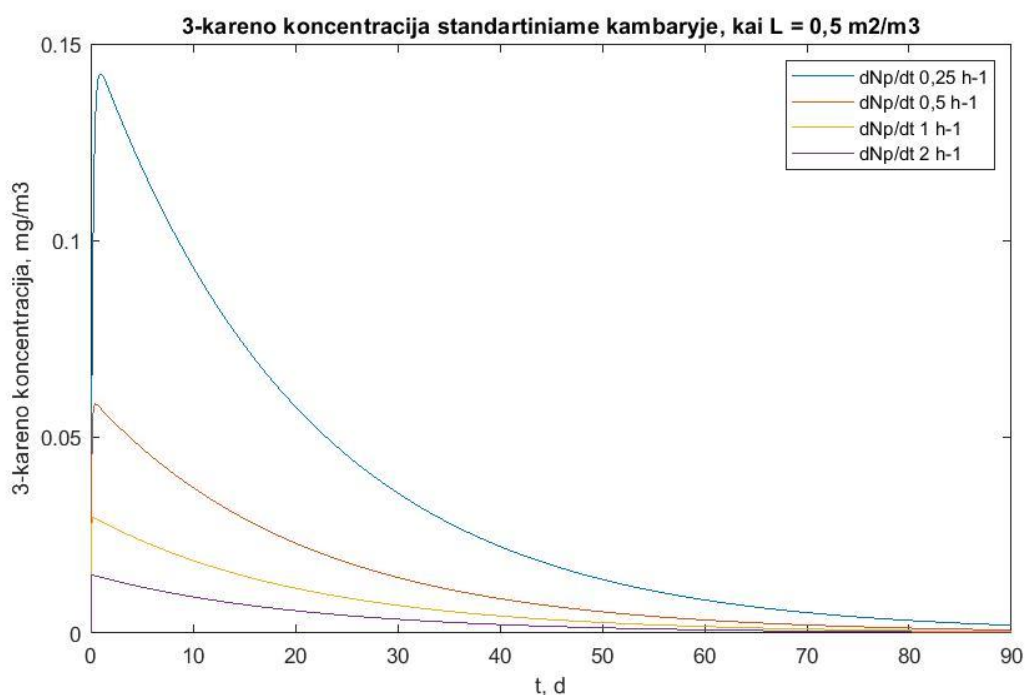
Kai standartinio kambario visos sienos padengtos statybinėmis medžiagomis, išskiriančioms 3-kareną, esant  $0,25 \text{ h}^{-1}$  oro apytakos intensyvumui, pasiekama maksimali koncentracija siekė  $0,29 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Prie  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , maksimali koncentracija siekė  $0,11 \text{ mg}/\text{m}^3$ , o prie  $1 \text{ h}^{-1}$  ir  $2 \text{ h}^{-1}$ , koncentracija buvo  $0,06 \text{ mg}/\text{m}^3$  ir  $0,03 \text{ mg}/\text{m}^3$ , atitinkamai (9 pav.).



**9 pav.** 3-kareno koncentracija standartiniame kambaryje, kai  $L = 1 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Kaip matome, modeliuojant šį scenarijų ribinė vertė buvo viršyta prie  $0,25 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumo ir koncentracijos vertė nukrito iki ribinės po 8 dienų 13 valandų ir 30 minučių.

3-kareno koncentracija standartiniame kambariui dar buvo modeliuojama esant  $0,9 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ,  $0,8 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ir  $0,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$  apkrovimo faktoriams. Kai 50% sienų ir grindys (t.y.  $L = 0,9 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ) yra padengta statybine medžiaga, išskiriančia 3-kareną, esant oro apytakos intensyvumui  $0,25 \text{ h}^{-1}$ , koncentracija nukrito iki ribinės vertės po 6 dienų 8 valandų ir 30 minučių. Kai standartinio kambario grindys ir lubos yra padengtos statybine medžiaga, esant  $0,25 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumui, koncentracija nukrito iki ribinės vertės po 3 dienų 22 valandų ir 30 minučių, o kai padengta tik 50% sienų ( $L = 0,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ), prie mažiausios ventiliacijos intensyvumo maksimali koncentracija neviršijo ribinės vertės ir buvo lygi  $0,14 \text{ mg}/\text{m}^3$  (10 pav.).

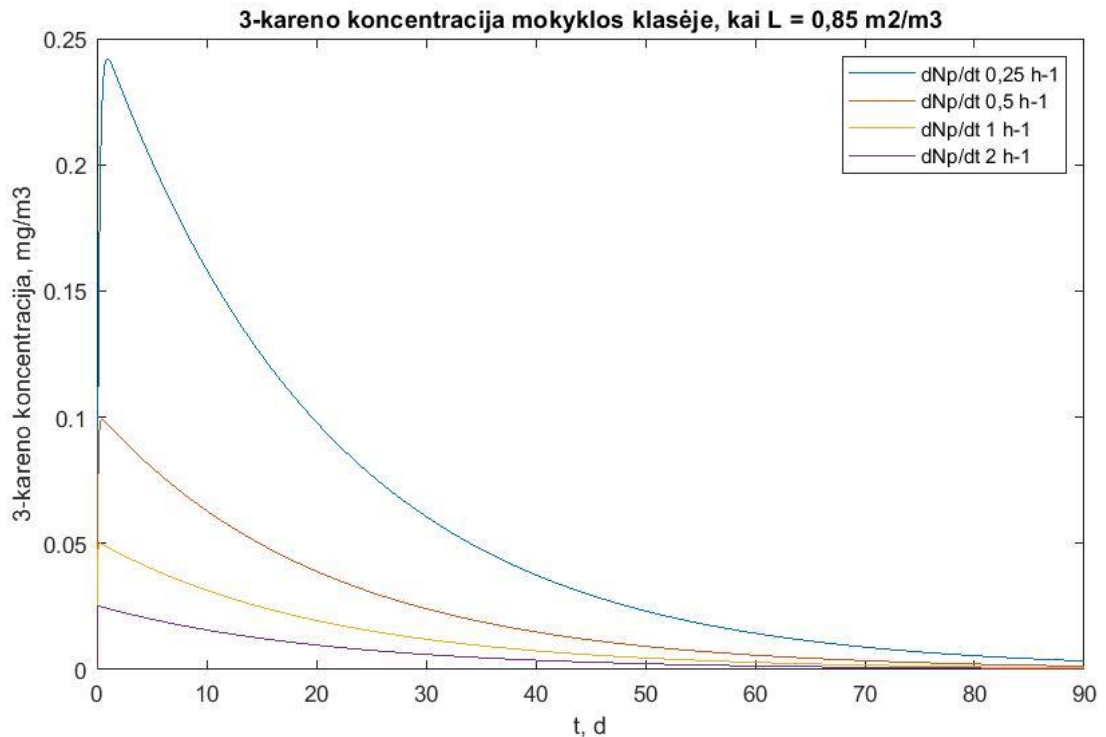


10 pav. 3-kareno koncentracija standartiniame kambariui, kai  $L = 0,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$

### 3.1.2. 3-kareno koncentracijos modeliavimas mokyklos klasėje

Mokyklos klasės modeliavime didžiausias aprovimas faktorius, kai visos sienos ir arba grindys arba lubos yra padengtos statybinėmis medžiagomis, yra lygus  $0,85 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Taip yra todėl, kad tūris yra gerokai didesnis nei sienų paviršiaus plotas, lyginant su standartiniu kambariu.

Maksimali 3-kareno koncentracija mokyklos klasėje, esant  $0,25 \text{ h}^{-1}$  oro srauto kitimo greičiui buvo lygi  $0,2421 \text{ mg}/\text{m}^3$ .  $0,5 \text{ h}^{-1}$ ,  $1 \text{ h}^{-1}$  ir  $2 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumai buvo pakankami, kadangi teršalo koncentracija neviršijo ribinės  $0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$  vertės ir buvo lygūs  $0,09 \text{ mg}/\text{m}^3$ ,  $0,05 \text{ mg}/\text{m}^3$  ir  $0,03 \text{ mg}/\text{m}^3$ , atitinkamai (11 pav.).



**11 pav.** 3-kareno koncentracija mokyklos klasėje, kai  $L = 0,85 \text{ m}^2/\text{m}^3$

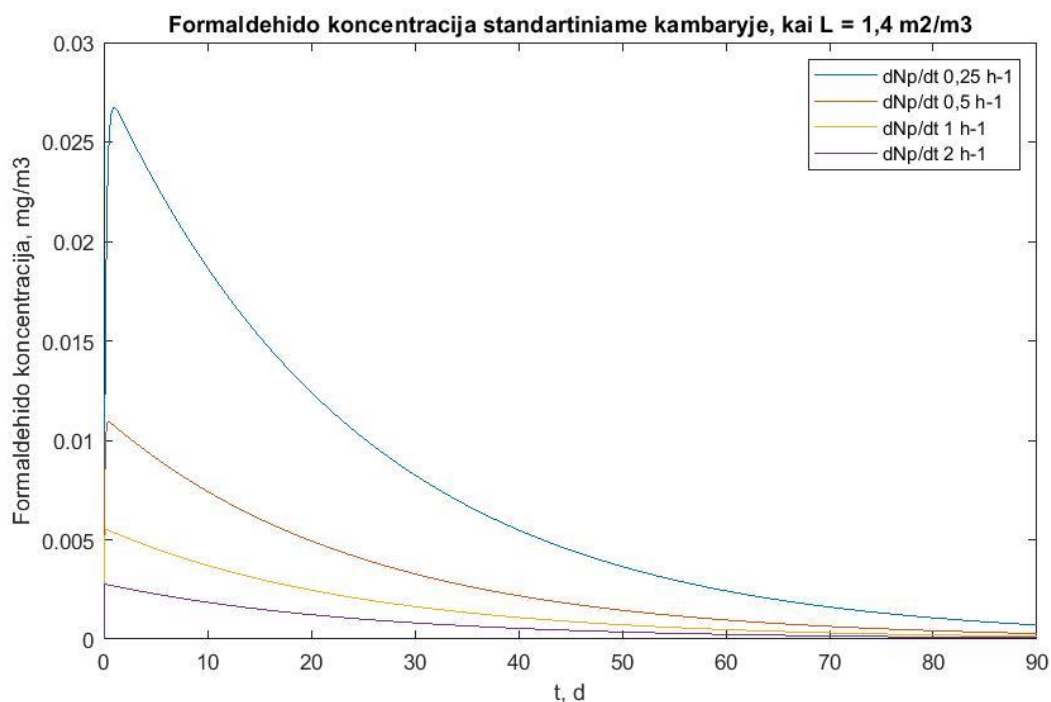
Modeliavimo scenarijai mokyklos klasėje dar buvo vykdomi esant  $0,8 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ir  $0,625 \text{ m}^2/\text{m}^3$  apkrovimo faktoriams. Esant  $0,25 \text{ h}^{-1}$  oro apytakos intensyvumui ir  $0,625 \text{ m}^2/\text{m}^3$  apkrovimo faktoriui, pasiekta maksimali koncentracija lygi  $0,18 \text{ mg}/\text{m}^3$ , kuri neviršijo ribinės vertės.

## 3.2. Formaldehidai

Formaldehidai yra bene labiausiai ištirta medžiaga, kai kalbama apie vidaus oro kokybę. Kadangi yra gerai žinomi blogi formaldehido poveikiai žmogaus sveikatai, todėl statybinių prekių gaminiams yra taikomi labai rimti ribojimai formaldehido emisijoms. EU-LCI vertė šiam junginiui yra lygi  $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ , kai tuo tarpu ribinė formaldehido vertė yra taip pat  $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ .

