



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS  
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS  
APLINKOS APSAUGOS IR VANDENS INŽINERIJOS KATEDRA

Monika Gurklytė

**NEORGANINIŲ TERŠALŲ IŠ PATALPŲ ORO VALYMO, NAUDOJANT  
SKIRTINGUS KAMBARINIUS AUGALUS, EKSPERIMENTINIAI  
TYRIMAI IR VERTINIMAS**

**EXPERIMENTAL RESEARCH AND EVALUATION OF INDOOR AIR  
PURIFICATION FROM INORGANIC POLLUTANTS USING DIFFERENT**

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos apsaugos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX033  
Aplinkos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2021

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS  
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS  
APLINKOS APSAUGOS IR VANDENS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU  
Katedros vedėjas

\_\_\_\_\_  
(Parašas)

\_\_\_\_\_  
(Vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(Data)

Monika Gurklytė

**NEORGANINIŲ TERŠALŲ IŠ PATALPŲ ORO VALYMO, NAUDOJANT  
SKIRTINGUS KAMBARINIUS AUGALUS, EKSPERIMENTINIAI  
TYRIMAI IR VERTINIMAS**

**EXPERIMENTAL RESEARCH AND EVALUATION OF INDOOR AIR  
PURIFICATION FROM INORGANIC POLLUTANTS USING DIFFERENT**

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos apsaugos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX033  
Aplinkos inžinerijos studijų kryptis

**Vadovas**

doc.dr Rasa Vaiškūnaitė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(Parašas)

\_\_\_\_\_  
(Data)

**Konsultantas**

doc.dr Marina Valentukevičienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(Parašas)

\_\_\_\_\_  
(Data)

**Lietuvių kalbos konsultantas**

dr. Aušra Žemienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(Parašas)

\_\_\_\_\_  
(Data)

Vilnius, 2021

Vilniaus Gedimino technikos universitetas  
Aplinkos inžinerijos fakultetas  
Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra

ISBN ..... ISSN .....  
Egz. sk. ....  
Data .....-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Aplinkos inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Neorganinių teršalų iš patalpų oro valymo, naudojant skirtingus kambarinius augalus, eksperimentiniai tyrimai ir vertinimas**

Autorius **Monika Gürklytė**

Vadovas **Rasa Vaiškūnaitė**

**Kalba:** lietuvių

#### **Anotacija**

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamos patalpų oro teršalų valymo galimybės naudojant kambarinius augalus. Buvo iškeltas darbo tikslas – eksperimentinių tyrimų metu įvertinti teršalų iš oro valymo, naudojant kambarinius augalus kaip filtracijos priemones, galimybes.

Pirmajame skyriuje atlikta literatūros šaltinių analizė, kuria remiantis buvo išanalizuoti patalpų oro taršos šaltiniai, išnagrinėti pasaulyje naudojami oro kokybės matavimai, įvertinti oro valymo metodai botaninėmis sistemomis, mikroorganizmais. Taip pat nustatyta teršalų skaidymo priklausomybė nuo temperatūros ir šviesos intensyvumo. Pateiktos pirmojo skyriaus išvados.

Antrajame skyriuje atliktas eksperimentinis tyrimas naudojant kambarinius augalus teršalų pašalinimui. Pateikta oro valymo nuo teršalų su kambariniais augalais tyrimų metodika ir išvados.

Trečiajame skyriuje išanalizuoti eksperimentinio tyrimo rezultatai, pateiktos išvados.

Ketvirtajame skyriuje pateikta oro valymo kambariniais augalais efektyvumo modeliavimo metodika, gautų rezultatų analizė bei išvados. Išnagrinėjus teorinius ir praktinius eksperimentinio tyrimo rezultatus pateiktos darbo išvados.

Darbą sudaro 8 dalys: įvadas, literatūrinė apžvalga, oro valymo kambariniais augalais efektyvumo eksperimentinių tyrimų metodika, rezultatai, modeliavimo skyrius, išvados, rekomendacijos, naudotos literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 58 p. teksto be priedų, 24 iliustracijos, 53 bibliografiniai šaltiniai.

Raktiniai žodžiai: neorganiniai teršalai, kambariniai augalai, šviesos intensyvumas, sieros dioksidas, azoto oksidas, pelargonija, kuokštinis chlorofitas.

**Prasminiai žodžiai:** Neorganiniai teršalai, kambariniai augalai, šviesos intensyvumas, sieros dioksidas, azoto oksidas, pelargonija, kuokštinis chlorofitas.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Vilnius Gediminas Technical University<br>Faculty of Environmental Engineering<br>Department of Environment Protection and Water Engineering                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ISBN                      ISSN<br>Copies No. ....<br>Date .....-.....-..... |
| Master Degree Studies <b>Environmental Engineering</b> study programme Master Final Thesis<br>Title <b>Experimental Research and Evaluation of Indoor Air Purification from Inorganic Pollutants Using Different</b><br>Author <b>Monika Gurklytė</b><br>Academic supervisor <b>Rasa Vaiškūnaitė</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                             |
| <b>Thesis language:</b> Lithuanian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                             |
| <b>Annotation</b><br><p>This Master Thesis discusses possibilities to clean the indoor air pollution using the indoors plants. Aim: during the experimental research to assess the possibilities to clean the indoor air pollution using the indoor plants, as filters.</p> <p>The first part presents the analysis of literature sources, grounding the indoors pollution sources; examines the international air quality measures, assesses the air pollution cleaning methods using botanic systems and microorganisms; identifies ratio of pollutant degradation and the indoors temperature/light intensity. The conclusions are introduced, as well.</p> <p>The second part presents the experimental research, cleaning the pollution with indoor plants., its methodology and conclusions.</p> <p>The third part presents the analysis of the results of the research and the conclusions.</p> <p>The forth part presents the methodology of modeling the productivity for indoors pollution cleaning with the plants; introduces the analysis of the results and the conclusions. The Thesis conclusions are presented pursuant to theoretical and practical experimental research results.</p> <p>The Thesis consists of 8 parts: the Introduction, the Summary of Literature, the Methodology of productivity for indoors pollution cleaning with the plants, the Results, the Modeling, the Conclusions, the Recommendations, the References.</p> <p>Volume – 58 pages of the text without attachments, 24 figures, 53 sources of bibliography.</p> |                                                                             |
| <b>Keywords:</b> Non-organic pollutants, indoor plants, light intensity, sierra dioxide, nitrogen oxide, Pelargonium, Chlorophytum comosum.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                             |

## TURINYS

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| PAVEIKSLŲ IR LENTELIŲ SĄRAŠAS.....                                                | 7  |
| ĮVADAS .....                                                                      | 9  |
| 1. LITERATŪROS APŽVALGA .....                                                     | 11 |
| 1.1. Patalpų oro taršos šaltiniai .....                                           | 11 |
| 1.2. Susidarančių teršalų charakteristika.....                                    | 13 |
| 1.3. Pasaulyje atlikti tyrimai patalpų oro kokybei įvertinti.....                 | 14 |
| 1.4. Augalų reakcija į teršalus.....                                              | 17 |
| 1.5. Patalpų oro valymo metodų įvertinimas .....                                  | 19 |
| 1.5.1. Patalpų oro valymas vėdinimo sistemomis .....                              | 21 |
| 1.5.2. Patalpų oro valymas botaninėmis sistemomis.....                            | 21 |
| 1.5.3. Teršalų pašalinimas antžeminėmis augalo dalimis .....                      | 24 |
| 1.5.4. Teršalų pašalinimas mikroorganizmais .....                                 | 26 |
| 1.5.5. Augalų rūšys.....                                                          | 26 |
| 1.5.6. Šviesos įtaka teršalų skaidymui .....                                      | 27 |
| 1.5.7. Temperatūros įtaka teršalų skaidymui.....                                  | 27 |
| PIRMOJO SKYRIAUS IŠVADOS.....                                                     | 29 |
| 2. MEDŽIAGOS IR TYRIMO METODIKOS .....                                            | 30 |
| 2.1. Tiriamieji augalai .....                                                     | 30 |
| 2.2. Tyrime naudojamos medžiagos .....                                            | 30 |
| 2.3. Tyrimo eiga.....                                                             | 31 |
| ANTROJO SKYRIAUS IŠVADOS.....                                                     | 33 |
| 3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ.....                                           | 34 |
| TREČIOJO SKYRIAUS IŠVADOS .....                                                   | 48 |
| 4. ŠALINAMŲ ORO TERŠALŲ SU KAMBARINIAIS AUGALAIS MATEMATINIS<br>MODELIAVIMAS..... | 49 |
| 4.1. Efektyvumo vertinimo modeliavimo metodika .....                              | 49 |
| 4.2. Augalų lapo ploto nustatymas.....                                            | 50 |
| 4.3. Teršalų šalinimo efektyvumo modeliavimo rezultatai ir jų vertinimas .....    | 51 |
| KETVIRTOJO SKYRIAUS IŠVADOS .....                                                 | 55 |
| BENDROSIOS IŠVADOS.....                                                           | 56 |
| REKOMENDACIJOS .....                                                              | 57 |
| LITERATŪROS SĄRAŠAS.....                                                          | 58 |
| PRIEDAI .....                                                                     | 58 |

## SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

LOJ – lakieji organiniai junginiai.

KD – kietosios dalelės.

KD10 – iki 10  $\mu\text{m}$  dydžio kietosios dalelės.

KD2,5 – iki 2,5  $\mu\text{m}$  dydžio kietosios dalelės.

$\text{NO}_x$  – azoto oksidai.

$\text{NO}$  – azoto monoksidas.

$\text{NO}_2$  – azoto dioksidas.

$\text{CO}$  – anglies monoksidas.

$\text{CO}_2$  – anglies dioksidas.

$\text{SO}_2$  – sieros dioksidas.

EPA – Aplinkos apsaugos agentūra (angl. Environment Protection Agency).

HN – higienos norma.

ppm – dujų koncentracijos matavimo vienetas – milijoninė dalis (angl. parts per million).

$\text{mg}/\text{m}^3$  – miligramai kubiniame metre.

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  – mikrogramai kubiniame metre.

# PAVEIKSLŲ IR LENTELIŲ SĄRAŠAS

## LENTELĖS

**1.1 lentelė.** Patalpų oro valymo technologijų palyginimas (sudaryta darbo autorės remiantis Stankevičius, 2015)

**1.2 lentelė.** Skirtingi augalai ir absorbuojamieji teršalai

## PAVEIKSLAI

**1.1 pav.** Iš kietu kuru kūrenamų šildymo sistemų išsiskiriantys teršalai (Li et al., 2017)

**1.2 pav.** Veiksniai darantys įtaką patalpų oro kokybei (Europos komisijos jungtinių tyrimų centras, 2019).

**1.3 pav.** Fotokatalizės veikimo principas (Šaltinis: UAB „Krilita“)

**1.4 pav.** Pasyvioji biofiltracija gyvenamųjų patalpų ore (Brilli et. Al., 2018)

**1.5 pav.** CAM (1) ir kitų augalų (2) fotosintezės vykdymo laikas (Malinauskaitė, 2018)

**3.1 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant pelargoniją, po pirmos eksperimento dienos kai pradinė koncentracija SO<sub>2</sub> 69 µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės).

**3.2 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant pelargoniją, po antros eksperimento dienos kai pradinė koncentracija SO<sub>2</sub> 67 µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės).

**3.3 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant pelargoniją, po trečios eksperimento dienos kai pradinė koncentracija SO<sub>2</sub> 66 µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės).

**3.4 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant kuokštinį chlorofitą, po pirmos eksperimento dienos kai pradinė koncentracija NO<sub>x</sub> 133 µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės).

**3.5 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant kuokštinį chlorofitą, po antros eksperimento dienos kai pradinė koncentracija NO<sub>x</sub> 130 µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės).