### 3.2.1. Formaldehido koncentracijos modeliavimas standartiniame kambaryje

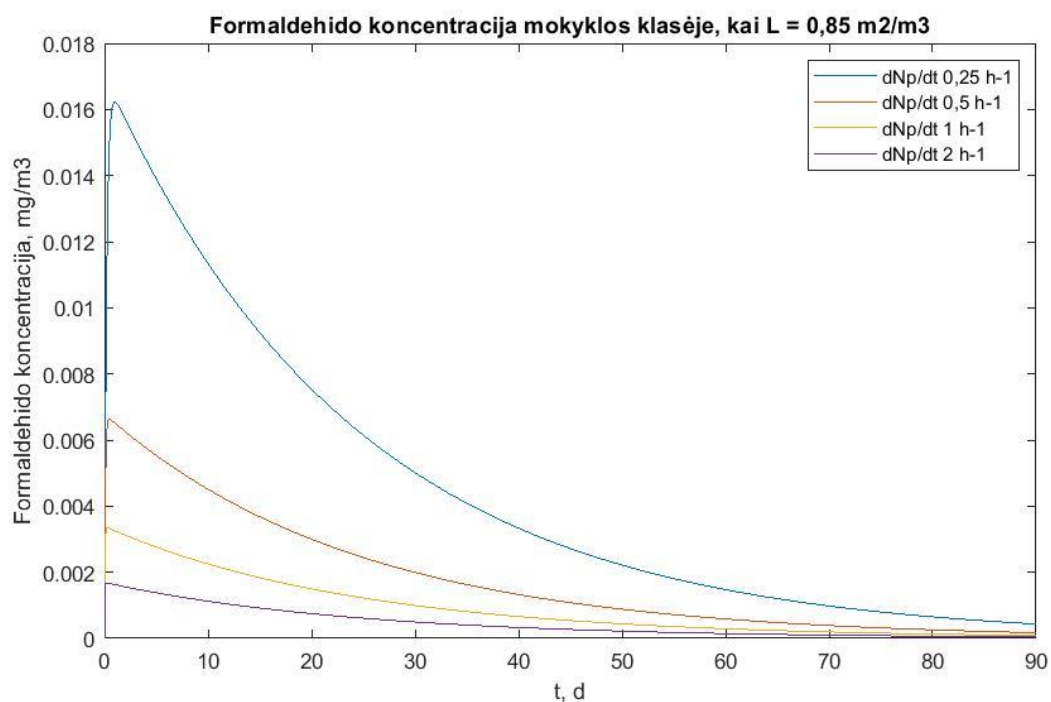
Formaldehido koncentracija standartiniame kambaryje, esant apkrovimo faktoriui  $1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ir esant žemiausiai ventiliacijos spartai  $0,25 \text{ h}^{-1}$ , tesiekė  $0,03 \text{ mg}/\text{m}^3$  modeliavimo metu. Ši koncentracija yra beveik 4 kartus mažesnė nei leistina ribinė vertė. Prie  $0,5 \text{ h}^{-1}$  oro apytakos intensyvumo, formaldehido maksimali koncentracija siekė  $0,01 \text{ mg}/\text{m}^3$ , prie  $1 \text{ h}^{-1}$  –  $0,005 \text{ mg}/\text{m}^3$ , o prie  $2 \text{ h}^{-1}$  –  $0,003 \text{ mg}/\text{m}^3$  (12 pav.) Maksimali koncentracija prie  $0,25 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumo buvo pasiekta po 23 valandų ir 30 minučių.



**12 pav.** Formaldehido koncentracija standartiniame kambaryje, kai  $L = 1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$

### 3.2.2. Formaldehido koncentracijos modeliavimas mokyklos klasėje

Kadangi mokyklos klasėje, iš pasirinktų scenarijų, didžiausias apkrovimo faktorius yra  $0,85 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , todėl formaldehido koncentracija buvo mažesnė nei standartinio kambario modeliavime. Esant mažiausiam ventiliacijos intensyvumui, formaldehido koncentracija buvo  $0,02 \text{ mg}/\text{m}^3$ , taip pat esant  $0,5 \text{ h}^{-1}$  maksimali koncentracija siekė  $0,007 \text{ mg}/\text{m}^3$ , prie  $1 \text{ h}^{-1}$  oro apytakos intensyvumo, maksimali koncentracija pakilo iki  $0,003 \text{ mg}/\text{m}^3$ , o prie  $2 \text{ h}^{-1}$  - tik  $0,002 \text{ mg}/\text{m}^3$  (13 pav.).



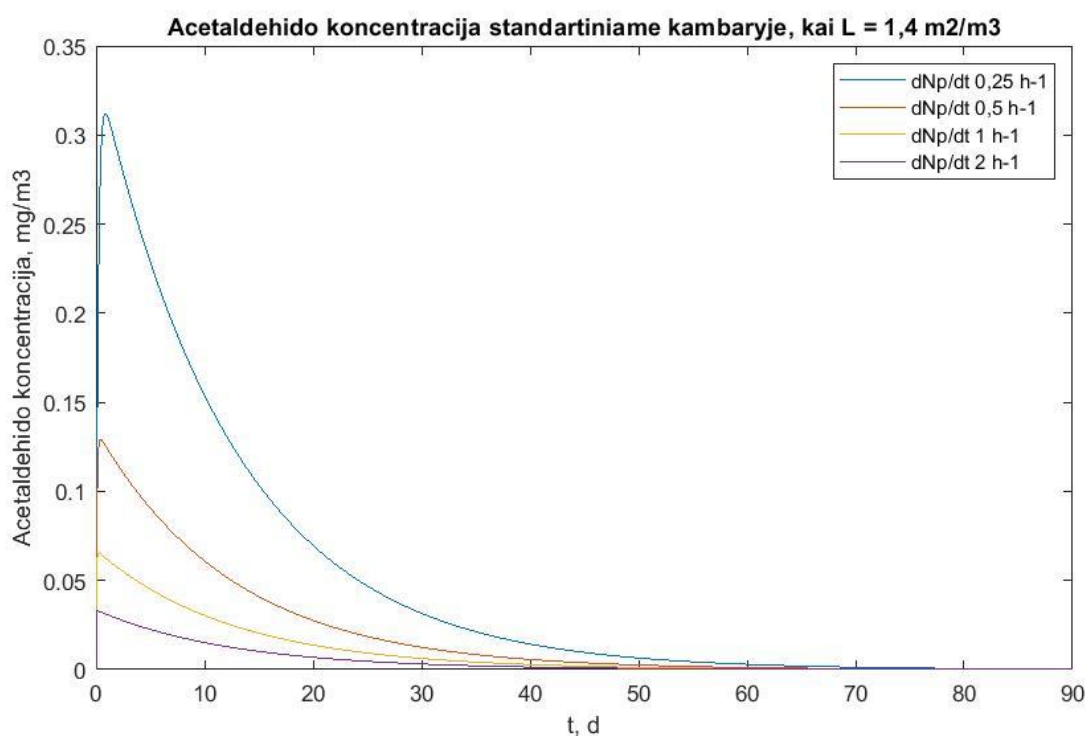
**13 pav.** Formaldehido koncentracija mokyklos klasėje, kai  $L = 0,85 \text{ m}^2/\text{m}^3$

### 3.3. Acetaldehidas

Acetaldehido koncentracija statybinėse medžiagose, pagal EU-LCI sąrašą, negali viršyti  $1,2 \text{ mg/m}^3$ . Ši koncentracija yra gerokai didesnė, negu ribinė acetaldehido koncentracija, kuri yra lygi  $0,1 \text{ mg/m}^3$ .

#### 3.3.1. Acetaldehido koncentracijos modeliavimas standartiniame kambaryje

Atliekant modeliavimą acetaldehido koncentracijos pokyčiui laike, kai apkrovimo faktorius yra didžiausias t.y.  $1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ir oro apytakos intensyvumas yra  $2 \text{ h}^{-1}$ , gauta maksimali acetaldehido koncentracija lygi  $0,03 \text{ mg/m}^3$ , kuri pasiekta per 3 valandas. Kai ventiliacijos intensyvumas yra per pus mažesnis, maksimali junginio koncentracija siekė  $0,07 \text{ mg/m}^3$ . Tačiau, prie  $0,5 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumo, maksimali koncentracija viršijo ribinę acetaldehido koncentraciją ir buvo lygi  $0,13 \text{ mg/m}^3$ . Prie  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , koncentracija nukrito iki ribinės po 3 dienas, 18 valandų ir 30 minučių. Kai oro apytakos intensyvumas buvo  $0,25 \text{ h}^{-1}$ , maksimali teršalo koncentracija daugiau nei 3 kartus viršijo leistiną ribą ir buvo lygi  $0,31 \text{ mg/m}^3$ , ir tik po 15 dienų ir 11 valandų koncentracija nukrito iki ribinės vertės šiomis sąlygomis (14 pav.).

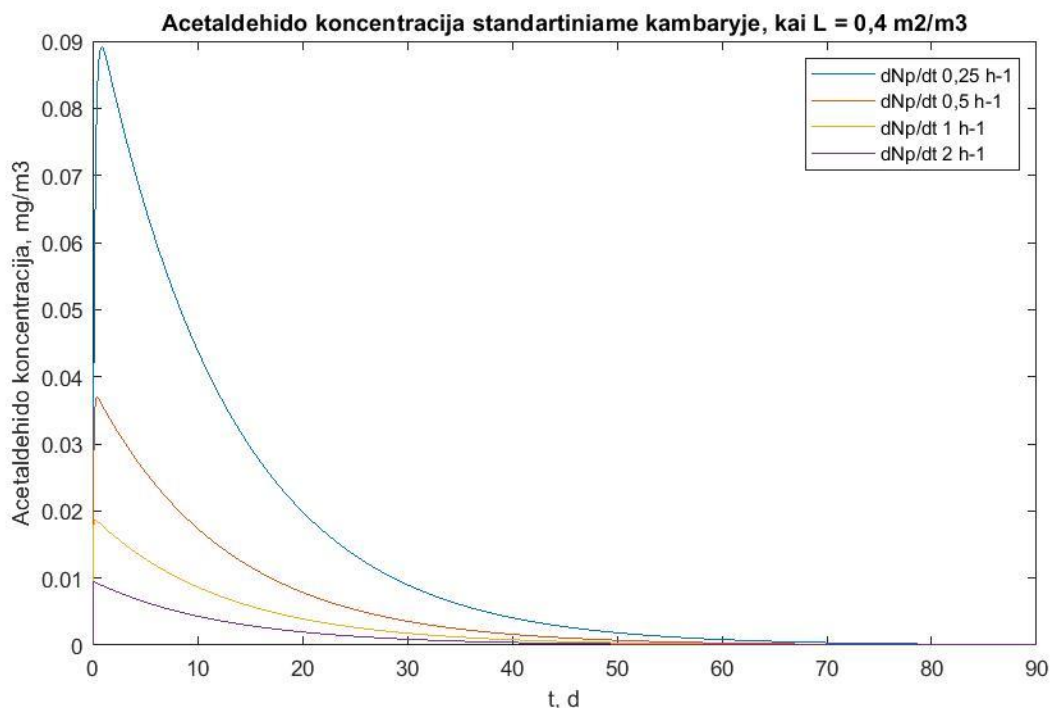


14 pav. Acetaldehido koncentracija standartiniame kambaryje, kai  $L = 1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Kai sumažiname apkrovimo faktorių iki  $1 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , o ventiliacijos intensyvumas buvo lygus  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , maksimali acetaldehido koncentracija siekė  $0,09 \text{ mg/m}^3$ , kas yra žemiau leistinos normos. Ribinė vertė, prie  $0,5 \text{ h}^{-1}$  oro apytakos intensyvumo buvo viršyta tik prie  $1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$  apkrovimo faktoriaus.

Standartinio kambario modeliavime, kai apkrovimo faktorius yra lygus  $0,9 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ir ventiliacijos intensyvumas yra  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , maksimali koncentracija siekė  $0,2 \text{ mg/m}^3$ , kuri nukrito iki ribinės vertės po 9 dienų 21 valandos ir 30 minučių. Esant pačiam mažiausiam oro apytakos intensyvumui, o apkrovimo faktoriui  $0,8 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , pasiekta maksimali koncentracija lygi  $0,18 \text{ mg/m}^3$ , kuri nukrito iki ribinės vertės per 8 dienas 9 valandas ir 30 minučių. Netgi kai apkrovimo faktorius yra  $0,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , maksimali koncentracija viršijo ribinę vertę ir buvo lygi  $0,11 \text{ mg/m}^3$ .

Kai standartiniame kambaryje, statybinėmis medžiagomis, turinčiomis acetaldehido, padengta tik grindys arba lubos, kai  $L = 0,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , esant mažiausiam ventiliacijos intensyvumui, maksimali koncentracija nebesiekė ribinės vertės ir buvo lygi  $0,09 \text{ mg}/\text{m}^3$  (15 pav.).