**3.6 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant kuokštinį chlorofitą, po trečios eksperimento dienos kai pradinė koncentracija NO<sub>x</sub> 131 µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės).

**3.7 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant pelargoniją, po pirmos eksperimento dienos kai pradinė koncentracija NO<sub>x</sub> 135 µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės).

**3.8 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant pelargoniją, po antros eksperimento dienos kai pradinė koncentracija NO<sub>x</sub> 136 µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės).

**3.9 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant pelargoniją, po trečios eksperimento dienos kai pradinė koncentracija NO<sub>x</sub> 134 µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės).

**3.10 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant kuokštinį chlorofitą, po pirmos eksperimento dienos kai pradinė koncentracija SO<sub>2</sub> 67 µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės s).

**3.11 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant kuokštinį chlorofitą, po antros eksperimento dienos kai pradinė koncentracija SO<sub>2</sub> 64 µg/m<sup>3</sup> µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės).

**3.12 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant kuokštinį chlorofitą, po trečios eksperimento dienos kai pradinė koncentracija SO<sub>2</sub> 65 µg/m<sup>3</sup> µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės).

**4.1 pav.** Lapo ploto skaičiavimas ImageJ programa. a) kuokštinio chlorofito (lot. *Chlorophytum comosum*) lapas, b) pelargonijos (lot. *Pelargonium zonale*) lapas (Nuotrauka autorės)

**4.2 pav.** Modeliavimo metu gauto SO<sub>2</sub> šalinamo su pelargonija efektyvumo priklausomybė nuo šviesos intensyvumo, kai pradinė koncentracija yra 69 µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės)

**4.3 pav.** Modeliavimo metu gauto NO<sub>x</sub> šalinamo su kuokštiniu chlorofitu efektyvumo priklausomybė nuo šviesos intensyvumo, kai pradinė koncentracija yra 133 µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės)

**4.4 pav.** Modeliavimo metu gauto  $\text{NO}_x$  šalinamo su pelargonija efektyvumo priklausomybė nuo šviesos intensyvumo, kai pradinė koncentracija yra  $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (sudaryta autorės)

**4.5 pav.** Modeliavimo metu gauto  $\text{SO}_2$  šalinamo su kuokštiniu chlorofitu efektyvumo priklausomybė nuo šviesos intensyvumo, kai pradinė koncentracija yra  $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (sudaryta autorės)

## IVADAS

### Problema

Didžiąją dalį savo laiko žmonės praleidžia uždaroje patalpose. Remiantis pasaulio sveikatos organizacijos duomenimis, uždaroje patalpose praleidžiama apie 90–80 % viso laiko – apie 70 % darbo vietose ir apie 20 % savo namuose.

Aplinkos apsaugos agentūros duomenimis, uždarų patalpų oras yra 2 – 5 kartus labiau užterštas nei aplinkos oras. Patalpų teršalai gali atsirasti dėl rūkymo, kietojo kuro – anglies ir biomasės energijos naudojimo, iš statybinių medžiagų ir baldų, buitinės chemijos naudojimo. Pastaruosius dešimtmečius patalpų ore esanti tarša didėja dėl energijos tausojimo: dažnai suprojektuojama nepakankama ventiliacija, kuri užtikrintų tinkamus oro srautus patalpose ar sintetinių medžiagų naudojimo statybinėse medžiagose, o vėliau ir balduose, asmeninės priežiūros priemonėse, namų valymo priemonėse bei kituose gaminiuose, kuriuos naudojame kiekvieną dieną (Fernandes et al., 2008).

Pagrindiniai patalpų oro teršalai: neorganiniai junginiai, anglies monoksidas, azoto oksidai, sieros oksidai, ozonas ir kitos medžiagos (Chauhan et al., 2017). Neorganiniai dujiniai junginiai (pvz., azoto oksidai ( $\text{NO}_x$ ) ir sieros dioksidas ( $\text{SO}_2$ ), yra gaunami deginant iškastinį kurą, naudojant žibalo šildytuvus, dujinius prietaisus (pvz.: krosnys, orkaitės, medienos krosnys, dujiniai karšto vandens šildytuvai), taip pat tabako dūmų, iš lauko patenkančių šaltinių, kelių transporto, elektrinių, naftos perdirbimo įmonių. Nors individualių namuose esantis teršalų lygis paprastai yra mažesnis nei nustatyta leistina riba, tačiau jungtinis teršalų lygis (sinerginis ir ilgalaikis jų poveikis), yra pagrindinė priežastis, galinti sukelti ligas (Smith, 2002).

Patalpų oro kokybę galima pagerinti pritaikant pažangius vėdinimo metodus. Vienas iš vėdinimo metodų – botaninė filtracija. Augalai turi didelį potencialą šalinant daugelį patalpų ore esančių teršalų, vieni iš jų – neorganiniai junginiai (Burchett et al., 2010).

### Darbo aktualumas

Jau seniai ieškoma būdų oro teršalams uždaroje patalpose mažinti. Oro kokybė pastatų patalpose, kur žmonės praleidžia didžiausią savo gyvenimo dalį, yra esminis sveiko gyvenimo ir gerovės veiksnys. Neorganiniai teršalai pasižymi kancerogeniniu ir mutageniniu poveikiu, todėl yra onkologinių susirgimų, biologinių organizmų augimo ir vystymosi sutrikimo, susilpnėjusiu imuniteto, pažeistų reproduktyviųjų funkcijų priežastis.

Patalpų oro taršos poveikis žmogui yra neigiamas ir gali padaryti nepataisomą žalą organizmui. Taigi yra svarbu tinkamai išnaudoti namuose esančias filtracijos priemones – kambarinius augalus.

**Darbo tikslas** – eksperimentinių tyrimu metu įvertinti teršalų iš oro valymo, naudojant kambarinius augalus kaip filtracijos priemones, galimybes.

### Darbo uždaviniai:

1. Įvertinti Lietuvoje ir pasaulyje atliktus oro valymo, naudojant kambarinius augalus, mokslinius tyrimus.
2. Eksperimentiniais tyrimais įrodyti kambarinių augalų kaip filtravimo priemonių efektyvumą šalinant iš oro neorganinius teršalus: kuokštiniu chlorofitu (lot. *Chlorophytum comosum*) –  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , ir pelargonija (lot. *Pelargonium zonale*) –  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ;
3. Nustatyti oro valymo efektyvumą  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , naudojant kambarinius augalus kuokštinį chlorofitą (lot. *Chlorophytum comosum*) ir pelargoniją (lot. *Pelargonium zonale*) palaikant skirtingas sąlygas: priklausomai nuo apšvietimo patalpoje ir augalų su teršalu kontakto laiką.

4. Remiantis atliktų tyrimų rezultatais ir iš esmės įvertinus teršalų iš oro valymo su kambariniais augalais efektyvumą atlikti matematinį oro taršos modeliavimą.
5. Atlikus kompleksinius tyrimus bei įvertinus jų rezultatus, teikti rekomendacijas dėl augalų kaip oro filtravimo priemonių naudojimo efektyvumo.

#### **Darbo naujumas**

Kaip efektyviai skirtingomis kambarinių augalų rūšimis valomas oras, priklausomai nuo apšvietimo patalpoje ir augalų kontakto laiko su teršalais.

#### **Praktinė darbo vertė**

Atlikti eksperimentiniai tyrimai bei jų metu gauti rezultatai turėtų parodyti, ar kambariniai augalai gali būti sėkmingai naudojami šalinant neorganinius teršalus.

#### **Darbo hipotezė:**

1. Neorganinius teršalus iš patalpų oro galima valyti su kambariniais augalais;
2. Neorganinių teršalų iš patalpų oro valymas su kambariniais augalais priklauso nuo šviesos intensyvumo.

# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

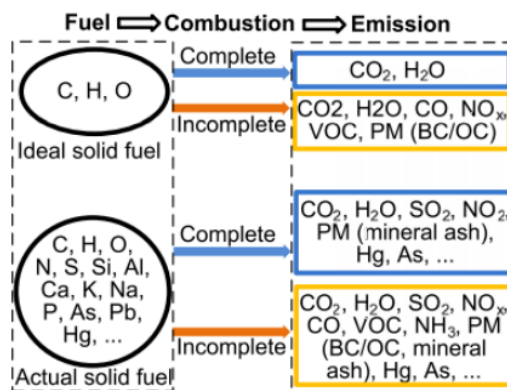
## 1.1. Patalpų oro taršos šaltiniai

Taršos šaltinių esančių patalpose galima rasti itin didelį kiekį. Taršos šaltiniai gali skleisti vienos ar daugiau rūšių teršalus, o tai priklauso nuo taršos pobūdžio (Kalimeri et al., 2016). Patalpų ore pagrindinė tarša atsiranda dėl namų ūkio veiklos, statybinių medžiagų, baldų, įvairių oro gaiviklių ar įvairios buitinės chemijos naudojimo namų ir gamyklinėje aplinkoje.

Oro užterštumo tyrimai patalpose yra atliekami gan plačiai. Štai Europos komisijos leidinyje „*SINPHONIE Oro tarša ir sveikata mokyklose – Europos stebėsenos tinklas*“ yra aprašomi tyrimai su tarša mokyklų patalpose. Leidinyje aprašomose Graikijos mokyklose buvo atlikti tyrimai, kur buvo matuojamas oro užterštumas nuo įvairių taršos šaltinių, kuriuos galima rasti įvairiose mokyklų patalpose. Graikijoje yra du energijos vartojimo efektyvumo teisės aktai, kuriuose atsižvelgiama į vėdinimą. Abiejuose teisės aktuose didžiausias dėmesys skiriamas energetikai. Nuo jų priklauso patalpų oro kokybė pastatuose. Šiame tyrime buvo nustatytos kelios teršalų grupės tiek nuo vieno iš pasirinkto tyrimo objekto, tiek iš įvairių medžiagų kombinacijų pvz., baldų, statybinių medžiagų. Po tyrimo nustatyta, kad teršalų kiekiai nebuvo labai dideli, tačiau ilgalaikis poveikis galėjo padaryti ilgalaikės ir neigiamos įtakos mokinių sveikatai (Kephelopoulou et al., 2014).

Oro kokybei įvairių patalpų erdvėse didelę įtaką daro žmogus ir jo sukeliama veikla (Frontczak & Wargocki, 2011). Žmogus kvėpuodamas į orą skleidžia – CO<sub>2</sub>. Kuo žmogus ilgiau būna patalpoje, tuo šios grupės teršalų koncentracija didesnė. Priklausomai nuo žmonių skaičiaus koncentracija gali kisti nuo kelių iki keliolikos kartų (Jonaitis, 2016). Dar vienas ir vienas didžiausių CO<sub>2</sub> taršos šaltinių patalpose gali būti kieto kuro katilai, kurie yra naudojami patalpų šildymui (Krivickas, 2007).

Iš kieto kuro išsiskiriantys teršalai gali būti labai įvairūs: neorganiniai junginiai, lakieji organiniai junginiai, policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAA), kietosios dalelės, CO<sub>2</sub> ir smulkės (Čepanko & Baltrėnas, 2009). Kinijoje buvo atlikti tyrimai kuomet buvo tiriama šildymo sistemų ir naudojamo kuro įtaka oro kokybei patalpose (Li et al., 2017). Iš kietu kuru kūrenamų šildymo sistemų išsiskiriantys teršalai pateikti 1.1 paveiksle.



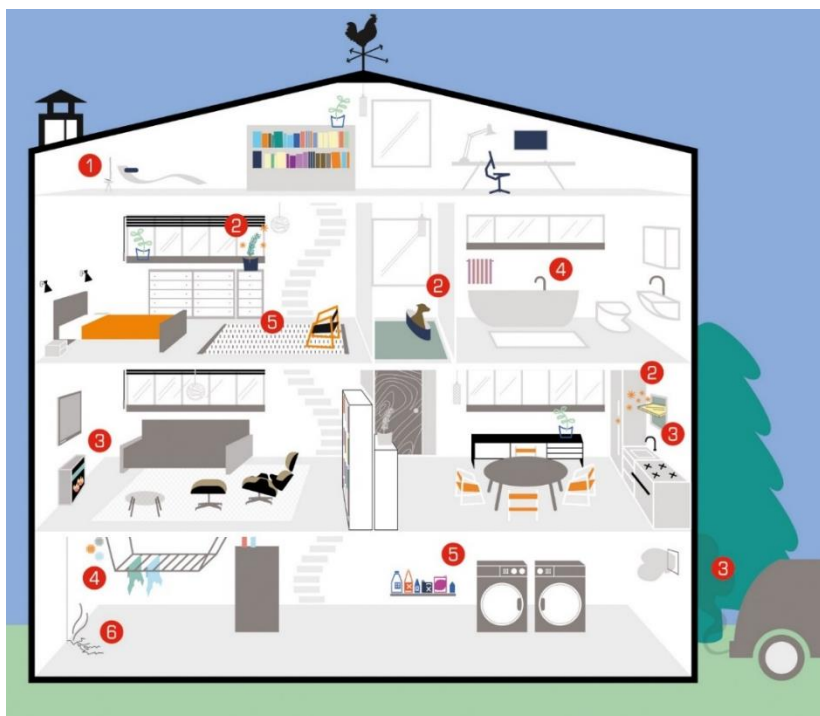
1.1 pav. Iš kietu kuru kūrenamų šildymo sistemų išsiskiriantys teršalai (Li et al., 2017)

Oro kokybei patalpose turi įtakos ir lauke esanti tarša. Šalia gyvenamųjų namų esančios gatvės, kuriose yra gausus ir intensyvus įvairios rūšies transporto eismas, turi itin didelę įtaką patalpų oro kokybei. Taip yra dėl transporto priemonių emisijos rodiklių. O situacija itin blogėja

kai patalpos yra vėdinamos atveriant langus – tokiu būdu CO<sub>2</sub> koncentracija sumažėja, tačiau KD ir NO<sub>x</sub> koncentracija gaunama iš aplinkos ir patenkanti į patalpas padidėja (Leung, 2015).

Fernandes su kitais autoriais (2008), patalpų taršos šaltinius suskirstė į tokias 5 grupes:

1. Aplinkos oro tarša. Šiai grupei yra priskiriami įvairūs eismo, miesto ir pramoniniai teršalai, kurie patenką į pastatų vidų per nesandarias pastato konstrukcijas arba ventiliacijos sistemas.
2. Baldai bei statybinės medžiagos. Čia priskiriamos grindų, sienų dangos, dažai, lakai, įvairios izoliacinės medžiagos.
3. Pastatų gyventojai ir jų veikla. Šioje grupėje yra priskiriami tokie veiksniai, kuriuose taršą sukelia patys gyventojai ir jų vykdomos veiklos. Tai rūkymas, gyvūnų laikymas, maisto gaminimas, cheminių priemonių skirtų valymui, dezinfekcijai naudojimas.
4. Įvairūs patalpose vykstantys procesai. Sudaro: kondicionavimas, deginimas, vėdinimas ir šildymas.
5. Vanduo ir dirvožemis. Šioje grupėje patalpų teršalai susidaro netinkamai tiekiant ar renkant panaudotą vandenį. Taip pat įtakos gali turėti netinkamoje vietoje įrengtas gyvenamasis pastatas, dėl kurio gali padidėti radono dujų koncentracija.



**1.2 pav.** Veiksniai darančius įtaką patalpų oro kokybei (Europos komisijos jungtinių tyrimų centras, 2019).

Remiantis Europos komisijos Jungtinių tyrimų centro duomenimis, yra išskirti gyvenamųjų patalpų ore susidarantys taršos šaltiniai (žr. 1.2 paveikslą). Yra formuojamos 6 grupės:

1. Gyvenamojo namo šildymo sistemose susidaranti oro tarša.
2. Tarša susidaranti dėl patalpų oro ventiliacijos, laikomų augintinių, maisto gaminimo.
3. Iš statybinių medžiagų susidaranti oro tarša, taip pat tarša patenkanti iš aplinkos oro.

4. Iš naudojamos buitinės chemijos susidaranti oro tarša. Įvairūs oro gaivikliai, skalbimo priemonės, žmonių higienos reikmenys.

5. Kilimai, kuriuose galima surasti ir mikrobiologinės taršos.

6. Iš dirvožemio į patalpas patenkantis radonas.

Didesnę dalį smulkiau išskirtų patalpų ore susidaranti taršos šaltinių išskyrė Stankevičius (2015):

- kilimai;
- vinilinės grindys;
- kiliminės dangos;
- dažytos grindys;
- hidroizoliacinio sluoksnio membrana;
- vinilo tapetai;
- emulsiniai sienų dažai;
- sienų izoliacinės medžiagos;
- sandarinimo medžiagos;
- cheminiu valymu išvalyti drabužiai;
- skalbimo, valymo priemonės;
- higienos reikmenys;
- sijų mediena;
- užuolaidos;
- vinilo klėjai;
- atvira ugnis ir jos šaltiniai;
- parfumerija;
- medžio dulkių plokščių grindys;
- aerozoliai nuo vabzdžių ir erkių;
- oro gaivikliai;
- spausdinimas;
- pesticidai;
- gėlių trąšos;
- klėjai.

Išnagrinėjus patalpų oro taršos šaltinius galima teigti, kad patalpose susidaranti oro taršos priežastys yra labai įvairios. Tai yra žmogaus veiklos, naudojamos statybinės medžiagos, buitiniai procesai ir kita. Taip pat oro kokybę blogina ir iš lauko į patalpas patenkantis atmosferos oras kartu su teršalais (Stankevičius, 2015; Fernandes et al., 2008; Leung, 2015).

## **1.2. Susidaranti teršalų charakteristika**

Oro tarša – tai didžiulė viso pasaulio problema, ją gali sukelti žmogaus vykdoma veikla arba gamtiniai reiškiniai. Oro taršos šaltiniai skirstomi į:

- Gamtiniai oro taršos šaltiniai. Jie gali būti – smėlio audros, vulkanų išsiveržimai, vėjai, erozija ir kiti.
- Antropogeniniai oro taršos šaltiniai. Jie gali susidaryti perdurbant atliekas, pramoninėje veikloje bei vykdam užkinę veiklą.

Pagal cheminę prigimtį oro taršos šaltiniai gali būti redukciniai ir oksidaciniai. Dar kitaip vadinami pirminiais ir antriniais teršalais. Dėl nepilno anglies sudegimo susidaro redukcinė tarša – susidaro sieros dioksidas ( $\text{SO}_2$ ). Dėl automobilių motorų išmetamų dujų, atmosferinių reakcijų metu susidaro oksidacinė oro tarša (azoto oksidai ( $\text{NO}_x$ )) (Juknys, 2005).

$\text{NO}_2$  dujos yra aštraus kvapo, rausvai rudos spalvos. Šios dujos yra visų degimo procesų produktas, o daugiausia į atmosferą jų patenka su transporto priemonių išmetamosiomis dujomis bei deginant kurą šildymo įrenginiuose. Dažniausiai į aplinką patenka azoto oksido ( $\text{NO}_x$ ) pavidalu, tačiau įprastomis atmosferos sąlygomis išskirtas  $\text{NO}_x$  savaime oksiduojasi iki  $\text{NO}_2$ , kuris yra kenksmingas sveikatai (Esplugues et al., 2010).

$\text{NO}_x$  susidaro degimo procesuose esant aukštai temperatūrai. Pradžioje susidaro azoto monoksidas  $\text{NO}$ , o esant pakankamai deguonies,  $\text{NO}$  lengvai oksiduojasi iki kenksmingo  $\text{NO}_2$ . Kadangi visas  $\text{NO}$  virsta  $\text{NO}_2$ , tai bendras  $\text{NO}_x$  kiekis išmetamose dujose skaičiuojamas kaip  $\text{NO}_2$  kiekis (Denafas, 2000).

Aplinkos ore esančius  $\text{NO}_x$  teršalus galima užuosti uoslės pagalba. Remiantis mokslinėmis publikacijomis, žmogaus uoslė gali užuosti ir pajauti  $0,23 \text{ mg/m}^3$  koncentraciją. Tokia koncentracija yra vadinama aptikimo riba, tačiau po maždaug 10 minučių žmogaus organizmas praranda tokį gebėjimą kadangi  $\text{NO}_x$  silpnina uoslę.  $\text{NO}_x$  yra pagrindinis žmogaus jutimo organų blokuotojas, todėl tai gali turėti neigiamą poveikį ir žmogaus matomumui tamsiu paros metu. Tam, kad žmogaus regai būtų padaryta žala  $\text{NO}_x$  koncentracija gali būti žemesnė nei aptikimo riba (Chen et al., 2007).

Sieros dioksidas ( $\text{SO}_2$ ) atmosferoje besijungdamas su vandens garais suformuoja rūgščius lietus. Kenksmingi yra ir sausi ir šlapi teršalo išmetimai, nes daro neigiamą poveikį augmenijai, blogina vandens telkinių, dirvos ir statybinių medžiagų kokybę (Šidlauskaitė, 2017).

$\text{SO}_2$  tai yra bespalvės, sunkesnės už orą dujos, turinčios skvarbų kvapą. Šios dujos turi savybę greitai skaidytis ir puikiai tirpti vandenyje. Dujos sudarydamos rūgštų tirpalą, kuris reaguodamas atmosferoje su deguonimi virsta sieros rūgštimi. Pagrindiniai  $\text{SO}_2$  taršos šaltiniai yra žmogaus vykdoma ūkinė veikla ir gamtiniai reiškiniai, pavyzdžiui: vulkanų išsiveržimas. Patys didžiausi  $\text{SO}_2$  kiekiai susidaro deginant iškastinį kurą, naftos produktus. Organinio kuro deginimas (nafta ir jos produktai) yra pagrindinis  $\text{SO}_2$  šaltinis. Didžiausias taršos šaltinis susidaro didelėse pramonės įmonėse, elektrinės, transporto sektorius. Šalia taršos šaltinių  $\text{SO}_2$  koncentracija ore gali būti gana didelė. Tolstant nuo taršos šaltinio ji laipsniškai mažėja (Stravinskienė, 2019).

$\text{SO}_2$  daro žalingą poveikį augalams ir vandens telkiniams juos rūgštindamas. Taip pat  $\text{SO}_2$  esantis atmosferos ore turi neigiamą poveikį žmonių sveikatai. Pavojingiausia asmenims, kurie turi kvėpavimo takų sutrikimų pvz.: astma, įvairios plaučių ligos (Folinsbee, 1993).

### **1.3. Pasaulyje atlikti tyrimai patalpų oro kokybei įvertinti**

Pasaulyje yra atlikta labai daug įvairių gyvenamųjų patalpų tyrimų norint nustatyti teršalų koncentraciją. Matavimai atliekami tradicine metodika ir prietaisais, taip pat jau nevengiama naudoti ir naujausius, inovatyvius metodus pagrįstus matavimus (Mendell & Heath, 2005).