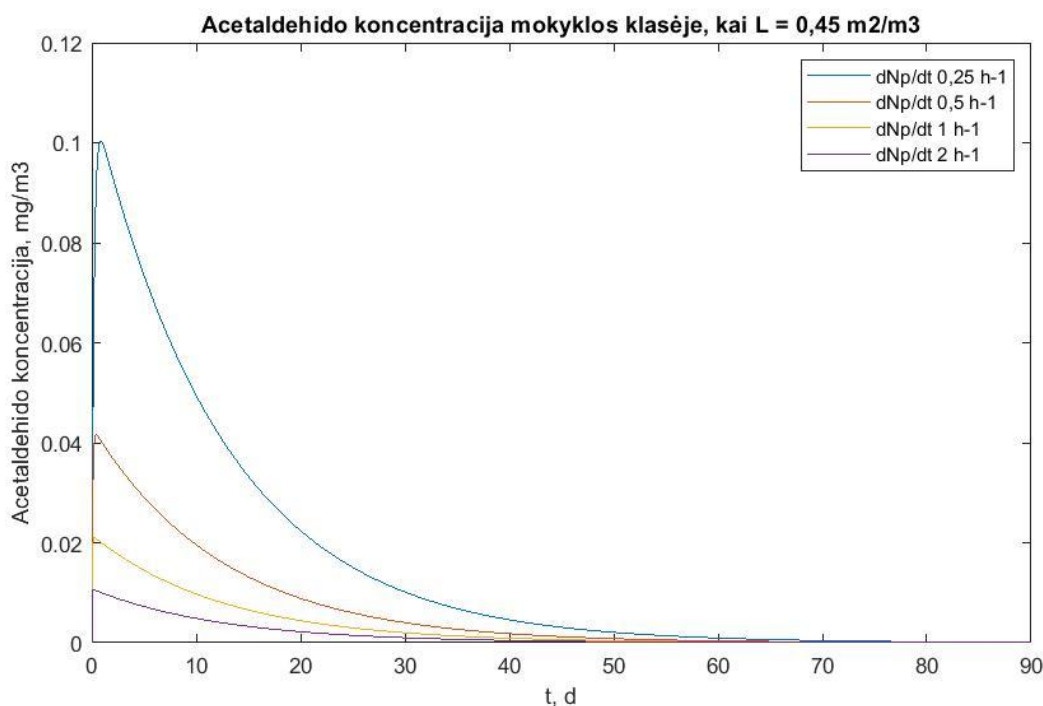


15 pav. Acetaldehido koncentracija standartiniame kambaryje, kai  $L = 0,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$

### 3.3.2. Acetaldehido koncentracijos modeliavimas mokyklos klasėje

Maksimali acetaldehido koncentracija siekė  $0,19 \text{ mg}/\text{m}^3$ , kai mokyklos klasėje apkrovimo faktorius yra  $0,85 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , o oro apytakos intensyvumas  $0,25 \text{ h}^{-1}$ . Esant didesniai ventiliacijos intensyvumui, acetaldehido koncentracija neperkopė ribinės vertės. Prie  $0,25 \text{ h}^{-1}$ , teršalo koncentracija nukrito iki ribinės vertės tik po 9 dienų 3 valandų ir 30 minučių.

Mokyklos klasėje, kai oro apytakos intensyvumas mažiausias, acetaldehido maksimali koncentracija buvo  $0,14 \text{ mg}/\text{m}^3$ , kai apkrovimo faktorius yra  $0,625 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , o iki ribinės vertės nukrito per 5 dienas 6 valandas ir 30 minučių po modeliavimo pradžios. Tačiau, kai mokyklos klasėje statybine medžiaga padengiamos visos sienos, kai  $L = 0,45 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , maksimali acetaldehido koncentracija pasiekė  $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Ši koncentracija mokyklos klasėje susidarė praėjus lygiai 1 dienai po modeliavimo pradžios (16 pav.).



**16 pav.** Acetaldehido koncentracija mokyklos klasėje, kai  $L = 0,45 \text{ m}^2/\text{m}^3$

### 3.4. Ksilenas

Pasak mokslininkų, ksileno koncentracija, leistina statybinėse medžiagose gali būti iki  $0,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ , o šiam darbui pasirinkta ribinė koncentracija šiai medžiagai lygi  $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ .

#### 3.4.1. Ksileno koncentracijos modeliavimas standartiniame kambaryje

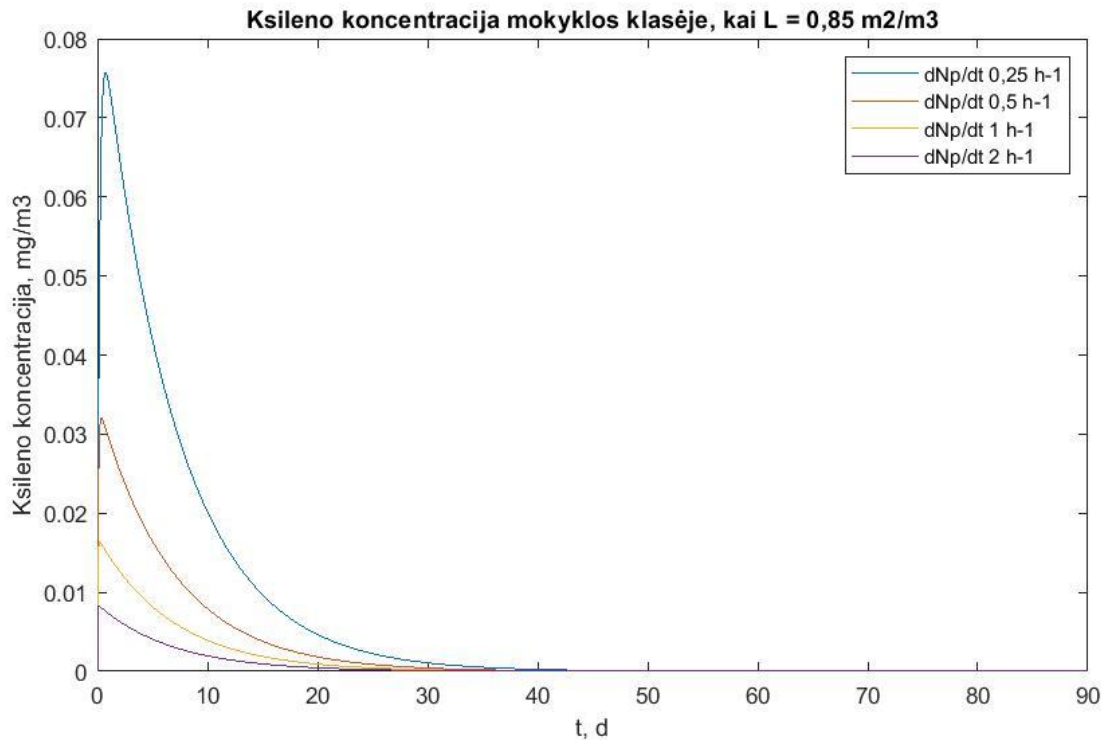
Standartinio kambario modeliavime, prie  $1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$  apkrovimo faktoriaus ir esant mažiausiam oro apytakos intensyvumui, ksileno koncentracija buvo lygi  $0,13 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Taip pat prie  $0,5 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumo, maksimali koncentracija siekė  $0,05 \text{ mg}/\text{m}^3$ , prie  $1 \text{ h}^{-1}$  –  $0,03 \text{ mg}/\text{m}^3$ , o prie  $2 \text{ h}^{-1}$  –  $0,01 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Esant mažiausiam oro apytakos intensyvumui, ksileno maksimali koncentracija viršijo ribinę, tačiau per 2 dienas ir 12 valandų nuo modeliavimo pradžios nukrito iki ribinės vertės.

Modeliuojant ksileno koncentracijos pokytį laike, kai apkrovimo faktorius yra  $1 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , pakanka mažiausio ventiliacijos intensyvumo, kad leistina ribinė vertė nebūtų viršyta. Prie  $0,25 \text{ h}^{-1}$ , maksimali koncentracija siekė  $0,09 \text{ mg}/\text{m}^3$ .

#### 3.4.2. Ksileno koncentracijos modeliavimas mokyklos klasėje

Kadangi leistina ksileno koncentracija statybinėse medžiagose yra tik 5 kartus didesnė, už ribinę vertę, mokyklos klasės modeliavime, kai  $L = 0,85 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , net mažiausias ventiliacijos intensyvumas buvo pakankamas, kad ksileno koncentracija neviršytų ribinės vertės. Pastaruoju atveju, maksimali koncentracija siekė  $0,08 \text{ mg}/\text{m}^3$ , kai oro apytakos intensyvumas buvo  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , ksileno maksimali koncentracija siekė  $0,03 \text{ mg}/\text{m}^3$ , kai ventiliacijos intensyvumas  $1 \text{ h}^{-1}$ , maksimali koncentracija  $0,02 \text{ mg}/\text{m}^3$ , o kai  $2 \text{ h}^{-1}$ , ksileno maksimali koncentracija buvo  $0,01 \text{ mg}/\text{m}^3$  (17 pav.).





**17 pav.** Ksileno koncentracija mokyklos klasėje, kai  $L = 0,85 \text{ m}^2/\text{m}^3$

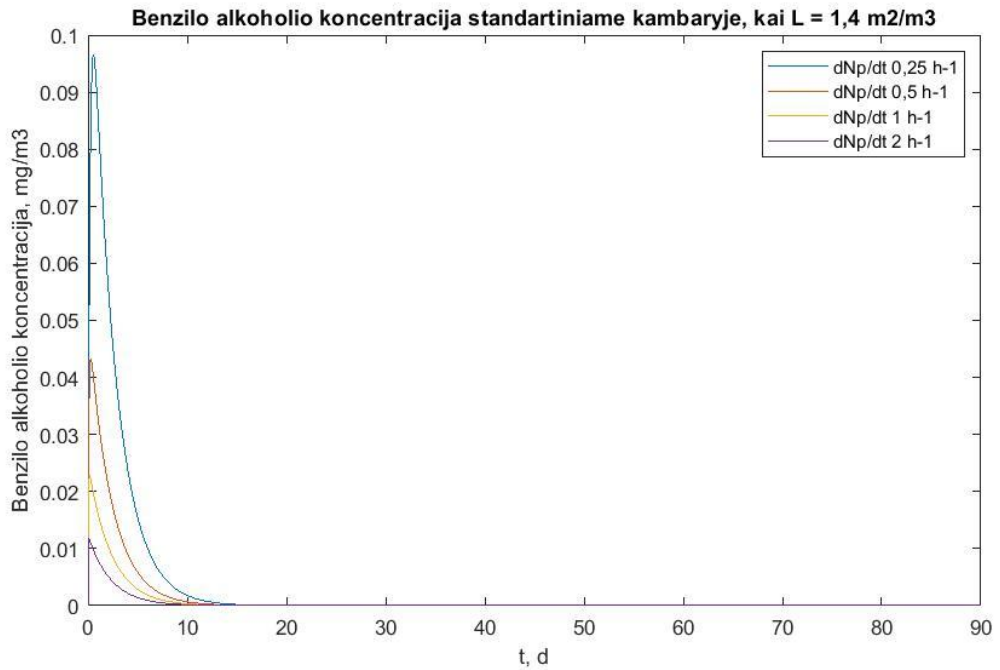
### 3.5. Benzilo alkoholis

Leistina benzilo alkoholio koncentracija statybiniuose gaminiuose, pagal EU-LCI sąrašą, yra lygi  $0,44 \text{ mg}/\text{m}^3$ , o šio junginio leistina ribinė koncentracija yra  $0,4 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Benzilo alkoholis turi vieną didžiausių lakiųjų organinių junginių koncentracijos mažėjimo koeficientų, iš šiame darbe tiriamų medžiagų, kuris lygus  $0,018 \text{ h}^{-1}$ .

#### 3.5.1. Benzilo alkoholio koncentracijos modeliavimas standartiniame kambaryje

Benzilo alkoholio ribinė vertė mažai skiriasi nuo statybinėse medžiagose leidžiamos junginio koncentracijos, todėl atliekant modeliavimą, su didžiausiu apkrovimo faktoriumi  $L = 1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , ribinė vertė nebuvo viršijama visais oro srauto kitimo greičiais. Tokiu atveju nebuvo vertinamas modeliavimas su mažesniais apkrovimo faktoriais.