Įvairūs tyrimai susiję su temperatūros, santykinės drėgmės,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ , formaldehido ir LOJ koncentracijomis buvo atliekami Švedijoje, gyvenamuosiuose namuose. Tam, kad tinkamai būtų nustatyti temperatūros ir drėgmės kiekiai, tyrimo metu naudotas HOB0 U12 – 012 matuoklis. Tyrimo metu buvo ištirtas 41 gyvenamasis namas. Spektroskopijos metodas naudotas įvertinti  $\text{CO}_2$  koncentraciją. O pasyviais mėginių kaupikliais buvo tiriamos LOJ, formaldehido, ozono ir  $\text{NO}_2$  koncentracijos. Atlikus tyrimą gautų koncentracijų duomenys buvo apdorojami statistinės analizės metodu ir iš visų gautų rezultatų, buvo nustatyta, jog vidutinė patalpų temperatūra buvo pastovi –

apie 22 laipsnius, o CO<sub>2</sub> koncentracijos rodikliai vidutiniškai buvo 1000ppm. O NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> ir formaldehido koncentracijos buvo pastebimai mažesnės pasyviuose namuose ir neviršijo leistinų koncentracijų (Langer et al., 2015).

Atlikus tyrimus Didžiojoje Britanijoje, buvo norima išsiaiškinti, kuri ventiliavimo sistema yra pranašesnė. Buvo tiriami namai su mechanine ventiliacija ir natūraliu būdu ventiliuojami namai (McGill et al., 2015). Tyrimams pastatai buvo pasirenkami tie, kuriuose tiek šaltuoju tiek šiltuoju metų laiku buvo matuojama santykinės drėgmės kiekis ir temperatūra. Buvo tiriamos CO<sub>2</sub> ir formaldehido teršalų koncentracijos. Matavimai buvo atliekami tose patalpose kur gyventojai namie būna ilgiausiai – miegamuosiuose ir svetainėse. Teršalų koncentracija buvo matuojama visą parą. Išnagrinėjus gautus duomenis, buvo nustatyta, jog CO<sub>2</sub> koncentracija šiltuoju metu laiku – vasarą yra labai didelė. Jos rodikliai siekė apie 2558ppm. Žiemos laikotarpiu CO<sub>2</sub> koncentracija viršijo rekomenduojamas ribas – 1000ppm. Pabrėžtina tai, jog pastato miegamųjų patalpų, kai kuriose zonose, kuriose naudota natūrali ventiliacija, koncentracija siekė iki 4000ppm (McGill et al., 2015).

Kitą tyrimą atliko Prancūzų mokslininkas Derbez 2014 metais. Tyrime atliekant eksperimentinius tyrimus buvo siekiama išsiaiškinti oro kokybę naujos statybos energetiškai efektyviuose namuose. Oro kokybę indikuojančių parametrų matavimams buvo pasirinktos tirti LOJ, aldehydų, anglies oksidų, KD<sub>2.5</sub> ir radono koncentracijos. LOJ kiekiui nustatyti buvo pasitelkta fotojonizacijos metodas. LOJ buvo renkami pasyviaisiais kaupikliais. Buvo nustatyta, kad aromatinių angliavandenilių, terpenų, alkanų ir aldehydų koncentracijos sumažėjo tada, kai namuose apsigyveno gyventojai. Galima daryti prielaidą, kad iš statybinių medžiagų mažiau išsiskyrė matuojami ir tiriami junginiai. Taip pat buvo nustatyta, kad KD<sub>2.5</sub>, radono, benzeno ir tolueno koncentracijos buvo mažesnės nei įprasta (Derbez, 2014).

Danijos mokslininkai atliko tyrimus Grenlandijos saloje. Ten buvo matuojamas CO<sub>2</sub> koncentracijos senuose gyvenamuosiuose namuose. Atlikus tyrimą buvo išsiaiškinta kad CO<sub>2</sub> koncentracijos senesniuose nei 1980 metai namuose, yra žymiai mažesnės nei naujesnės statybos pastatuose. Nakties metu buvo fiksuotos didesnės nei 4000ppm koncentracijos miegamuosiuose kambariuose, o mažesnės koncentracijos fiksuotos ten, kur miega vaikai (Kotol et al., 2014).

Pietų Afrikoje, Durban mieste, buvo atliekami eksperimentiniai tyrimai 246 gyvenamuosiuose namuose. Tyrimas atliekamas atsižvelgiant į socialines grupes. Tiriamieji teršalai buvo KD<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> ir SO<sub>2</sub>. Mėginių ėmimo laikotarpis: KD<sub>10</sub> – 24 val., o NO<sub>2</sub> ir SO<sub>2</sub> – 2–3 savaitės (Jafta et al., 2017). Tam, kad būtų daroma kuo mažesnė įtaka tyrimų rezultatams buvo atsižvelgiama į artimiausioje aplinkoje esančius transporto srautus, rūkymo ir šildymui naudojamo kuro rūšis. KD<sub>10</sub> dalelių matavimas vyko naudojant impaktorius, o NO<sub>2</sub> ir SO<sub>2</sub> – pasyviuosius mėginių kaupiklius. Atliekant matavimus buvo pastebėta, kad pusė visų tiriamų gyvenamųjų namų KD<sub>10</sub> koncentracijos viršijo leistinas 50 μg/m<sup>3</sup> ribas – jos siekė 64 μg/m<sup>3</sup>. NO<sub>2</sub> koncentracijos neviršijo leistinų ribų ir dažniausiai jas skleidė transportas ir buityje naudojami buitinė technikos šaltiniai. O matuojant SO<sub>2</sub> koncentracijos buvo pastebėta geresnė tendencija. Koncentracijos išlieka stabilios, tačiau jos egzistuoja ir bet koks pašalinis veiksnys gali įtakoti koncentracijos šuolį (Jafta et al., 2017).

Pietų Korėjoje, oro kokybei nustatyti, tyrimai buvo atliekami viešose vietose, kuriose lankosi didelis kiekis žmonių. Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami mokyklose, kur siekta nustatyti KD<sub>10</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, formaldehido ir bendro LOJ kiekio koncentracijos. Pietų Korėjos mokyklose, patalpų oro kokybė yra griežtai reglamentuojama, todėl šis tyrimas buvo itin aktualus ir reikšmingos vertės. Atlikus apsibrėžtus eksperimentinius tyrimus ir išanalizavus gautus rezultatus, buvo nustatyta, jog beveik visi matuoti teršalai leistinų normos ribų neviršijo. Svarbus pastebėjimas tas, jog didelė dalis teršalų koncentracijų matavimo metu svyravo dvigubai ar net trigubai. Pavyzdžiui, KD<sub>10</sub> koncentracijos klasėse kito nuo 17,3 iki 77,3 μg/m<sup>3</sup>, o CO<sub>2</sub> koncentracijos kito

nuo 988ppm iki 605ppm. Maksimaliausia pasiekta koncentracija matavimų metu buvo 2063 ppm (Yang et al., 2015).

Oro kokybės tyrimai viešojoje erdvėje taip pat buvo atlikti Kipre. Tyrimui buvo pasirinkti du muziejai esantys Nikosijoje. Buvo matuojama įvairių frakcijų kietosios dalelės, LOJ ir CO<sub>2</sub>. Teršalų koncentracijoms įvertinti buvo naudojami tradiciniai matavimo prietaisai. Po atliktų tyrimų ir apdorojus rezultatus nustatyta, kad koncentracijos viršijo leistinas ribas. Tik CO<sub>2</sub> koncentracijos buvo leistinose ribose (Zorpas & Skourouatis, 2016).

Atliekant tyrimus muziejuje Lenkijoje, buvo siekiama įvertinti CO<sub>2</sub>, temperatūros ir drėgmės kiekius. Muziejuje buvo naudojama natūrali ventiliavimo sistema. Atsižvelgiant į gautus duomenis, buvo pastebėta tendencija tarp temperatūros ir drėgmės didelių svyravimų. Buvo nustatyta, jog šiuos rezultatus lėmė bloga ventiliavimo sistema, didelis patalpų dydis ir didžiausią įtaką svyravimas turėjo aplinkos sukelti veiksniai. Didelių, atvirų patalpų CO<sub>2</sub> koncentracija, esant silpnai ventiliavimo sistemai, neviršijo nustatytos 1000ppm leistinos ribos (Ferdyn – Grygierek, 2016).

Didelės apimties tyrimą, kuriame buvo siekiama nustatyti oro taršą biuruose, atliko Europos šalių mokslininkų grupė. Tyrimas buvo atliekamas skirtingose šalyse ir skirtinguose biuruose. Tiksliniai teršalai buvo dvylika lakiųjų organinių junginių, septyni aldehydai, ozonas, NO<sub>2</sub> ir KD<sub>2,5</sub>. Koncentracijos kito nuo 2,7 μg/m<sup>3</sup> iki 17 μg/m<sup>3</sup>. O NO<sub>2</sub> koncentracija (kaip ir ozono ir formaldehidų) skyrėsi pagal sezoniškumą (Mandin et al., 2017).

Prancūzų mokslininkai atliko gana sudėtingą ir itin tikslingą tyrimą. Eksperimentui naudojo patalpą, kurią suprojektavo ištirti LOJ ir CO<sub>2</sub>. Šiuo eksperimentu buvo siekiama nustatyti teršalų pasiskirstymą patalpose, esant kontroliuojamoms sąlygoms. Patalpa buvo padengta aliuminio folija, o ypatingas dėmesys buvo skiriamas langams, durims, sienoms, grindims ir luboms. Tam tikruose pasirinktuose taškuose įrengtos įpurškimo sistemos per kurias buvo purškiami minėtieji teršalai. Taip pat buvo išdėstytos angos, kurių pagalba buvo imami oro kokybei vertinti skirti mėginiai. Reguluojant temperatūrą ir drėgmę, buvo tiriamas autonominės vėdinimo sistemos efektyvumas. Pradinė teršalų koncentracija, kuri įpurškta į patalpas, buvo 18 ir 24 μl. Atlikus skaičiavimus, buvo nustatyta, kad tai atitiks 100 ir 200 ppm koncentracijas. Po 150 sekundžių buvo pasiektos maksimalios teršalų koncentracijos – 102 ir 170 ppm (Harb et al., 2016).

Vienas labiausiai uždaroje patalpose paplitusių teršalų yra NO<sub>2</sub>. Atliktoje apžvalgoje analizuojamas NO<sub>2</sub> poveikio mokyklose ir biuruose mastas ir tendencijos bei veiksniai, kontroliuojantys poveikį (Tarptautinė aplinka, 2019). Apskaičiavus medianą ir vidurkį NO<sub>2</sub> koncentracija mokyklose siekia 21,1 μg/m<sup>3</sup> medianos o vidurkis 29,4 μg/m<sup>3</sup>. Biuruose nustatyta mediana 22,7 μg/m<sup>3</sup> o vidurkis 25,1 μg/m<sup>3</sup>. Gauti rezultatai buvo mažesni nei juo pateikia Pasaulio sveikatos organizacija 40 μg/m<sup>3</sup> metinę vidutinę NO<sub>2</sub> koncentraciją. Tačiau susirūpinimą kelia NO<sub>2</sub> koncentracijų intervalo netolygumas kuris pasiskirsto nuo 6,00 iki 68,5 μg/m<sup>3</sup> mokyklose ir nuo 3,40 iki 56,5 μg/m<sup>3</sup> biuruose. Pagrindinių NO<sub>2</sub> koncentracijų atsiradimas patalpose susidaro dėl vėdinimo tipo, pastato hermetiškumo, pastato baldų ir paviršiaus charakteristikų, pastato vietos (miesto ir priemiesčio atstumas ir eismo kelių artumas), taip pat (pvz., langų atidarymas) turi įtakos teršalo koncentracijai. Į aplinką patekęs NO<sub>2</sub> poveikis patalpose gali būti reikšmingas miestų teritorijose ir esant dideliame eismo intensyvumui (Tarptautinė aplinka, 2019).

Dar vienas tyrimas įvertinti uždarų patalpų oro kokybę buvo atliekamas Turkijoje. Buvo matuojama SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ir O<sub>3</sub> koncentracijos gyvenamuosiuose namuose, mokyklose ir biuruose. NO<sub>2</sub> koncentracijos buvo didesnės gyvenamosiose patalpose lyginant su mokyklų ar biurų. Žiemą išmatuotos NO<sub>2</sub> ir SO<sub>2</sub> koncentracijos patalpose ir lauke buvo didesnės nei išmatuotos vasarą, o O<sub>3</sub> atitinkamai mažesnės. NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ir O<sub>3</sub> aktyviosios ir pasyviosios koncentracijos santykis buvo

atitinkamai 0,99, 1,08 ir 1,16, o lauko santykiai atitinkami buvo 0,95, 0,99 ir 1,00 (Bozkurt et al., 2017).

#### 1.4. Augalų reakcija į teršalus

Augalų reakcijos į skirtingas aplinkos sąlygas yra gana plačiai išnagrinėtos. Yra augalų rūšių, kurios gali būti naudojamos kaip indikatoriai, stebint ir nustatant aplinkos oro situaciją. Ši augalų savybė, gali tapti puikia priemone vykdant monitoringą – stebint kaip keičiasi aplinkos sąlygos ir kokia augalų reakcija į šiuos pasikeitimus. Itin svarbus faktorius, augalų stebėjime yra tai, jog augalas turi augti jam būdingomis ir reikalingomis sąlygomis. Tik tuomet augalas gebės sukaupti savo audiniuose didesnes teršalų koncentracijas. Augalai yra skirtingai jautrūs tam tikram teršalų poveikiui, todėl atsižvelgiant į tai, turi būti parenkama tam tikro jautrumo indikatoriai teršalams aptikti ir jų kiekį išmatuoti (Stravinskienė, 2005).

Augalų jautrumo savybės lemia tai, jog jie gali būti panaudojami kaip bioindikatoriai aplinkos oro užterštumui nustatyti. Aplinkos oro kokybės tyrimams tinkami tik tie augalai, kurie yra genetiškai nepažeisti ir yra vientisi, taip pat turi būti pakankamai jautrūs aplinkos oro kokybės pokyčiams, o į kenksmingų medžiagų poveikį reaguoja kiekybiškai bei gerai dauginasi (Heinrich & Hergt, 2000).

Augalus naudoti kaip bioindikatorius yra gana paprasta. Šis indikacijos būdas nereikalauja didelių ir papildomų kaštų. Praktiškai visiems augalams, naudojant juos kaip indikatorius, yra pasitelkiamas tas pats metodas. Pirmasis žingsnis – sėjimas. Sėklos yra sėjamos į Petri lėkštelę ar kitame naudojamame inde. Antras žingsnis – užtikrinamos geros augimo sąlygos – palaikomas tinkamas ir augalui būdingas drėgmės lygis, vengiama temperatūros staigaus šuolio, taip pat neatsiejamai svarbi yra apšvietimo kontrolė. Trečiąjį žingsnį sudaro augimas, kurio trukmė priklauso nuo augalo ir jo savybių (Stravinskienė, 2005).

Tam, kad būtų pasiekiami aukščiau siūlyti rezultatai, yra svarbu nustatyti augalų reakciją į teršalus. Stravinskienė, 2010 metais, yra išskyrusi šiuos nustatymo būdus:

- augalų pažeidimo laipsnio palyginimas su teršalų koncentracija ore;
- augalų, kaip teršalų absorbentų, panaudojimas;
- teršalų koncentracijos augaluose palyginimas su tų pačių teršalų koncentracija aplinkoje.

Augalo, naudojamo kaip indikatoriaus gebą, nusako anatominiai ir fiziologiniai požymiai. Pagrindinę svarbą suteikia augalo ląstelių fiziologiniai procesai tokie kaip: vandens buvimas augaluose, transpiracija, augalo mityba, fotosintezė, kvėpavimas, organinių medžiagų pernešimas, sintezė ir kaupimas (Dhir et al., 2009).

Aplinkos ore yra daug įvairių cheminių medžiagų o kai kurios iš jų yra būtinos organizmams, mažomis koncentracijomis. Didesnių koncentracijų medžiagų buvimas aplinkos ore yra teršalas, nes jos koncentracija gali sukelti neigiamą įtaką organizmams. Tam įtakos turi ir tai, kiek laiko kokia koncentracija išlieka aplinkoje kontakto su organizmu metu (Kampa & Castanas, 2007). Augalus ilgai veikiant didelėmis teršalų koncentracijomis, padidėja galimybę juos stipriai pažeisti. Dažniausiai yra pažeidžiama augalo lapija. Lapai gali būti apdeginami, atsiranda spalvos pakitimai, dėl chroniško pažeidimo lapai gali pradėti nykti ar atsirasti skylės lapo paviršiuje (Neumann, 2018).

Pasak Baltrėnaitės (2007), vegetacijos proceso metu, augaluose pavyzdžiui, medžiuose – sunkieji metalai patenka per jų šaknis, lapus ir gali kauptis medžio atskirose dalyse. Medžiai dėl šių savybių gali būti puikūs aplinkos bioindikatoriai. Tam tikros medžių rūšys efektyviai kaupia teršalus antžeminėse dalyse, taip mažindami teršalų kiekį dirvožemyje. Medžių savybė kaupti teršalus yra neatsiejamai svarbi mūsų ekosistemai (Klump et al., 2003). Jei eglių ar pušų

spygliuose yra aptinkama pastarųjų ketverių metų sunkiųjų metalų kiekiai, lapuose – paskutiniųjų metų sunkiųjų metalų sandaupos, o žievėje – galbūt ir visu vegetacijos laikotarpiu sukaupti sunkiųjų metalų kiekiai, tai į besiformuojančias rieves patenka tais metais medžiui prieinami dirvožemyje esantys sunkieji metalai (Baltrėnaitė, 2007).

#### SO<sub>2</sub> poveikis augalams

Esant didelei SO<sub>2</sub> koncentracijai galimi labai įvairūs augalų pokyčiai. Giordani, 2007 metais išskyrė šiuos:

- fotosintezės ir kvėpavimo sulėtėjimas;
- tam tikri membranų pralaidumo padidėjimai;
- bendri lapų pakitimai.

Per didelė sieros dioksido koncentracija augalo struktūrose, gali stipriai pažeisti jautrių rūšių augalus ir slopinti jų augimą. Teršalas iš aplinkos į augalą patenka per žioteles. Pro jas patenka į lapus, tada prasiskverbia pro kutikulę ir pažeidžia augalo vidinę dalį, kuri yra neatsiejamai svarbi bet kurio augalo dalis. Pirminiai išoriniai pažeidimų požymiai pasireiškia smulkiais taškeliais tarp augalų lapų gyslų. Vėliau šie taškai virsta dėmėmis, o pažeistų lapų vietos pakeičia spalvą. Laikui bėgant – pažaidos vietos šviesėja, kol pažeidimai tampa visai bespalviai. Mirę lapų audiniai kartais iškrenta ir lapai tampa perforuoti. Tokie pat pažeidimai gali išryškėti ir lapų pakraščiuose, o per dideli SO<sub>2</sub> kiekiai gali sukelti ne tik lapų nekrozę, bet ir žymiai lėtesnį augalų augimą ir/ar mažinti augalų produktyvumą (Stravinskienė, 2005).

#### Ozono poveikis augalams

Tam, kad ozonas patektų į augalo apytakos ratą turi būti atviros žiotelės. Kadangi augalai yra labai jautrūs ozonui, negrįžtamiems veiksniams pakanka 60 µg/m<sup>3</sup> koncentracijos. Pažeidimai atsiranda sulėtėjus augimo procesui, pablogėjus fotosintezės procesams, pagreitėja senėjimo procesas, atsiranda jautrumas tam tikroms ligoms bei kenkėjams (Kangasjārv et al., 2005).

Įvairūs tyrimai rodo, kad ozonas, skverbdamasis į augalus, juos veikia tiesiogiai. Ozonas augaluose sukelia biocheminius pakitimus ląstelės lygmenyje, o tai veikia fotosintezės intensyvumą. Taip pat augalų produktyvumą žymiai sumažina ozono koncentracijos padidėjimas. Ozono įtakos augalui kiekis taip pat priklauso nuo augalo jautrumo įvairiomis ir kintančiomis koncentracijoms bei ekspozicijos trukmei (Tūkauskaitė, 2003).

#### Azoto oksidų poveikis

Nedidelės NO<sub>2</sub> koncentracijos nėra kenksmingos augalams, o atvirkščiai tai gana naudinga medžiaga skatinanti augalų augimą. Tam, kad NO<sub>2</sub> sukeltų nepageidaujamus veiksnius koncentracija turi būti didesnė. Jei koncentracijos yra didelės, tai gali tiesiogiai paveikti augalų antžemines dalis, todėl sumažėja jų augimo procesai, augalai tampa mažiau produktyvūs ir gali pasireikšti ankstyvasis senėjimo ar nykimo procesas.

#### Kietųjų dalelių poveikis

KD turi savybę kauptis ant augalų lapų paviršiaus ploto. Dalį KD, kurių diametras yra mažesnis, augalai per žioteles pasisavina į audinius. Likusias didesnio diametro daleles nupučia vėjas arba nuplauna lietus. KD augalui nedaro jokios chemiškai pavojingos žalos, tačiau reaguodamos su kitomis medžiagomis gali sudaryti pavojingus junginius dėl kurių augalai gali būti apnuodyti. Taip pat dėl didelio KD kiekio patenkančio ant augalo dalių, suintensyvėja šviesos gavimo galimybės praradimas. Toks reiškinys atsiranda dėl dalelių užimamo ploto augalo lapo paviršiuje – dalelės blokuoja šviesos patekimą, taip sumažindamos fotosintezės procesą (Municipalinė aplinkos tyrimų laboratorija, 2012).

### 1.5. Patalpų oro valymo metodų įvertinimas

Patalpų oro kokybė yra labai svarbus gyvenimo kokybės parametras, kuris turi didelę įtaką žmonių sveikatai. Kaip jau buvo aptarta ankstesniuose skyriuose, oro kokybę blogina buityje susidaranti oro tarša iš statybinių medžiagų, buitinės chemijos ir išorės aplinkos oro (Jones, 1999).

Pagal pobūdį aplinkos oro tarša gali būti aktyvi arba pasyvi. Pasyvi oro taršos šaltiniai teršia lėtai, palaipsniui į aplinką išskirdami įvairius teršalų kiekius. Tai yra labai ilgas procesas, kadangi tarša atsiranda dėl statybų metu naudotų medžiagų, tapetų ar kilimų. O aktyvi aplinkos oro tarša susidaro dėl naudojamų buitinių medžiagų, vėdinant patalpas, gaminant maistą ar rūkant. Aktyviai taršai, priešingai nei pasyviai, būdingas staigus koncentracijų šuolis. Pavyzdžiui, papurškus oro gaiviklį tam tikrų teršalų koncentracija staiga padidėja ir gana greitai sumažėja (Rutkovienė ir Sabienė, 2008).

Pati didžiausia problema susidaro dėl naujos statybos pastatų reglamento, kuriame numatyta patalpų izoliacija nuo išorės ir energijos sąnaudų mažinimas. Dėl šios priežasties tokiuose pastatuose turi būti užtikrinamas itin geras ventiliavimas. Taip pat, siekiant pagerinti oro kokybę patalpose svarbu kontroliuoti taršos šaltinį, tinkamai naudoti ir prižiūrėti vėdinimo sistemas ir naudoti oro valymo įrangą (Stravinskienė, 2019). Autorius Ginestet et al. (2012), išskiria šiuos teršalų šalinimo mechanizmus ir patalpų oro kokybės gerinimo metodus:

- mechaninis filtravimas;
- adsorbicija;
- elektrostatinis nusodinimas;
- fotokatalizė;
- terminė arba neterminė plazma.