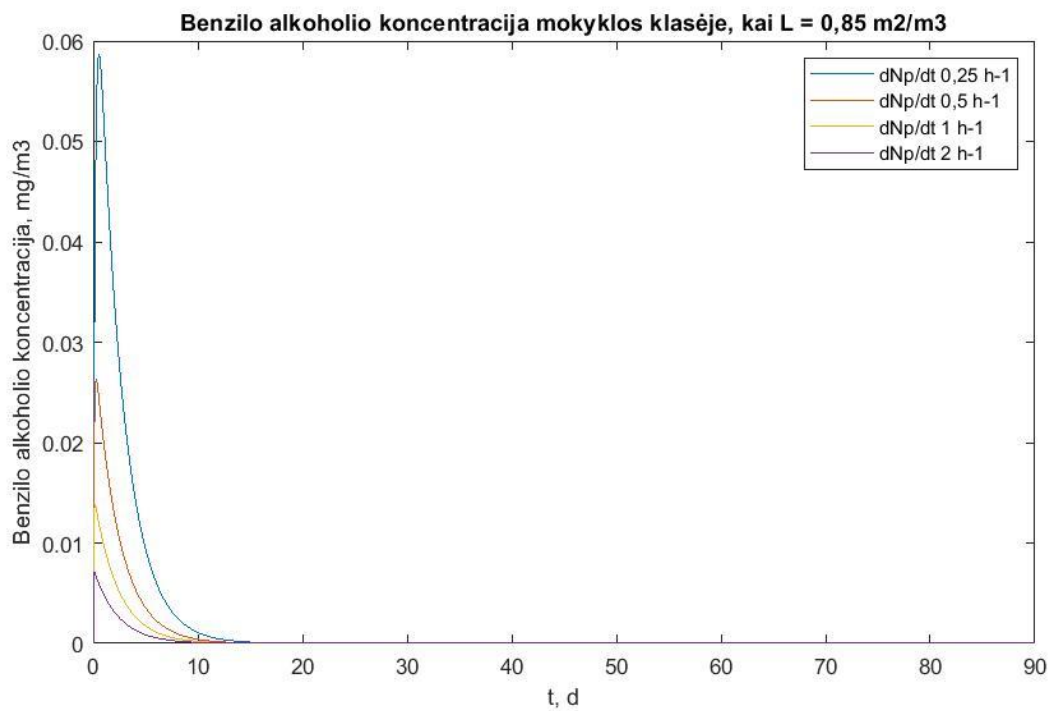
Benzilo alkoholio maksimali koncentracija, kai ventiliacijos intensyvumas buvo didžiausias, siekė  $0,01 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Esant dvigubai mažesniais oro apykaitos intensyvumui, junginio maksimali koncentracija buvo  $0,02 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Prie  $0,5 \text{ h}^{-1}$  koncentracija buvo  $0,05 \text{ mg}/\text{m}^3$ , o prie mažiausio ventiliacijos intensyvumo, benzilo alkoholio maksimali koncentracija siekė  $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ , kas yra daugiau nei keturis kartus mažesnė koncentracija už ribinę vertę (18 pav.).



**18 pav.** Benzilo alkoholio koncentracija standartiniame kambaryje, kai  $L = 1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$

### 3.5.2. Benzilo alkoholio koncentracijos modeliavimas mokyklos klasėje

Mokyklos klasės patalpos modeliavimo metu, taip pat jokių atveju nebuvo viršyta ribinė benzilo alkoholio koncentracija. 19 paveiksle matome koncentracijos pokytį laike, kai apkrovimo faktorius yra  $0,85 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .



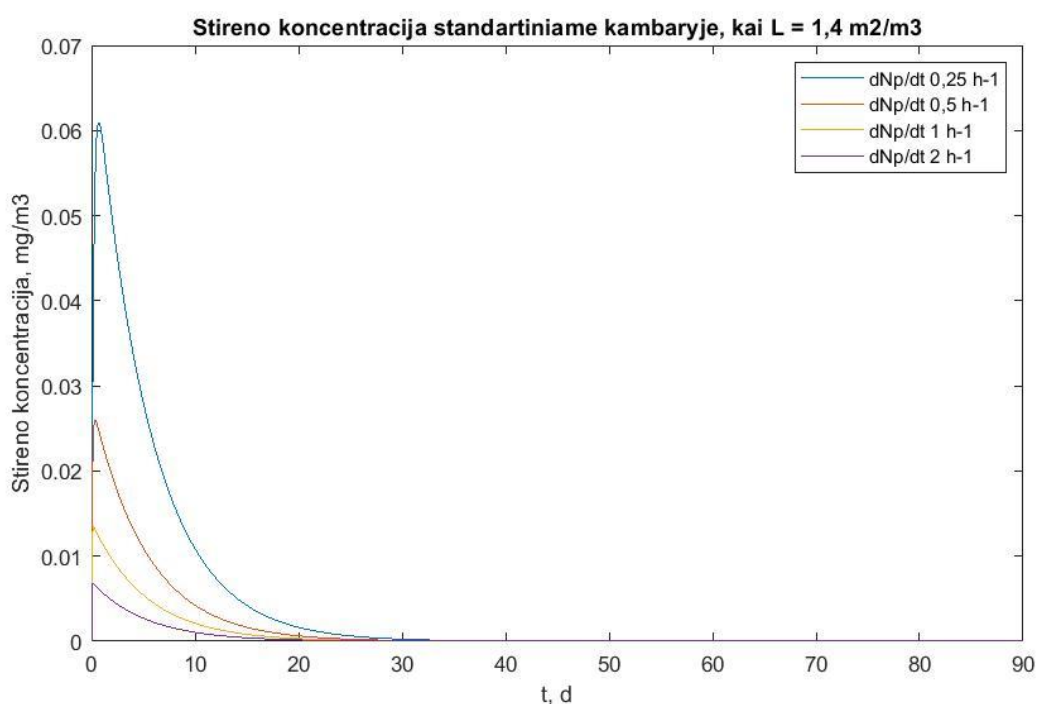
**19 pav.** Benzilo alkoholio koncentracija mokyklos klasėje, kai  $L = 0,85 \text{ m}^2/\text{m}^3$

### 3.6. Stirenas

Iš EU-LCI sąrašo, pateikto 4 lentelėje, matome, kad stireno koncentracija, leistina statybinėse medžiagose, yra lygi  $0,25 \text{ mg/m}^3$ . Tuo tarpu, atsižvelgiant į rekomendacijas, pasirinkome ribinę stireno koncentraciją patalpose, kuri yra lygi  $0,03 \text{ mg/m}^3$ .

#### 3.6.1. Stireno koncentracijos modeliavimas standartiniame kambaryje

Atlikus modeliavimą standartiniame kambaryje, kai stireno koncentracija statybinėse medžiagose yra  $0,25 \text{ mg/m}^3$  ir kai apkrovimo faktorius yra didžiausias  $L = 1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , gauname rezultatus, pateikiamus 20 paveiksle.

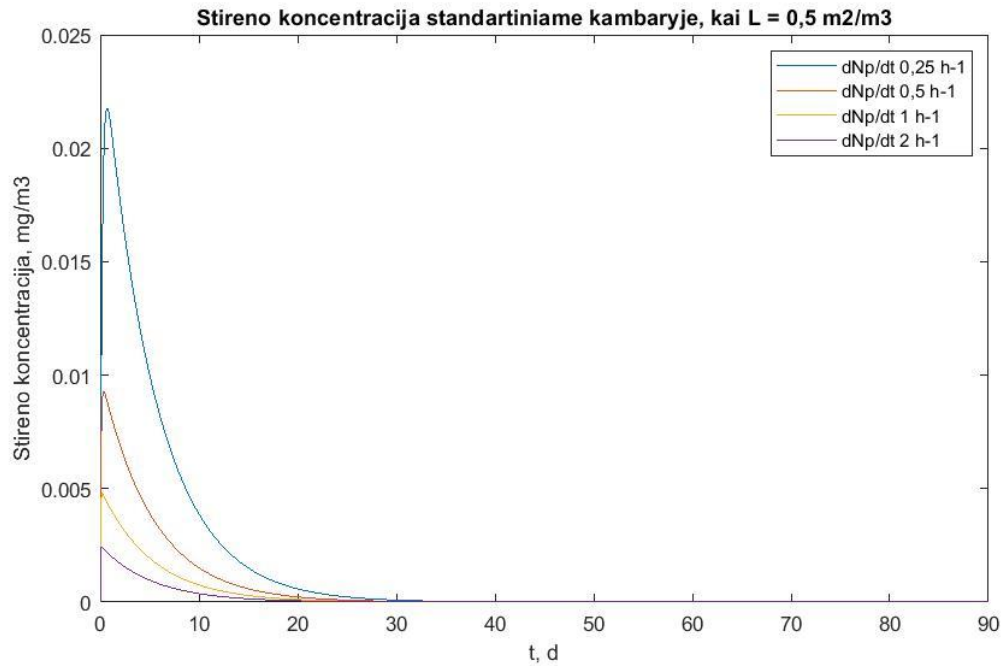


20 pav. Stireno koncentracija standartiniame kambaryje, kai  $L = 1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Kaip matome iš grafiko, stireno koncentracija viršijo ribinę vertę esant  $0,25 \text{ h}^{-1}$  oro apytakos intensyvumui, o jos maksimumas buvo  $0,06 \text{ mg/m}^3$ . Stireno koncentracija, šiuo atveju, sumažėjo iki ribinės vertės praėjus 4 dienoms 16 valandų ir 30 minučių.

Kadangi stireno koncentracija, esant mažiausiam ventiliacijos intensyvumui, viršijo ribinę vertę, simuliacijos buvo atliktos, dar trimis atvejais standartiniame kambaryje. Kai apkrovimo faktorius lygus  $1 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , stireno koncentracijos maksimumas siekė  $0,04 \text{ mg/m}^3$ , kas taip pat yra virš ribinės vertės, iki kurios nukrito per 2 dienas ir 22 valandas. Toliau buvo bandoma patikrinti ar bus viršijama ribinė vertė, kai apkrovimo faktorius yra  $0,8 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , tačiau taip pat buvo viršyta leistina riba, o koncentracija lygi  $0,04 \text{ mg/m}^3$ .

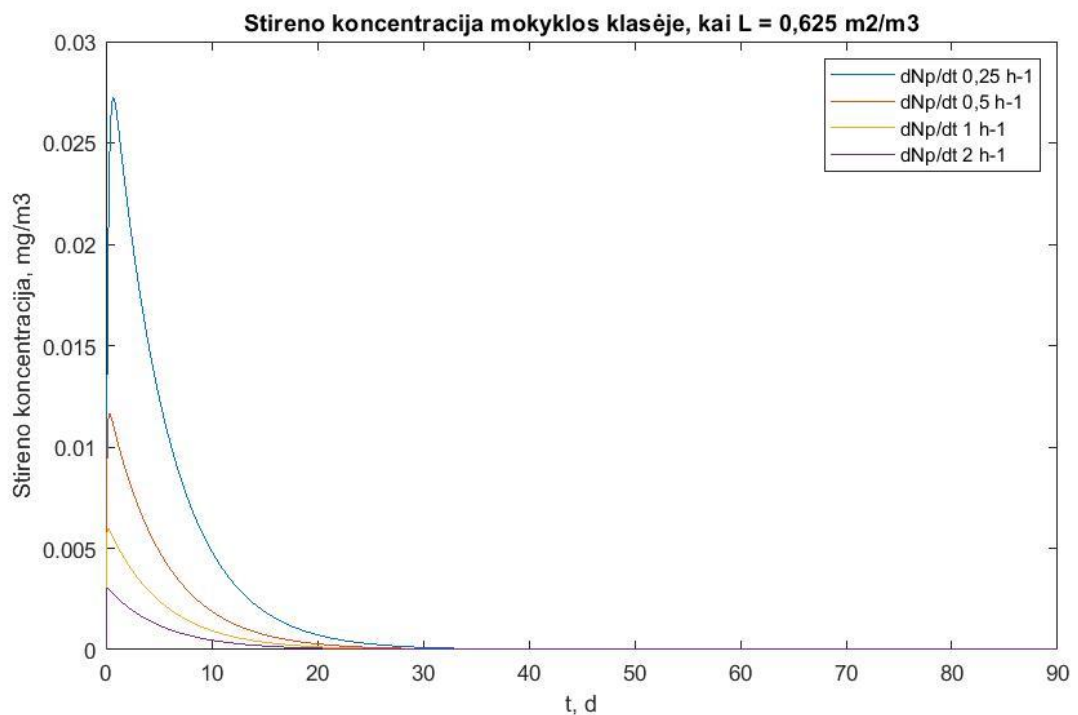
Tik atlikus modeliavimą, kurio metu  $L = 0,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , stireno maksimali koncentracija, esant  $0,25 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumui, neviršijo leistinos ribos, ir buvo lygi  $0,02 \text{ mg/m}^3$  (21 pav.).



**21 pav.** Stireno koncentracija standartiniame kambaryje, kai  $L = 0,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$

### 3.6.2. Stireno koncentracijos modeliavimas mokyklos klasėje

Mokyklos klasės patalpos modeliavimas buvo vykdomas 3 atvejais. Buvo testuojama stireno koncentracija, kai  $L = 0,85 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , kai  $L = 0,8 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ir kai  $L = 0,625 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Prie dviejų didžiausių apkrovimo faktorių, stireno koncentracija viršijo leistiną koncentracijos vertę patalpoje, tačiau prie  $L = 0,625 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , stireno maksimali koncentracija siekė  $0,03 \text{ mg}/\text{m}^3$ , kai oro apykaitos intensyvumas buvo mažiausias (22 pav.).