#### Mechaninė oro filtracija

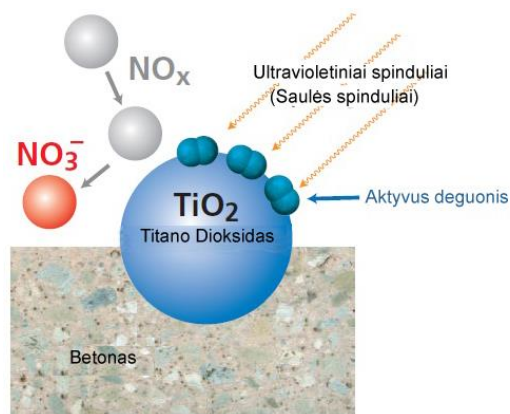
Šis oro valymo metodas yra gana plačiai paplitęs ir apima skirtingas teršalų grupes. Atliekant mechaninę filtraciją oras išvalomas nuo mikroorganizmų iki mažų teršalų dalelių. Atlikus įvairius tyrimus, pastebimas didesnis išvalymo efektyvumas valant didesnio diametro kietąsias daleles. Taip pat randama, kad mechaninė filtracija nėra tinkama naudoti valant organinius ir neorganinius junginius. Pagrindinis šio valymo trūkumas yra ta, kad dėl netinkamai naudojamo ar pasirinkto metodo tarša gali padidėti, todėl kaip papildoma priemonė šiame metode yra reikalinga naudoti filtrus pvz.: aktyvuotos anglies filtras (Bekö et al. 2009).

#### Adsorbicija

Tai toks oro valymo metodas, kurį naudojant yra pašalinami dujiniai teršalai. Šio metodo veikimo principas yra grindžiamas molekulių prisijungimu prie tam tikro paviršiaus, kuris yra vadinamas adsorbentu. Tam, kad valymas būtų efektyvus reikia atkreipti dėmesį į adsorbento poringumą ir jo užimamą paviršiaus plotą (Parmar & Grosjean, 1991).

#### Fotokatalizė

Oro valymo metodas, kurio pagalba šalinami mikroorganizmai ir dujiniai teršalai. Šio metodo veikimo principas pagrįstas ultravioletinės spinduliuotės apšvitintas katalizatorius. Apšviestas katalizatoriaus paviršiaus plotas pasidengia reaktyviais radikalais, o šie sureaguoja su su valomais teršalais. Titano dioksidas ( $\text{TiO}_2$ ) yra dažniausiai naudojamas katalizatorius.



**1.3 pav.** Fotokatalizės veikimo principas (Šaltinis: UAB „Krilita“)

Fotokatalizinė oksidacija įprastai gali nukenksminti beveik visų rūšių teršalus: aldehidus, aromatinius angliavandenilius, alkanus, chlorfluorangliavandenilius, kvapus ir kt. Teršalų ir vandens garų adsorbcija ant katalizatoriaus paviršiaus daro didelį poveikį oksidacijos lygiui (Stankevičius, 2015).

#### Plazma

Tai oro valymo metodas, kuriam yra reikalinga aukšta įtampa. Tam, kad oras būtų jonizuojamas. Reaktyvūs radikalai reaguoja su teršalais ir taip yra suardomi. Šis valymo metodas tinkamas dujinių teršalų valymui naudojant katalizatorius, bei KD valant su filtrais. Tačiau šis valymo metodas turi gan didelį trūkumą, nes susidaro antriniai teršalai (Van Durme et al., 2007). 1.1 lentelėje pateikiamas patalpų oro valymo technologijų palyginimas.

**1.1 lentelė.** Patalpų oro valymo technologijų palyginimas (Sudaryta darbo autorės remiantis Stankevičius, 2015)

| <b>Valymo technologija</b>                   | <b>FOTOKATALIZĖ</b>                                                                       | <b>PLAZMA</b>                                                                               | <b>ADSORBCIJA</b>                                            | <b>FILTRACIJA</b>                                                         |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>Teršalai</b>                              | Organiniai ir neorganiniai dujiniai teršalai                                              | Organiniai ir neorganiniai dujiniai teršalai                                                | Organiniai ir neorganiniai dujiniai teršalai                 | Kietosios dalelės                                                         |
| <b>Privalumai</b>                            | Veikiantys kambario temperatūroje. Nereikalinga regeneracija                              | Aukštas valymo efektyvumas.                                                                 | Nesusidaro antriniai teršalai.                               | Gera šalinamos 0,1 – 4 μm dydžio dalelės                                  |
| <b>Trūkumai</b>                              | Gali sudaryti antriniai teršalai. Katalizatoriaus veikimo efektyvumą lemiantys veiksniai. | Gali susidaryti antriniai teršalai. Yra aukšta įtampa ir didelis energijos suvartojimas.    | Reikalinga regeneracija. Gali susidaryti antriniai teršalai. | Ilgai naudojami dalelių filtrai gali tapti antriniais teršalų šaltiniais. |
| <b>Būdai pagerinti technologijos veikimą</b> | Gali būti naudojama su kitomis valymo metodikomis.                                        | Veikimas kartu su dalelių filtru, kad pagerinti filtro veikimą ir sumažinti slėgio kritimą. | Dinamiškos nuolat ar su pertraukomis veikiančios sistemos    | Naudojimas kartu su elektrostatiu nusodinimu.                             |

### 1.5.1. Patalpų oro valymas vėdinimo sistemomis

Veiksmingiausiai patalpų oro kokybę galima pagerinti – panaikinant taršos šaltinius. Jei tai nėra įmanoma, stengtis maksimaliai sumažinti galimos taršos emisijas. Norint patalpų oro kokybę pagerinti ekonomiškai, nereikėtų rinktis ventiliacijos sistemos intensyvumo didinimo, nes didėja ir sunaudojamos energijos sąnaudos (Daisey et al., 2003). Tokia taršos šaltinio kontrolė daugeliu atveju yra daug efektyvesnė priemonė patalpų oro kokybės gerinimui (Matuliauskaitė, 2009).

Vėdinimas – tai procesas kai panaudotas oras yra pašalinamas iš patalpų ir pakeičiamas šviežiu lauko oru. Jis yra labai svarbus žmogaus sveikatai ir jų darbingumui (Jonaitis, 2016). Vėdinimas ypač svarbus žmonėms dirbantiems uždaroje patalpose ar užsiimantiems kita tiek protine tiek fizine veikla (Kozai & Kubota, 2005).

Tinkamas patalpų vėdinimas užtikrinamas inžineriniuose statiniuose specialiai įrengtuose traukos kanaluose, taip pat naudojamos langų ir durų varstymo sistemos. Blogai vėdinamose arba nevėdinamose patalpose kaupiasi kenksmingos medžiagos, drėgmė, CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, SO, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>. Dėl blogai vėdinamų patalpų ir besikaupiančios drėgmės esant palankiai temperatūrai gali pradėti daugintis ir gyvuoti mikroorganizmai ar įsiveisti pelėsiai. Tokia oro kokybė ir sandara gali sukelti žmonėms įvairias kvėpavimo takų ligas. Jei žmogus ilgesnį laiko tarpą būna nevėdinamosiose patalpose galima pastebėti nervingumo, galvos skausmo ar kitų sveikatos sutrikdymo požymių. Tai sukelia – ore esantis deguonies kiekio mažėjimas (Liukevičienė, 2016).

Vėdinimas skirstomas į dvi pagrindines rūšis (Krajčik et al., 2012):

- natūralus;
- mechaninis, priverstinis.

Natūralus vėdinimas – tai pats paprasčiausias vėdinimo būdas, kai oras į patalpą patenka pro langus, orlaides, varstomas duris, mikro ventiliacijos ertmes ar per pastate esančius tarpus. Natūrali ventiliacija, skirtingai nei ventiliatoriaus priverstinė ventiliacija, naudoja natūralias vėjo jėgas gynam orui tiekti į pastatus. Norint sušvelninti kvapus, suteikti deguonies kvėpavimui ir padidinti šilumos komfortą, pastatuose yra reikalingas grynas oras (Walker, 2010). Oras iš patalpų dažniausiai yra pašalinamas natūraliai. Tai vyksta kai patalpose sušilęs oras pakyla į viršų ir yra pašalinamas per vertikalių traukos kanalų pagalbą. Tokie kanalai paprastai įrengiami virtuvėje, vonioje ar tualete – tose zonose, kur vėdinimas yra neatsiejama oro kokybės dalis (Jonaitis, 2016).

Mechaninis vėdinimas – tai toks vėdinimas, kai oras į patalpas patenka ir yra šalinamas priverstinai – ventiliacijos sistemų pagalba (Samuel et al., 2013).

Mechaninės vėdinimo sistemos skirstomos į:

- Oro tiekimo sistema;
- Oro ištraukimo sistema.

Įvairių teršalų pašalinimas yra užtikrinamas jei naudojama tinkama oro kaita. Tam, kad oras būtų tinkamas ir geros kokybės, jis turi keistis bent 3 kartus per valandą. Šiai sąlygai užtikrinti yra reikalinga ventiliacija. Dėl sandarumo, slėgių skirtumo ir temperatūros pastatuose natūrali ventiliacija vyksta 1 kartą per valandą (Matuliauskaitė, 2009).

### 1.5.2. Patalpų oro valymas botaninėmis sistemomis

Kaip jau buvo minėta, oro valymo metodų yra labai įvairių, tačiau didžioji dalis jų, reikalauja papildomų kaštų. Metodų ir sistemų charakteristikos yra gana sudėtingos, o kai kuriais atvejais patalpų oro valymui yra reikalinga ne viena sistema (Bui et al., 2021).

Oro valymo veiksmingumas priklauso nuo naudojamų filtravimo medžiagų ir perfiltruojamo oro kiekio. Net ir esant labai efektyviai oro valymo sistemai ne visada gali būti užtikrinamas švarus

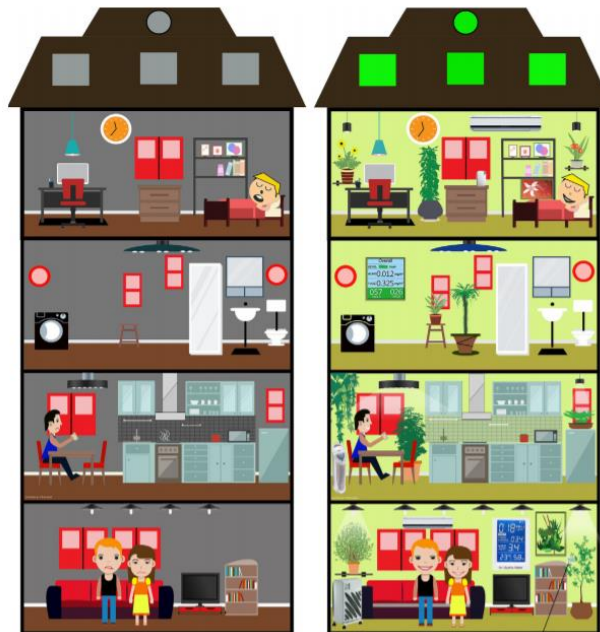
oras. Viena iš priežasčių gali būti per maža oro cirkuliacija patalpoje ar erdvėje (Matuliauskaitė, 2009).

Šiais laikais, kai vis dažniau išgirstama jog žmonės domisi ekologiškais ir ekonomiškais sprendimais, atsirado jau gan išpopuliarėjusi patalpų oro valymo alternatyva – botaninė biofiltracija. Šiuo metodu yra siekiama kuo labiau sumažinti aerozolinės ar dujinės fazės teršalų kiekius patalpose. Per praėjusį dešimtmetį, botaninė biofiltracija sulaukė vis didesnio pripažinimo ir susidomėjimo jos naudojimo ir pritaikymo galimybėmis. Aplinkosaugos yra svarbūs ir pritaikomi ne tik jau pastatytuose, tradiciniuose pastatuose, bet ir saugių ir aplinkai nekenksmingų namų statybose. Botaninė biofiltracija, kai naudojami žalieji augalai, yra nekenksminga aplinkai (Wolverton, 1989).