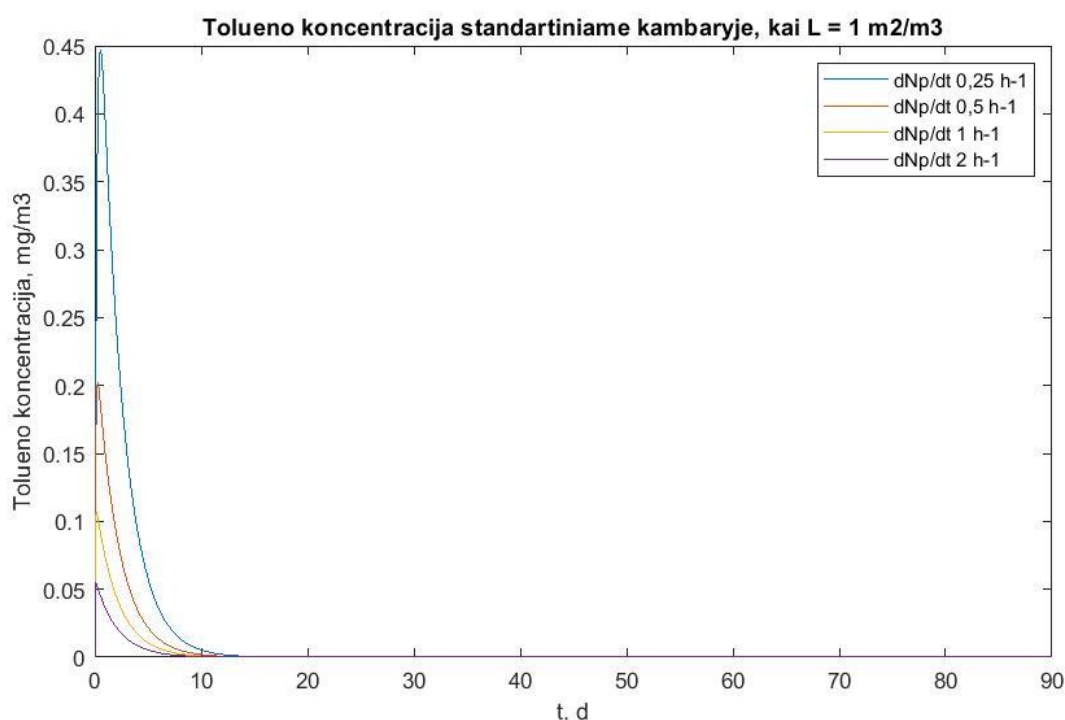
**22 pav.** Stireno koncentracija mokyklos klasėje, kai  $L = 0,625 \text{ m}^2/\text{m}^3$

### 3.7. Toluenas

Toluenas yra taip pat vienas iš organinių junginių, kurių leistina koncentracija statybinėse medžiagose beveik 10 kartų viršija ribinę vertę. Tolueno ribinė vertė yra lygi  $0,3 \text{ mg/m}^3$ , o leistina statybinėse medžiagose –  $2,9 \text{ mg/m}^3$ .

#### 3.7.1. Tolueno koncentracijos modeliavimas standartiniame kambaryje

Toluenas turi sąlyginai didelį koncentracijos mažėjimo koeficientą  $\tau = 0,02 \text{ h}^{-1}$ , kas reiškia, jog bendras tolueno koncentracijos pokytis yra greitesnis, lyginant su prieš tai tirtomis medžiagomis. Kai modeliavimo metu, apkrovimo faktorius lygus  $1 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , o oro apykaitos intensyvumas  $0,25 \text{ h}^{-1}$ , tolueno maksimali koncentracija patalpoje siekė  $0,45 \text{ mg/m}^3$ , tačiau per 2 dienas ir 5 valandas ši koncentracija sumažėjo per pusę. Per 1 dieną, 14 valandų ir 30 minučių koncentracija sumažėjo iki ribinės vertės. (23 pav.).



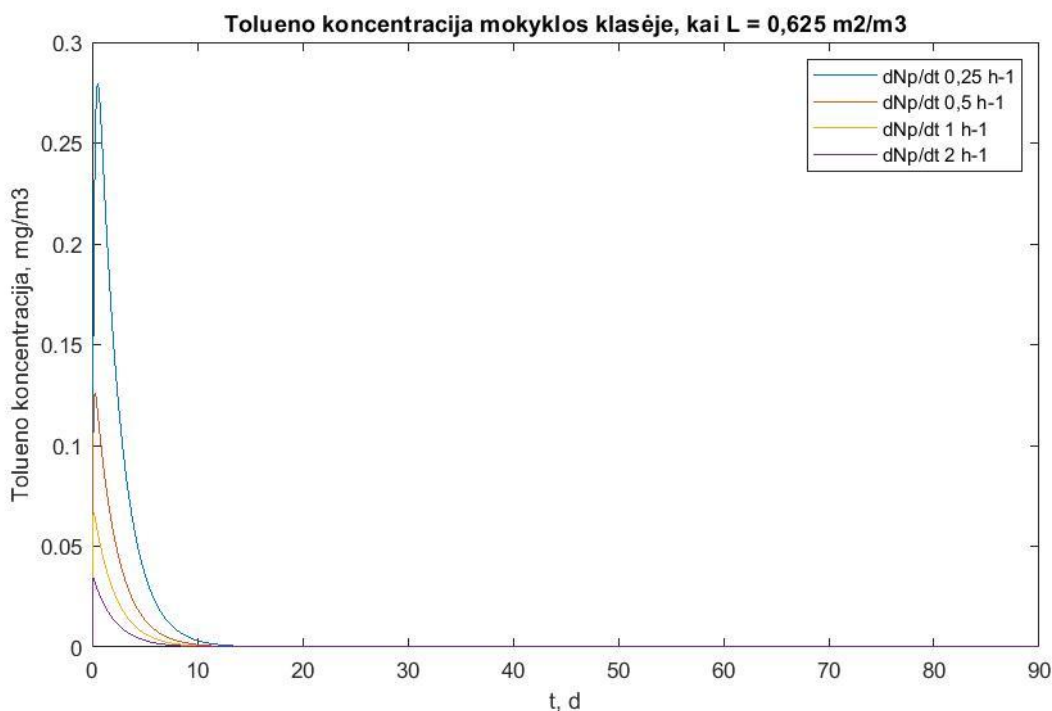
23 pav. Tolueno koncentracija standartiniame kambaryje, kai  $L = 1 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Visais atvejais, tolueno koncentracija patalpoje nebuvo viršyta, kai ventiliacijos intensyvumas yra didesnis nei  $0,5 \text{ h}^{-1}$ . Vykdamt modeliavimą su  $0,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$  apkrovimo faktoriumi standartiniame kambaryje, su oro apykaitos intensyvumu  $0,25 \text{ h}^{-1}$ , tolueno maksimali koncentracija siekė  $0,22 \text{ mg/m}^3$ , ir nebuvo viršyta leistina riba.

#### 3.7.2. Tolueno koncentracijos modeliavimas mokyklos klasėje

Mokyklos klasėje, priimant, kad yra didžiausias pakrovimo faktorius  $0,85 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , o ventiliacijos intensyvumas yra  $0,25 \text{ h}^{-1}$ , tolueno koncentracija kambaryje pakilo iki maksimalios  $0,38 \text{ mg/m}^3$  vertės per 13 valandų. Ši koncentracija viršijo ribinę, tačiau per 1 dieną ir 6 valandas sumažėjo iki ribinės vertės. Kai oro apykaitos intensyvumas buvo  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , maksimali koncentracija siekė  $0,17 \text{ mg/m}^3$ , prie  $1 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumo  $0,09 \text{ mg/m}^3$ , o kai oro apykaitos intensyvumas  $2 \text{ h}^{-1}$ , maksimali koncentracija siekė  $0,05 \text{ mg/m}^3$ .

Mokyklos klasės modeliavime tik esant  $0,625 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ir prie  $0,25 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumo, tolueno koncentracija neviršijo ribinės,  $0,03 \text{ mg}/\text{m}^3$ , vertės (24 pav.)



24 pav. Tolueno koncentracija mokyklos klasėje, kai  $L = 0,625 \text{ m}^2/\text{m}^3$

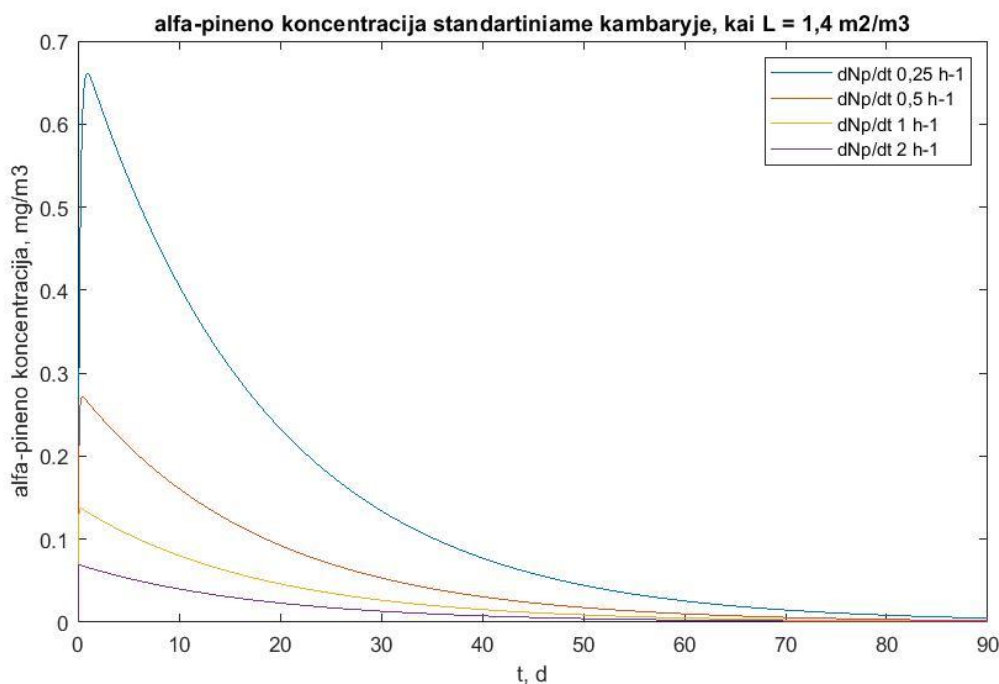
### 3.8. $\alpha$ -pinenas

$\alpha$ -pinenas buvo paskutinė, šiame darbe nagrinėjama laki organinė medžiaga. Šio junginio leistina koncentracija statybiniuose gaminiuose yra lygi  $2,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ .  $\alpha$ -pineno ribinė koncentracija yra įvairi skirtinguose šaltiniuose, tačiau šio junginio simuliacijoms buvo pasirinkta  $0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$  ribinė vertė.

#### 3.8.1. $\alpha$ -pineno koncentracijos modeliavimas standartiniame kambaryje

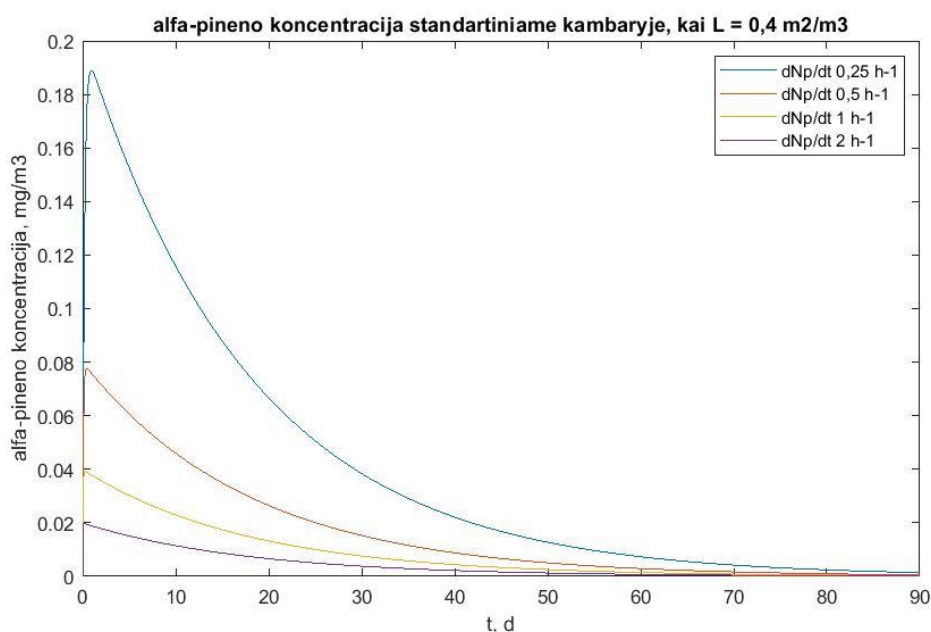
Modeliavimas  $\alpha$ -pineno koncentracijos pokyčiui, buvo vykdomas visais aprašytais scenarijais standartiniame kambaryje. Esant didžiausiam apkrovimo faktoriui ( $1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ),  $\alpha$ -pineno koncentracija viršijo ribinę koncentraciją, kai ventiliacijos intensyvumas buvo  $0,25 \text{ h}^{-1}$  ir  $0,5 \text{ h}^{-1}$ . Prie  $0,25 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumo, maksimali koncentracija siekė  $0,66 \text{ mg}/\text{m}^3$ , o prie  $0,5 \text{ h}^{-1}$  –  $0,27 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Pirmuoju atveju  $\alpha$ -pineno koncentracija kambaryje sumažėjo iki ribinės vertės po 22 dienų ir 20 valandų, o kai oro apykaitos intensyvumas buvo  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , sumažėjo iki ribinės vertės per 6 dienas ir 2 valandas.  $1 \text{ h}^{-1}$  ir  $2 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumų pakanka, kad nebūtų viršyta ribinė vertė šiais modeliavimo scenarijais.

25 paveiksle yra grafiškai pavaizduojamas  $\alpha$ -pineno koncentracijos pokytis laike prie didžiausio apkrovimo faktoriaus.



**25 pav.**  $\alpha$ -pineno koncentracija standartiniame kambaryje, kai  $L = 1,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$

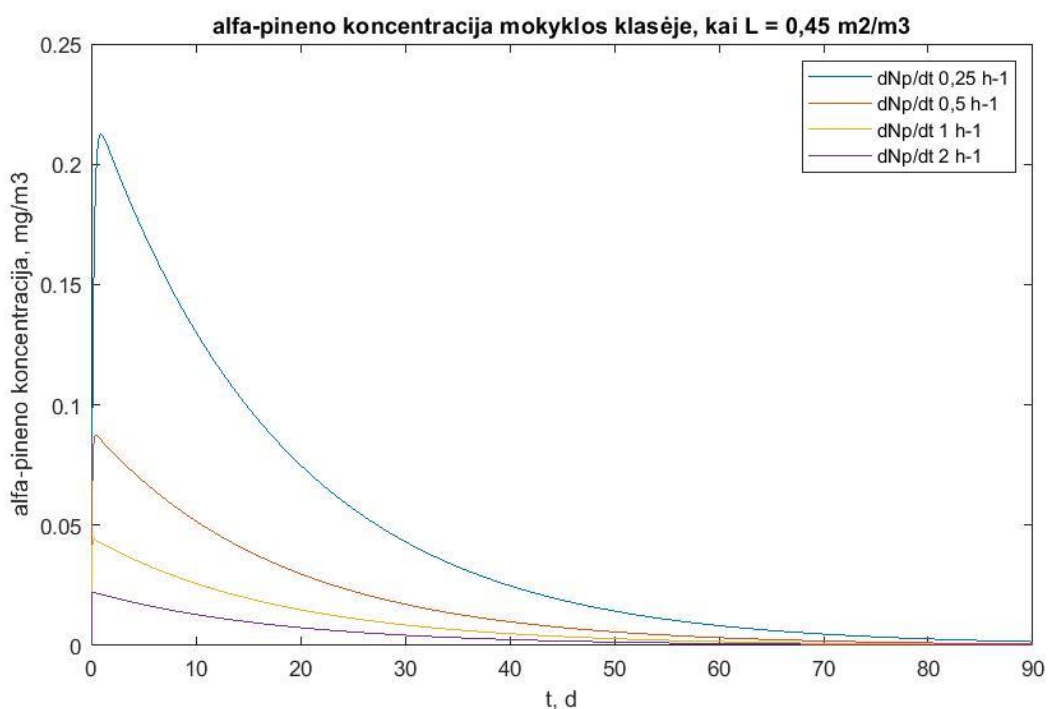
Kadangi  $\alpha$ -pineno koncentracijos mažėjimo greitis yra sąlyginai nedidelis, esant mažesniems apkrovimo faktoriams ir  $0,25 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumui, junginio koncentracija sumažėjo iki ribinės vertės praėjus nemažai laiko po modeliavimo pradžios. Pavyzdžiui, kai apkrovimo faktorius yra  $1 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ,  $\alpha$ -pineno koncentracija nukrito iki ribinės vertės per 16 dienų ir 18 valandų, kai apkrovimo faktorius  $0,9 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , nukrito iki ribinės per 14 dienų ir 2 valandų, kai  $0,8 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ,  $\alpha$ -pineno koncentracija sumažėjo iki ribinės per 12 dienų ir 17 valandų. Net esant  $0,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$  apkrovimo faktoriui, reikia kad praeitų 4 dienos ir 4 valandos kad koncentracija nukristų iki ribinės vertės. Ribinė  $\alpha$ -pineno koncentracijos vertė nebuvo pasiekta tik kai apkrovimo faktorius yra  $0,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , o maksimali vertė buvo  $0,19 \text{ mg}/\text{m}^3$  (26 pav.).



**26 pav.**  $\alpha$ -pineno koncentracija standartiniame kambaryje, kai  $L = 0,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$

### 3.8.2. $\alpha$ -pineno koncentracijos modeliavimas mokyklos klasėje

Vykdamt modeliavimą mokyklos klasei,  $\alpha$ -pineno koncentracija, nei vienu atveju nebuvo viršyta ribinė vertė, kai oro apytakos intensyvumas buvo  $0,5 \text{ h}^{-1}$ ,  $1 \text{ h}^{-1}$  ar  $2 \text{ h}^{-1}$ . Organinio junginio maksimali koncentracija, kai ventiliacijos intensyvumas  $0,25 \text{ h}^{-1}$ , prie didžiausio apkrovimo faktoriaus  $0,85 \text{ m}^2/\text{m}^3$  pasiekė dvigubai didesnę vertę, nei ribinė vertė ( $0,4 \text{ mg}/\text{m}^3$ ). Prie  $0,8 \text{ m}^2/\text{m}^3$  apkrovimo faktoriaus buvo pasiekta, maksimali,  $0,38 \text{ mg}/\text{m}^3$  koncentracija, prie  $0,625 \text{ m}^2/\text{m}^3$  apkrovimo faktoriaus pasiekta  $0,3 \text{ mg}/\text{m}^3$  maksimali koncentracija, kai tariamai padengtos tik sienos mokyklos klasėje, kai  $L = 0,45 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ,  $\alpha$ -pineno maksimali koncentracija siekė  $0,21 \text{ mg}/\text{m}^3$ , kuri nukrito iki ribinės vertės per 2 dienas ir 6 valandas po modeliavimo pradžios (27 pav.).



27 pav.  $\alpha$ -pineno koncentracija mokyklos klasėje, kai  $L = 0,45 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Kaip ir standartinio kambario simuliacijose,  $\alpha$ -pineno koncentracija neviršijo ribinės vertės, kai apkrovimo faktorius šioje patalpoje buvo lygus  $0,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

### 3.9. Suminės teršalų koncentracijos modeliavimas

Kadangi, įprastai įrengus gyvenamosios ar komercinės paskirties pastatus, patalpų sienos, lubos ir grindys būna padengtos įvairaus tipo statybinių medžiagų, kurios į patalpų aplinką išleidžia didelę įvairovę lakių organinių junginių. Šiame poskyryje bus aptartas scenarijus, kada modeliavimas buvo vykdomas esant skirtingiems junginiams sienoms, grindims ir sandarikliams, kurių koncentracijos statybinėse medžiagose taip pat paimtos iš EU-LCI sąrašo.

EU-LCI sąrašė nurodoma 15 lakių organinių medžiagų, kurios gali išsiskirti iš statybinių gaminių grindims. Šie junginiai ir jų EU-LCI koncentracijų vertės yra: 3-karenas ( $1,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ ),  $\alpha$ -pinenas ( $2,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ ),  $\beta$ -pinenas ( $1,4 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), limonenas ( $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), 1-butanolis ( $3 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), benzilo alkoholis ( $0,44 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), 1,4-butandiolis ( $2 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), formaldehidas ( $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), pentanalis ( $0,8 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), heksanalis ( $0,9 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), acetaldehidas ( $1,2 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), benzaldehidas ( $0,06 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), acto rūgštis ( $1,2 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), 2-etilheksil akrilatas ( $0,38 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), n-metil-pirolidonas ( $1,8 \text{ mg}/\text{m}^3$ ).



Taip pat yra 12 junginių išsiskiriančių iš statybinių medžiagų sienomis, kurių EU-LCI koncentracijų vertės yra taip pat žinomos: stirenas ( $0,25 \text{ mg/m}^3$ ), toluenas ( $2,9 \text{ mg/m}^3$ ), acto rūgštis ( $1,2 \text{ mg/m}^3$ ), benzilo alkoholis ( $0,44 \text{ mg/m}^3$ ), pentanalis ( $0,8 \text{ mg/m}^3$ ), dekahidronaftalenas ( $0,2 \text{ mg/m}^3$ ), etileno glikolio monometil eteris ( $0,1 \text{ mg/m}^3$ ), etileno glikolio izopropileteris ( $0,22 \text{ mg/m}^3$ ), butil glikolatas ( $0,9 \text{ mg/m}^3$ ), 2-etilheksil acetatas ( $0,35 \text{ mg/m}^3$ ), tetrachloretenas ( $0,08 \text{ mg/m}^3$ ), tetrahidrofuranas ( $0,5 \text{ mg/m}^3$ ).

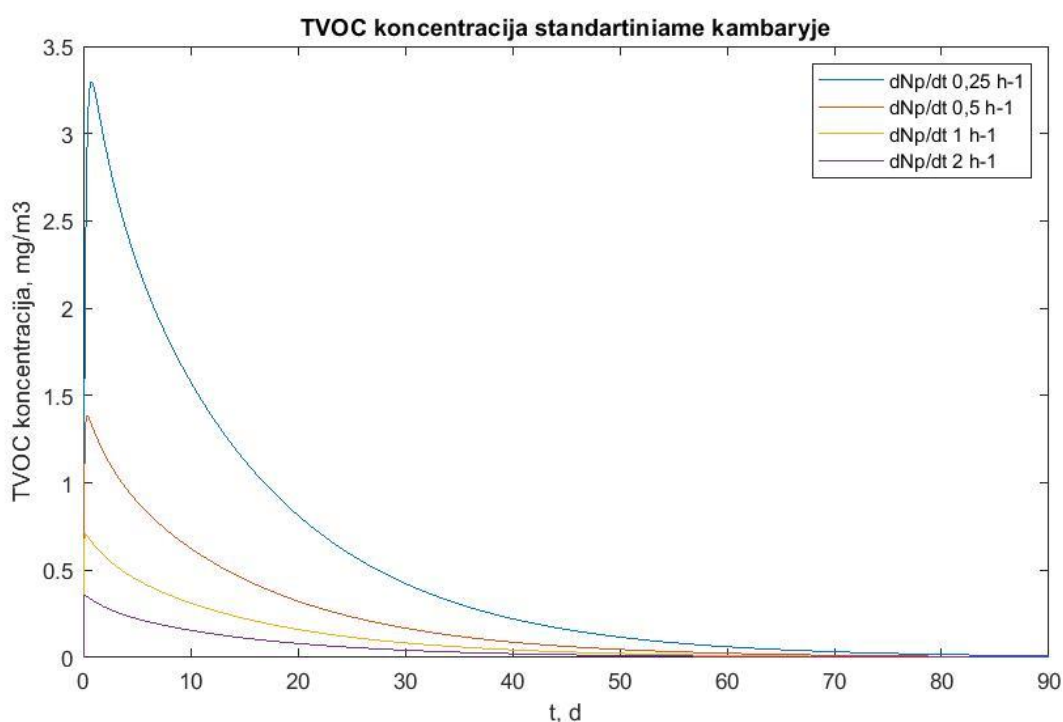
Iš sandariklių išsiskiriančių organinių junginių yra mažiausiai, 10, jų pavadinimai ir koncentracijos taip pat yra žinomos: propileno glikolis ( $2,1 \text{ mg/m}^3$ ), acto rūgštis ( $1,2 \text{ mg/m}^3$ ), etilbenzenas ( $0,85 \text{ mg/m}^3$ ), n-propilbenzenas ( $0,95 \text{ mg/m}^3$ ), 1-butanolis ( $3 \text{ mg/m}^3$ ), dipropileno glikolis ( $0,67 \text{ mg/m}^3$ ), dietileno glikolio monometilo eterio acetatas ( $0,85 \text{ mg/m}^3$ ), propileno glikolis ( $2,1 \text{ mg/m}^3$ ), etandiolis ( $3,4 \text{ mg/m}^3$ ), nonanalis ( $0,9 \text{ mg/m}^3$ ).