Biofiltracija literatūroje yra apibrėžiama kaip oro įtraukimo į organines medžiagas (pvz.: samanų, dirvožemio, augalai) procesas, kurio metu pašalinami dujiniai teršalai (Devinny et al., 1998). Įrodyta, kad augalai per įprastą dujų apykaitą absorbuoja oro teršalus, bet nevienodu intensyvumu (Cunningham & Berti, 1993). Augalai taip pat dažnai yra naudojami dideliems užteršto dirvožemio ir vandens plotams lauko aplinkoje valyti, ypač kai jie užteršti sunkiaisiais metalais, trąšomis, naftos produktais ir tirpikliais. Iš keleto turimų rezultatų analizės matyti, kad botaninio biofiltravimo efektyvumas priklauso nuo teršalų, augalų ir mikroorganizmų sąveikos: tinkamiausios augalų rūšys yra tos, kurių laidumas laidžiausias ir mažesnis jautrumas teršalams (Moya, 2019).

Biofiltracija taip pat galima apibūdinti kaip vieną iš biologinės sistemos metodų (Bui et al., 2021), o aktyvios biofiltracijos procesu galima šalinti teršalus tiek iš vandens, oro ar dirvožemio (Devinny et al. 2019). Biofiltracijos sistemos tipai:

- Aktyvusis (naudojami mikroorganizmai, bioskruberiai, filtrai);
- Pasyvusis (vazoninių augalų auginimas, biosienelės, speciali augalų danga).



**1.4 pav.** Pasyvioji biofiltracija gyvenamųjų patalpų ore (Brilli et al., 2018)

Mikroorganizmų ir augalų veikimo principas yra gana paprastas – jie sugeria teršalus, ir oras išvalomas natūraliu būdu (Llewellyn et al., 2011).

Šalinti dujiniams teršalams naudojamą botaninę biosistemą, galima suskirstyti į dvi atskiras kategorijas:

- Pirmoji – vazoniniai augalai – veikia kaip pasyvus biofiltras (žr. 1.4 pav. ). Šiuo eksperimentiniu tyrimu ir buvo siekiama išnagrinėti biologinį augalų įsisavinimą (Wolverton et al., 2002).
- Antroji kategorija – augalai - padėjėjai. Botaninė biofiltravimo sistema susideda iš biodrėkinimo filtrų, hidroponinių augalų ir pakavimo medžiagos, kuri yra reikalinga šaknims maitinti. Pastovus užteršto oro srautas leidžia užtikrinti nuolatinį nepertraukiamą apykaitos ratą. Šiai kategorijai priskiriami ir hidroponiniai augalai. Jie gali gyventi vandenyje nenaudojant dirvožemio (Llewellyn et al., 2011).

1.2 lentelėje pateikiamos skirtingos augalų rūšys, kurių kiekviena absorbuoja skirtingų rūšių aplinkos ore esančius teršalus.

**1.2 lentelė.** Skirtingi augalai ir absorbuojamieji teršalai

| AUGALAI                | SUGERIAMI TERŠALAI                                                          |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| ALAVIJAS               | Sugeria buitinėje chemijoje esančius benzeną ir formaldehidą.               |
| SVYRUOKLINIS FIKUSAS   | Sugeria balduose ir kiliminėse dangose esančius toksinus.                   |
| DRYŽUOTOJI DRACENA     | Sugeria teršalus, randamus aliejiniuose dažuose ar lakuose.                 |
| FILODENDRAS            | Valo LOJ.                                                                   |
| AZALIJA                | Sugeria statybinėse medžiagose esantį formaldehidą.                         |
| GEBENĖ                 | Valo teršalus, esančius buitinės chemijos ir asmens higienos priemonėse.    |
| KUOKŠTINIS CHLOROFITAS | Sugeria toksinus ir anglies monoksidus.                                     |
| VĖZDŪNĖ                | LOJ                                                                         |
| SANSEVJERA             | Dienos metu šalina CO <sub>2</sub> .                                        |
| BENDŽAMINO FIKUSAS     | Sugeria formaldehidą, benzeną, trichloretileną.                             |
| LELIJA                 | Sugeria benzeną, anglies monoksidą, formaldehidą, trichloretileną, ksileną. |
| CHRIZANTEMOS           | Sugeria amoniaką, benzeną, formaldehidą ir ksileną.                         |
| GELSVASIS DIPSIS       | Sugeria benzeną, anglies monoksidą, formaldehidą, trichloretileną, ksileną. |
| FIKUSAS                | Sugeria iškvėptą anglies dioksidą.                                          |
| PELARGONIJA            | Šalina nepageidaujamus kvapus ir naikina bakterijas.                        |

Kuris būdas (vazoniniai augalai ar augalai – padėjėjai) teršalams šalinti bus pasirinktas, priklauso nuo turimų kaštų, lokacijos, laiko. Vazoniniams augalams nereikia daug lėšų, nereikalinga ir speciali inžinerinė sistema, o tai leidžia taupiai ir efektyviai valyti palapų orą. Reiktų pabrėžti tai, jog augalai – padėjėjai geba išvalyti didesnę oro srautą nei augalai. Tuo šis antros kategorijos botaninės biosistemos metodas yra pranašesnis už pirmos kategorijos. Reiktų paminėti, kad ir vienu, ir kitu metodu valomos oro teršalų koncentracijos turėtų būti ganėtinai nedidelės (Yang et al., 2011).

Naudojant įvairių rūšių augalus oro teršalams šalinti būtina atlikti ir stebėseną, vadinamą biomonitoringą. Juo siekiama įvertinti ir surinkti informaciją apie kiekybinį teršalų poveikį. Tai yra gana svarbi priemonė stebint aplinką (Wolverton et al., 1984).

Bioindikacijos svarbiausios savybės (Klump et al., 2003):

- Tam tikrą laiką (išties savaites) vertinamas teršalų veikimo pobūdis, todėl šis būdas neatima daug laiko ir nėra brangus.
- Nebrangus, kas leidžia atlikti didelį monitoringo tinklo išsiskirstymą erdvėje.
- Teikia informaciją apie pagrindinius pavojus, įvertinimus vegetacijai ir teršalų perdavimą per maisto grandinę žmonėms ir gyvūnams.
- Tai viena iš priemonių teikianti informaciją apie galimus teršalų padarinius.

Stebėti išorinius veiksnius, kurie daro įtaką ekosistemai vadinama bioindikacija arba biostebėjimu (Markert et al., 2002). Bioindikatoriai skirstomi į pasyviuosius ir aktyviuosius. Natūraliai aptinkamas organizmo reakcijas ekosistemoje tiria pasyvioji biostebėseną. Organizmus klasifikuojant pagal jų kilmę ir stebint jų reakciją į kitas medžiagas leidžia sudaryti bendrijas kurias galima naudoti kaip indikatorius (Stravinskienė, 2009). Tokie indikatoriai turi specifinę arba nespecifinę reakciją į tam tikras medžiagas ar elementus. Šios reakcijos gali apimti organizmų morfologijos, histologijos, ląstelių struktūros, metabolinių ir biocheminių procesų, elgsenos arba populiacijos struktūros pokyčius (Markert, 2011).

Pasyviosios bioindikacijos tyrimams naudojamos aplinkoje laisvai augančių augalų ir gyvūnų bioindikacinės savybės. Vertinama kokia reakcija kyla susiduriant su tam tikrų skirtingų teršalų kiekiu. Kadangi vertinant ne vieno, o kelių, skirtingų medžiagų atsakas leidžia padaryti svarbias išvadas apie teršalų poveikį gyviems organizmams. Taikant bioindikacijos metodą stebimi augalai nepažeidžiami, todėl tokius tyrimus galima taikyti ilgą laiką (Stravinskienė, 2009).

Augalo indikatorinę svarbą atskleidžia tam tikri, dažniausiai anatominiai jo požymiai. Indikatoriniai požymiai yra įvairios augalų savybės, kuriomis augalai nurodo savo priklausomybę tam tikroms augavietėms arba indikuoja antropogeninį poveikį. Aplinkos užterštumo monitoringas, naudojant indikatorinius augalus, gali padėti objektyviai vertinti ekologinę situaciją, susidarančią dėl besikeičiančios aplinkos (Adomaitytė, 2015). Vykdamas pasyvų biomonitoringą stebima (Stravinskienė, 2002):

- jautrių rūgštiniais teršalams ir sunkiesiems metalams indikatorių, kerpių augmenijos rūšinė sudėtis, pasikartojimo dažnumas;
- eglių spyglių tyrimai;
- samanų monitoringas atliekamas nusėdusių ir susikaupusių teršalų įvertinimui, nes samanos savo audiniuose kaupia teršalus, ir yra naudojamos kaip akumuliaciniai bioindikatoriai.

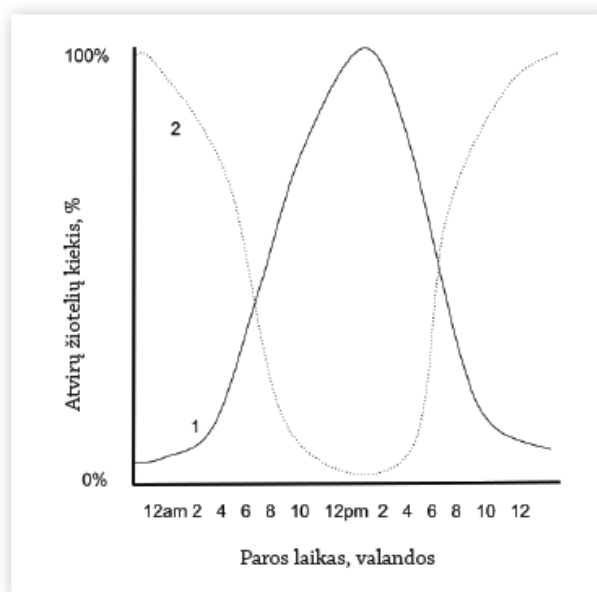
Pasyviosios bioindikacijos metu kaip bioindikatoriai dažniausiai stebimi medžiai, grybai, kerpės. Aktyvioji bioindikacija gyvuoja tuomet, kai laboratorijose išauginti standartizuotos formos bioindikatoriai (biologiniai monitoriai) nustatytam laikotarpiui yra perkeliama į natūralias sąlygas, o pasibaigus šiam laikotarpiui fiksuojamos reakcijos arba analizuojami organizmo sukaupti ksenobiotikai (Markert, 2011). Aktyviosios bioindikacijos metodams yra taikomi didesni reikalavimai lyginant su pasyviosios. Parinktoms tam tikros rūšies augalų kultūroms sudaromos vienodos ir standartizuotos sąlygos, pvz. šiltnamio sąlygos. Yra parenkamas laikotarpis ir augalai eksponuojami nustatytą laiką numatytose vietose (Adomaitytė, 2015).

### **1.5.3. Teršalų pašalinimas antžeminėmis augalo dalimis**

Teršalų pašalinimas yra galimas ir naudojantis atžeminėmis augalo dalimis – žiotelėmis ir kutikulėmis. Buvo atliekami įvairūs tyrimai kurių metu nustatyta, jog žiotelių laidumo padidėjimas

yra tiesiogiai susijęs su šalinimo proceso intensyvumu (Kondo et al., 1995). Tai atskleidė transpiracijos intensyvumas. Taip pat pastebėtas didesnis teršalų pašalinimas šviesoje lyginant su pašalinimu tamsoje, tai leidžia manyti, kad šviesoje žiotelės yra atviros, o tamsoje uždaros (Kupčinskienė ir kt., 2012).