Kadangi, daugeliui iš šių medžiagų koncentracijos mažėjimo koeficientas nėra nustatytas, šis koeficientas buvo prilygintas  $0,0028 \text{ h}^{-1}$ , tai yra teršalų koncentracija statybinėse medžiagose sumažėja per pusę per 30 dienų.

### 3.9.1. Suminės teršalų koncentracijos modeliavimas standartiniame kambaryje

Iš grindų išsiskiriantiems organiniams junginiams, standartinio kambario simuliacijai, naudojome apkrovimo faktorių  $0,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , sienoms naudojome  $1 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , o sandarikliams  $0,07 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

Atlikus simuliacijas gavome štai tokį grafiką (28 pav.)



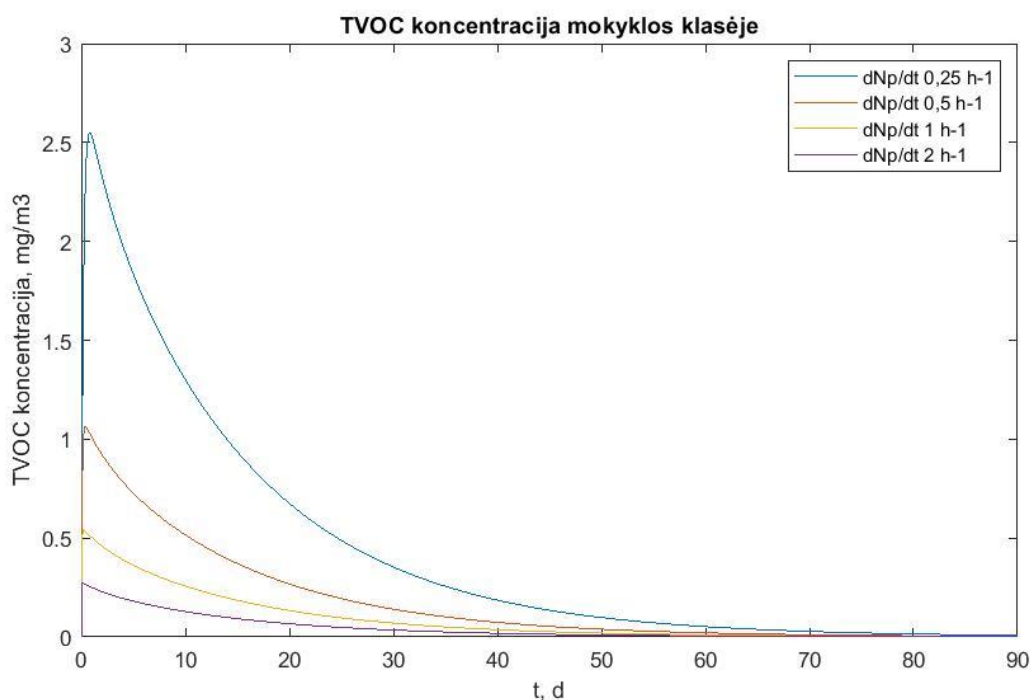
28 pav. BLOJ koncentracija standartiniame kambaryje

Kaip matome, bendra lakių organinių junginių koncentracija viršijo ribinę koncentraciją ( $1 \text{ mg/m}^3$ ), iš 3 lentelės, dviem atvejais, kai oro apytakos intensyvumas buvo  $0,25 \text{ h}^{-1}$  ir  $0,5 \text{ h}^{-1}$ . Esant  $0,5 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumui, bendra organinių junginių koncentracija patalpoje pakilo iki  $1,39 \text{ mg/m}^3$  per 9 valandas ir 30 minučių nuo modeliavimo pradžios ir sumažėjo iki ribinės per 3 dienas ir 16

valandų. Tačiau kai oro apytakos intensyvumas buvo  $0,25 \text{ h}^{-1}$ , koncentracijos maksimumas siekė net  $3,3 \text{ mg/m}^3$ , o nukrito iki ribinės vertės per 16 dienų ir 22 valandas.

### 3.9.2. Suminės teršalų koncentracijos modeliavimas mokyklos klasėje

Mokyklos klasės modeliavimui buvo naudojami tie patys lakių organiniai junginiai, tačiau apkrovimo faktorius buvo skirtingas tik sienoms ( $0,45 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ), kadangi taip sutapo, kad grindų ir sandariklių apkrovimo faktorius yra vienodas abiem scenarijams. Gauti simuliacijos rezultatai grafiškai pavaizduoti 29 paveiksle.



29 pav. BLOJ koncentracija mokyklos klasėje

Kaip matome, bendra lakių organinių junginių koncentracija buvo mažesnė šiam scenarijui, lyginant su standartiniu kambariu, tačiau taip pat, esant  $0,25 \text{ h}^{-1}$  ir  $0,5 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumams, ribinė vertė buvo viršyta. Bendros lakių organinių junginių (BLOJ) koncentracijos maksimumas, kai ventiliacijos intensyvumas  $0,25 \text{ h}^{-1}$ , siekė  $2,55 \text{ mg/m}^3$  ir nukrito iki ribinės vertės tik po 14 dienų po simuliacijos pradžios. Kitu atveju, kai oro apytakos intensyvumas buvo  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , maksimali koncentracija siekė  $1,06 \text{ mg/m}^3$ , tačiau jau po 1 dienos ir 3 valandų, ši koncentracija sumažėjo iki ribinės vertės.

## Išvados

1. Lakūs organiniai junginiai gali sukelti rimtų sveikatos sutrikimų žmonėms, kurie ypač daug laiko praleidžia pastatų patalpose. Per paskutinį dešimtmetį, įvairios sveikatos organizacijos atkreipia vis daugiau dėmesio į patalpų oro kokybės užtikrinimą ir steigia įvairias organizacijas bei normas, kurių dėka siekiama riboti lakių organinių teršalų išmetimą į patalpų orą. Naudojantis EU-LCI sąrašu siekiama paskatinti Europos Sąjungos šalis įvesti ribojimus taršioms medžiagoms statybiniuose produktuose. Įprastai, oro kokybė patalpose yra vertinama eksperimentiniu būdu - testavimo kamerų būdu, išmetimo celių būdu ar pasyviojo srauto imtuvais. Šie eksperimentiniai metodai neretai reikalauja daug lėšų ir laiko, todėl vis labiau populiarėja modeliavimo metodų naudojimas.
2. Šiame darbe, remiantis įvairių literatūrinių šaltinių informacija buvo sukurtas oro kokybės vertinimo modelis modelis naudojantis MATLAB paprograme „Simulink“. Koncentracijos modeliavimui buvo pasirinkti 8 organiniai junginiai: 3-karenas, formaldehidas, acetaldehidas, ksilenas, benzilo alkoholis, stirenas, toluenas ir  $\alpha$ -pinenas.
3. Atlikus modeliavimą standartiniame kambaryje, buvo nustatyta, kad nei vienos iš išvardintų lakių organinių junginių koncentracijos neviršijo ribinės vertės, kai ventiliacijos intensyvumas buvo  $1 \text{ h}^{-1}$  ir  $2 \text{ h}^{-1}$ . Prie oro apytakos intensyvumo  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , ribinė vertė buvo viršyta tik dviejų medžiagų – acetaldehido ir  $\alpha$ -pineno scenarijais, ir tik kai apkrovimo faktorius buvo didžiausias. Esant mažiausiam ventiliacijos intensyvumui ir didžiausiam apkrovimo faktoriui, patalpoje esančių teršalų koncentracija buvo didesnė nei ribinė vertė šiems junginiams: 3-kareniui, acetaldehidui, ksileniui, stireniui, tolueniui ir  $\alpha$ -pineniui. Formaldehido ir benzilo alkoholio koncentracijos standartinio kambario modeliavimo scenarijais, nei vienu atveju neviršijo leistinos ribinės vertės. Atlikus modeliavimą mokyklos klasėje, 3-kareno, acetaldehido, stireno, tolueno ir  $\alpha$ -pineno koncentracijos viršijo ribines vertes tik esant mažiausiam ventiliacijos intensyvumui. Formaldehido, ksileno ir benzilo alkoholio koncentracijos nei vienu atveju neviršijo ribinės vertės.  
Suminės teršalų koncentracijos modeliavimo rezultatai parodė, kad standartiniame kambaryje prie  $0,25 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumo, bendra lakių organinių junginių koncentracija viršijo leistiną ( $1 \text{ mg/m}^3$ ) koncentraciją daugiau nei 3 kartus. Taip pat buvo nepakankamas ir  $0,5 \text{ h}^{-1}$  oro srauto kitimo intensyvumas, kadangi maksimali koncentracija buvo  $1,39 \text{ mg/m}^3$ . Modeliavimas mokyklos klasėje parodė, kad  $0,5 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumas taip pat nebuvo pakankamas, o kai oro maišymosi dažnis  $0,25 \text{ h}^{-1}$ , koncentracijos maksimumas buvo  $2,55 \text{ mg/m}^3$  ir ribinė vertė, šiuo atveju buvo pasiekta per 14 dienų.
4. Ribinės koncentracijos viršijimas netgi esant komforto sąlygas atitinkančiam  $0,5 \text{ h}^{-1}$  ventiliacijos intensyvumui rodo, kad dabartinis lakių organinių junginių emisijos reglamentavimas remiantis EU-LCI metodika yra nepakankamas patenkinamai oro kokybei užtikrinti. Remiantis modeliavimo rezultatais, rekomenduotina vengti buvimo patalpose be priverstinės ventiliacijos ( $0,25 \text{ h}^{-1}$ ) vidutiniškai 15 dienų, o geriau vėdinamose patalpose ( $0,5 \text{ h}^{-1}$ ) 3 dienų nuo jų įrengimo ar renovacijos.

## Literatūros sąrašas

- [1] FERMO, P., *et al.* Improving indoor air quality through an air purifier able to reduce aerosol particulate matter (PM) and volatile organic compounds (VOCs): Experimental results. *Environmental Research*. 2021. ISSN 0013-9351.
- [2] BRANCO, P.T.B.S., R. A. O. NUNES, F. G. MARTINS, and S. I. V SOUSA. Children ' s exposure to indoor air in urban nurseries – Part II : Gaseous pollutants ' assessment. *Environmental Research*. 2015, vol. 142, no. 2, pp. 662–670. ISSN: 0013-9351
- [3] XU, H., *et al.* Comprehensive characterization and health assessment of occupational exposures to volatile organic compounds ( VOCs ) in Xi ' an , a major city of northwestern China. *Atmospheric Environment*. 2021, vol. 246. ISSN 1352-2310.
- [4] JAAKKOLA, J. J. K., M. JANTUNEN and M. KRZYZANOWSKI. ASSESSMENT OF EXPOSURE TO INDOOR AIR POLLUTANTS. 1997, no. 78, p. 155.
- [5] GUENTHER, A., C. GERON, T. PIERCE, B. LAMB, P. HARLEY, and R. FALL. Natural emissions of non-methane volatile organic compounds , carbon monoxide , and oxides of nitrogen from North America. *Atmospheric Environment*. 2000, vol. 34, p. 2205-2230.
- [6] LIU, Y., *et al.* Characteristics , secondary transformation , and health risk assessment of ambient volatile organic compounds ( VOCs ) in urban Beijing , China. *Atmospheric Pollution research*. 2021, vol. 12, pp. 33–46.
- [7] SCHRUBSOLE, C., S. DIMITROULOPOULOU, K. FOXALL, B. GADBERG, and A. DOUTSI. IAQ guidelines for selected volatile organic compounds ( VOCs ) in the UK. *Building Environment*. 2019, vol. 165, ISSN 0360-1323.
- [8] ARI, A., P. ERTURK, S. YENI, and E. O. GAGA. Source characterization and risk assessment of occupational exposure to volatile organic compounds ( VOCs ) in a barbecue restaurant. *Building and environment*. 2020, vol. 174.
- [9] CAMPAGNOLO, D., *et al.* VOCs and aldehydes source identi fi cation in European of fi ce buildings - The OFFICAIR study. *Building and environment*. 2017, vol. 115, pp. 18–24.
- [10] FRYE, J. What is VOC\_ – AllergyConsumerReview. 2016. .
- [11] OHURA, T., T. AMAGAI, X. SHEN, S. LI, P. ZHANG, and L. ZHU. Comparative study on indoor air quality in Japan and China : Characteristics of residential indoor and outdoor VOCs. *Atmospheric Environment*. 2009, vol. 43, no. 40, pp. 6352–6359.
- [12] SARKHOSH, M., *et al.* Indoor Air Quality associations with sick building syndrome : An application of decision tree technology. *Building and Environment*. 2021, vol. 188.
- [13] KOZIELSKA, B., A. MANIKA, M. ZAK, D. KALETA, and W. MUCHA. Indoor air quality in residential buildings in Upper Silesia , Poland. *Building and Environment*. 2020, vol. 177, no. 2, pp. 23–26.
- [14] ZHANG, D., B. HE, M. YUAN, S. YU, and S. YIN. Characteristics , sources and health risks assessment of VOCs in Zhengzhou , China during haze pollution season. *Journal of Environmental Sciences*. 2021, vol. 108, pp. 44–57, ISSN: 1001:0742.
- [15] YANG, Y., H. LUO, R. LIU, G. LI, Y. YU, and T. AN. Ecotoxicology and Environmental Safety The exposure risk of typical VOCs to the human beings via inhalation based on the respiratory deposition rates by proton transfer reaction-time of flight- mass spectrometer. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2020, vol. 197, ISSN: 0147-6513.
- [16] EPA. Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality \_ Indoor Air Quality (IAQ) \_ US EPA. 2021, [viewed on 2021-04-20], Available from: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>.
- [17] TAI, T. X., W. CHOOK, W. LAI, K. M. LEE, and J. C. JUAN. Effective photoreduction of graphene oxide for photodegradation of volatile organic compounds. *RSC Advances*. 2019.
- [18] Mentese, S. *et al.* A long-term multi-parametric monitoring study : Indoor air quality ( IAQ ) and the sources of the pollutants , prevalence of sick building syndrome ( SBS ) symptoms , and respiratory health indicators. *Atmospheric Pollution Research*. 2020, vol. 11, no. 12, pp. 2270–2281, ISSN: 1309-1042.

- [19] NORBACK, D., J. HISHAM, Z. HASHIM, and F. ALI. Science of the Total Environment Volatile organic compounds ( VOC ), formaldehyde and nitrogen dioxide ( NO<sub>2</sub> ) in schools in Johor Bahru , Malaysia : Associations with rhinitis , ocular , throat and dermal symptoms , headache and fatigue. *Science of the Total Environment*. 2017, vol. 592, pp. 153–160.
- [20] SUZUKI, N., H. NAKAOKA, Y. NAKAYAMA, K. TSUMURA, and K. TAKAGUCHI. Association between sum of volatile organic compounds and occurrence of building-related symptoms in humans : A study in real full-scale laboratory houses. *Science of the Total Environment*. 2021, vol. 750, ISSN: 0048-9697.
- [21] WHO. WHO guidelines for air quality. 1998, vol. 35, no. 8, pp. 812–815.
- [22] SETTIMO, G., M. MANIGRASSO, and P. AVINO. Indoor Air Quality : A Focus on the European Legislation and State-of-the-Art Research in Italy. 2020, pp. 1–19.
- [23] UMWELTBUNDESAMT. German Committee on Indoor Guide Values. 2021, [viewed on 2021-03-09] Available from: <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/health/commissions-working-groups/german-committee-on-indoor-guide-values#german-committeeon-indoor-guide-values>.
- [24] AGOF. AGÖF Guidance Values for Volatile Organic Compounds in Indoor Air. 2013, pp. 1–26.
- [25] DIMITRULOPOULOU, S., C. SHRUBSOLE, K. FOXALL, B. GADEBERG, and A. Doutsis. Indoor Air Quality Guidelines for selected Volatile Organic Compounds ( VOCs ) in the UK About Public Health England. 2019.
- [26] LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTRAS. Dėl Lietuvos higienos normos HN 35:2007 „Didžiausia leidžiama cheminių medžiagų (teršalų) koncentracija gyvenamosios ir visuomeninės paskirties pastatų patalpų ore “ patvirtinimo. 2016, vol. 7842, no. 55, pp. 1–14, 2016.
- [27] KEPAHALOPOULOS, Stylianos. *URBAN AIR , INDOOR ENVIRONMENT AND HUMAN EXPOSURE Environment and Quality of Life Harmonisation framework for health based evaluation of indoor emissions from construction products in the European Union using the EU-LCI concept*. 2013.
- [28] SCUTARU, A. M., and T. WITTERSEH. Risk mitigation for indoor air quality using the example of construction products – efforts towards a harmonization of the health-related evaluation in the EU. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2020, vol. 229, ISSN:1618131X.
- [29] WANG, H., J. ZHENG, T. YANG, Z. HE, P. ZHANG, and X. LIU. Predicting the emission characteristics of VOCs in a simulated vehicle cabin environment based on small-scale chamber tests : Parameter determination and validation. *Environment International*. 2020, vol. 142, ISSN: 0160-4120.
- [30] EVEN, M., C. HUTZLER, O. WILKE, and A. LUCH. Emissions of volatile organic compounds from polymer - based consumer products : Comparison of three emission chamber sizes. 2020, pp. 40–48.
- [31] XIONG, J., *et al.* Characterization of VOC emissions from composite wood furniture : Parameter determination and simplified model. *Building and Environment*. 2019, vol. 161 ISSN: 0360-1323.
- [32] HUANG, S., J. XIONG, and Y. ZHANG. A rapid and accurate method , ventilated chamber C-history method , of measuring the emission characteristic parameters of formaldehyde / VOCs in building materials. *Journal of Hazardous Materials*. 2013, vol. 261, pp. 542–549, ISSN: 0304-3894.
- [33] WI, S., *et al.* Evaluation and analysis of volatile organic compounds and formaldehyde emission of building products in accordance with legal standards : A statistical experimental study. *Journal of Hazardous Materials*. 2020, vol. 393, ISSN: 0304-3894.
- [34] HORI, H., S. ISHIMATSU, and Y. FUETA. Evaluation of a real-time method for monitoring volatile organic compounds in indoor air in a Japanese university. 2013, pp. 285–292.
- [35] KIM, Sumin., Hyun-joong Kim, and Suck-joong Moon. *Evaluation of VOC Emissions from*

- Building Finishing Materials Using a Small Chamber and VOC Analyser*. 2006, pp. 511–523, ISBN: 8228804784.
- [36] RIZK, M., *et al.* Impact of material emissions and sorption of volatile organic compounds on indoor air quality in a low energy building: Field measurements and modeling. *Indoor Air*. 2018, vol. 28, no. 6, pp. 924–935, ISSN: 16000668.
- [37] WOLKOFF, P., P. A. CLAUSEN, and E. PATTERNS. Field and Laboratory Emission Cell : FLEC. 2014.
- [38] AL-ALAM, J., M. LEVY, H. BA, and C. PHAM-HUU. Environmental Technology & Innovation Passive air samplers based on ceramic adsorbent for monitoring of organochlorine pesticides , polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in outdoor air. *Environmental Technology and Innovation*. 2020, vol. 20, ISSN: 2352-1864.
- [39] TISCH. Passive Air Samplers - Tisch Environmental. 2021. [viewed on 2021-02-05]. Available from: <https://tisch-env.com/specialty-equipment/passive-air-samplers>.
- [40] WANIA, F. and C. SHUNTHIRASINGHAM. Environmental Science chemicals. 2020, vol. 22, no. 10.
- [41] STRANDBERG, B., A. JULANDER, M. SJ, H. KOCA, and C. BIGERT. Evaluation of polyurethane foam passive air sampler ( PUF ) as a tool for occupational PAH measurements. *Chemosphere*. 2018, vol. 190, pp. 35–42.
- [42] GALLEGO, E., P. TEIXIDOR, F. JAVIER, J. FRANCISCO, and E. GADEA. Outdoor air 1 , 3-butadiene monitoring : Comparison of performance of Radiello ® passive samplers and active multi-sorbent bed tubes. *Atmospheric Environment*. 2018, vol. 182, pp. 9–16, ISSN: 1352-2310.
- [43] DUAN, Z., P. KJELDSSEN, and C. SCHEUTZ. Improving the analytical flexibility of thermal desorption in determining unknown VOC samples by using re-collection. *Science of Total Environment*. 2021, vol. 768, ISSN: 18791026.
- [44] D’AMICO, A., A. PINI, S. ZAZZINI, D. D’ALESSANDRO, G. LEUZZI, and E. CURRA. Modelling VOC emissions from building materials for healthy building design. *Sustainability*. 2021, vol. 13, no. 1, pp. 1–26, ISSN: 20711050.
- [45] SILVA, S., *et al.* Modelling indoor air quality: validation and sensitivity. *Air Quality, Atmosphere and Health*. 2017, vol. 10, no. 5, pp. 643–652, ISSN: 18739326.
- [46] NANDAN, Abishek., Nihal Anwar SIDDIQUI, and Pankaj KUMAR. Estimation of indoor air pollutant during photocopy/printing operation: a computational fluid dynamics (CFD)-based study. *Environmental Geochemistry and Health*. 2020, vol. 42, no. 11. Springer Netherlands, ISSN: 15732983.
- [47] BEHAVAN, Ali., Roman OBERMAISSER, and Amirbahador NASARI. Thermal dynamic modeling and simulation of a heating system for a multi-zone office building equipped with demand controlled ventilation using MATLAB/Simulink. *2017 International Conference on Circuits System and Simulation, ICCSS 2017*. 2017, pp. 103–108, ISBN: 9781538603925.
- [48] MIKUCKAS, A., *et al.* A grey model approach to indoor air quality management in rooms based on real-time sensing of particles and volatile organic compounds. *Applied Mathematical Modelling*. 2017, vol. 42, pp. 290–299, ISSN: 0307-904X.
- [49] LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 16000-9:2006]. Patalpų oras. 9 dalis. Lakiųjų organinių junginių išsiskyrimo iš statybinių gaminių ir apstatymo reikmenų nustatymas. Išsiskyrimo tyrimo kameros metodas (ISO 1600-9:2006). Europos standartas EN ISO 16000-9:2006 turi Lietuvos standarto statusą. Vilnius, Lietuvos standartizacijos departamentas, 2006.
- [50] GUO, Z. Review of indoor emission source models. Part 1. Overview. *Environmental Pollution*. 2002, vol. 120, no. 3, pp. 533–549, ISSN: 02697491.
- [51] LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 16516:2017+A1] Statybiniai gaminiai. Pavojingųjų medžiagų išsiskyrimo vertinimas. Medžiagų, išsiskiriančių į patalpų orą nustatymas. Europos standartas EN 16516:2017+A1:2020 turi Lietuvos standarto statusą. Vilnius, Lietuvos standartizacijos departamentas, 2020.

- [52] LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTRAS. Dėl Lietuvos higienos normos HN 21:2017 "Mokykla vykdanči bendrojo ugdymo programas. Bendrieji sveikatos saugos reikalavimai" patvirtinimo. 2020.
- [53] WEI, W., Y. ZHANG, J. XIONG, and M. LI. A standard reference for chamber testing of material VOC emissions : Design principle and performance. 2012, vol. 47.
- [54] HYTTINEN, M., M. MASALIN-WEIJO, P. KALLIKOSKI, and P. PASANEN. Comparison of VOC emissions between air-dried and heat-treated Norway spruce ( *Picea abies* ), Scots pine ( *Pinus sylvestris* ) and European aspen ( *Populus tremula* ) wood. *Atmospheric Environment*. 2010, vol. 44, no. 38, ISSN: 1352-2310.
- [55] WANG, Y., *et al.* A general regression method for accurately determining the key parameters of VOC emissions from building materials / furniture in a ventilated chamber. *Atmospheric Environment*. 2020, vol. 231, ISSN: 1352-2310.
- [56] HARB, P., N. LOCOGE, and F. THEVENET. Emissions and treatment of VOCs emitted from wood-based construction materials : Impact on indoor air quality. *Chemical Engineering Journal*. 2018, vol. 354, pp. 641–652, ISSN: 1385-8947.