Pašalinimo veikla priklauso nuo pačio augalo struktūros ir teršalų pasisavinimo būdo. Tam tikros augalų rūšys, tai augalai kurie vadinami CAM (ang. *Crassulacean*), teršalus puikiai šalina ir tamsiu paros metu. CAM augalų pavyzdžiai, kaktusai (ang. *Cactaceae*), ananasai (ang. *Bromeliaceae*), agavos (ang. *Agavaceae*), taip pat kai kurios pelargonijų rūšys. Daugelis orchidėjų yra epifitai ir CAM augalai, nes vandens pasisavinimas priklauso nuo jų šaknų (Heyneas, 2020). CAM augalai teršalus sugeria nakties metu, nes jų žiotelės yra atviros. Kai tuo tarpu likusi augalų dalis tą atlieka tik dienos metu kai vykdo metabolizmą. Būtų klaidinga teigti, kad CAM augalai šalinimą atlieka tik žiotelių pagalba, kadangi svarbų vaidmenį atlieka tiek mikroorganizmai, tiek augalo šaknų sistema. Todėl galima teigti, kad visos augalo dalys yra prisitaikę prie žiotelių veikimo ir gebėjimo atlikti šalinimo procesą (Heyneas, 2020).



**1.5 pav.** CAM (1) ir kitų augalų (2) fotosintezės vykdymo laikas (Malinauskaitė, 2018)

Iš pateikto grafiko (žr 1.5 paveikslą) pastebimas fotosintezės procesas kuomet žiotelės atsiveria plačiausiai. Pažymėta grafike 1 priklauso įprastų augalų žiotelių atsivėrimas. Numeriu 2 pateikiama CAM augalų žiotelių atsivėrimo laikas, pagal paros valandų skaičių.

Buvo atliekamas bandymas, kurio metu buvo siekiama išsiaiškinti žiotelių ir kutikulės veikimą kartu. Tyrimu metu buvo pastebėta, kad teršalai įsisavinami per žioteles, tačiau pagrindinis įsisavinimas visgi įvyksta per kutikulę. Dar vienas eksperimentinis tyrimas buvo atliekamas augalo lapą palikus plūduriuoti vandens paviršiuje, remiantis tuo, jog žiotelės yra tik apatinėje lapo dalyje. Buvo pastebėtas skirtumas tarp kutikulės ir kutikulės su žiotelėmis įsisavinimo. Bandymo metu trukdantis veiksnys tapo vanduo, kadangi dalis teršalų reagavo su juo (Kručaitė, 2018).

#### 1.5.4. Teršalų pašalinimas mikroorganizmais

Gerėjant visuomenės supratimui apie ekologinę saugą ir aplinkai palankias priemones, pagrįstas mikroorganizmais, jos tapo labiau priimtinos kaip vienas teršalų pašalinimo metodų. Mikrobu, susidedančių iš daugelio fotoautotrofinių ir heterotrofinių mikroorganizmų, naudojimas yra perspektyvus būdas pašalinti kelis teršalus vienu metu (Wu et al., 2012).

Vazoninių augalų dirvoje galima rasti įvairių mikroorganizmų. Jie atlieka didelį vaidmenį šalinant teršalus iš patalpų. Mikroorganizmų įvairios kultūros sąveikauja su ore esančiais teršalais ir taip juos pašalina (Šatkauskienė, 2010).

Pasaulio mokslininkų atlikti tyrimai rodo, kad mikroorganizmai gali keisti savo veiklos strategiją priklausomai nuo aplinkos sąlygų. Pavyzdžiui, bakterijos gali fiksuoti ir kaupti azotą, tačiau tik tada jei gyvena laisvai dirvožemyje ir dalyvauja denitrifikacijos procesuose, ardo organinę medžiagą ir, išskirdamos polisacharidus, didina dirvožemio agregatų patvarumą (Vilkienė ir Ambrazaitienė, 2018).

Pagrindinė priežastis, kodėl mikroorganizmai padeda valyti orą yra tada, kai teršalai yra naudojami kaip maistinė medžiaga. Mikroorganizmai dauginasi naudodami teršalus, kaip pagrindinį maisto šaltinį. Nuo to kiek periodiškai yra suvartojama teršalų, galima spręsti pagal jų augimą ir fiziologinį būvį. Turi būti išlaikoma pagrindinė ir svarbiausia sąlyga – išlaikomas maistinių medžiagų perteklius. Pagrindinis minusas tas, kad augimo metu mikroorganizmai dėl metabolizmo išskiria šalutinius produktus, todėl gali atsirasti ne viena mikroorganizmų kultūra (Rutkovienė ir Sabienė, 2008). Dėl bendros augalo fiziologijos galima daryti išvadą, kad ir vazoninių augalų gebėjimas šalinti teršalus iš dalies priklauso nuo jame esančios mikroorganizmų kultūros (Wu et al., 2012).

#### 1.5.5. Augalų rūšys

Labai svarbus faktorius augalų gebėjime šalinti teršalus yra jų rūšis. Kaip buvo minėta, augalai ne vienodai gali šalinti ir kaupti neorganinius teršalus, dėl šios priežasties buvo atlikti tyrimai norint išsiaiškinti kaip teršalų šalinimas ir jo intensyvumas priklauso nuo augalo rūšies. Atliktame tyrime buvo naudotos 28 augalų rūšys, kurios buvo iš 15 šeimų. Skirtingos rūšys ir šeimos buvo pasirenkamos norint nustatyti benzeno, octano ir trichoretileno pašalinimo galimybes. Buvo tirtos Araliaceae ir Araceae šeimos, tarp kurių reikšmingų skirtumų nebuvo nustatyta, tačiau tyrimas atskleidė, jog Araliaceae šeimos atstovai turi žymiai aukštesnes teršalų pašalinimo normas nei Araceae šeimos narių šalinimo ribos (Kim et al., 2008). Autoriai tyrimo metu taip pat tyrė ir formaldehido pašalinimo galimybes iš 86 skirtingų rūšių augalų, kuriuos suskirstė į kelias kategorijas. Pirmoji kategorija – vaistažolės, kuriose buvo tirti paparčiai – pasižymėjo didžiausia galima formaldehido pašalinimo norma. Kitų kategorijų – sumedėjusių lapinių augalų, žolinių augalų ir korėjiečių gimtųjų augalų savybės yra labai panašios, tačiau jų šalinimo normos buvo kur kas mažesnės nei paparčių ir kitų augalų. Nors buvo nustatyti gan dideli skirtumai kiekvienoje grupėje, patvirtinti, kad rezultatai buvo reikšmingi negalima. Ši prielaida formuojama todėl, kad minėtosios grupės yra per plačios jog galima būtų išskirti skirtumus tarp augalų rūšių. Tačiau tyrimas leido suformuoti 2 diferenciacijos faktorius tarp augalų rūšių:

1. Lapo parametrai – žiotelių dydis, vaško sluoksnis ar plaukeliai, kurie daro įtaką teršalų difuzijai į lapus.
2. Gebėjimas saugoti ir kaupti. Didesnis žiotelių tankumas ir laipsniškai didėjantis katalizės aktyvumas po formaldehido poveikio buvo viena iš pagrindinių priežasčių didesnės formaldehido dalies pašalinimui vaistinėje melisoje nei angliškoje gebenėje (Jin et al., 2013).

### 1.5.6. Šviesos įtaka teršalų skaidymui

Augalų varstomosiose ląstelėse esantys chloroplastai, reaguoja į šviesos intensyvumą. Kuo stipresnė šviesa yra gaunama ir kuo didesnis chlorofilo kiekis chloroplastuose, tuo intensyvesnė transpiracija. Transpiracijos procesas suintensyvėja 30 – 40 proc. netgi esant išskaidytai šviesai. Žiotelės atsiveria, nes šviesos kvantai (hv) suintensyvina varstomosiose ląstelėse esančiuose chloroplastuose fotosintezės procesą, o varstomosiose ląstelėse pasikeičia vandens potencialas  $\Psi_w$ . Vanduo iš aplinkinių ląstelių teka koncentracijos suvienodėjimo kryptimi, t. y. į varstomasias ląsteles (hidroaktyvi žiotelių reakcija). Joms atsivėrus - padidėjus ląstelių citoplazmos pralaidumas ir suintensyvėja vandens išgarinimas. Dėl garavimo sumažėjus vandens kiekiui varstomosiose ląstelėse, pastarosios užsiveria, todėl šviesos srautas turi įtakos ir dujų apykaitai. Transpiracijos procesas veikia pagal Daltono dėsnį, esant slėgių skirtumui. Augalui pradėjus žiotelių ir ne žiotelių būdu reguliuoti išgarinamo vandens kiekį, procesas vyksta lėčiau nei pagal Daltono dėsnį (Malinauskaitė, 2018).

Šviesa yra vienas svarbiausių augalams reikalingų gyvavimo veiksnių. Be šviesos ir jos šaltinių augalai neišgyventų. Tai ne tik vienintelis natūralus energijos šaltinis fotosintezei – įvairūs šviesos fizikiniai parametrai augalus veikia kaip informacijos šaltinis, nulemiantis jų augimo ir vystymosi kryptingumą. Sudėtinga ir kompleksinė fotoreceptorių sistema (chlorofilai, karotinoidai, fitochromai, kriptochromai, fototropinai ir kiti receptoriai) reaguoja į šviesos spektro kitimus, srauto intensyvumą, spindulių kritimo kampą, fotoperiodo trukmę ir kt. Šviesos parametrų kitimas sukelia įvairius morfogenetinius pokyčius, daro įtaką fotosintezės sistemos veiklai, metabolizmo reakcijoms, tačiau šis skirtingų rūšių augalų efektas skiriasi. Yra duomenų, kuriais remiantis galima daryti prielaidą, kad šviesos intensyvumas turi teigiamą įtaką teršalų pašalinimo efektyvumui, pavyzdžiui: Indijos oleandras (lot. *Nerium indicum*) parodė aiškius formaldehido pašalinimo kiekius didėjant šviesos intensyvumui. Šviesos intensyvumo poveikis ne visada yra tiesiškas (Baosheng et al., 2009).

Didėjant šviesos intensyvumui iki prisotinamumo, didėja žiotelių laidumas ir tuomet į augalą pro žiotelės gali patekti didesnis kiekis teršalų iš aplinkos oro. O geras pateikimas per augalo kutikulę gali turėti įtakos tam, jog didėjantis šviesos intensyvumo poveikis augalui, gali būti mažesnis nei patikimas į kutikulę, kai ji nepaveikta šviesos. Manoma, jog teršalų kiekio pašalinimas yra didesnis tada, kai padidėja žiotelių laidumas ir jos yra labiau prasivėrusios, nes tada yra didesnis teršalų pasisavinimas į augalą (Malinauskaitė, 2018). Taip pat yra atlikti ir kiti tyrimai, kuriuose aprašoma jog kai kuriems augalams šviesa neturėjo jokio poveikio. Ši išvada galėjo būti formuojama todėl, jog manoma, kad šis procesas labiau gali būti susijęs su mikroorganizmų veikla augaluose, kuri yra pagrindinė ir svarbiausia šalinant teršalus (Orwell et al., 2004).

### 1.5.7. Temperatūros įtaka teršalų skaidymui

Augalų fiziologiniai procesai yra tiesiogiai susiję su temperatūros ir drėgmės režimu bei jų kaita. Tai vieni pagrindinių aplinkos veiksnių, nuo kurių priklauso augalų augimo ir vystymosi procesai bei produktyvumas (Sakalauskienė et al., 2008).

Vos keliais laipsniais aukštesnė temperatūra nei įprasta ir normali, veikia daugelio fermentų funkcijas ir sukelia baltyminių medžiagų ekspresiją. Aukštesnė temperatūra (iki tam tikros ribos) pagreitina ir gerina augalo augimą ir vystymąsi. Jis greičiau auga, subrandina dalis ir vaisius. Esant netinkamoms sąlygoms, pavyzdžiui, vandens deficitui, įvyksta pirmasis ir jautriausias augalo atsakas – ląstelių stangrumo sumažėjimas ir augimo proceso sulėtėjimas (Šiupinienė, 2009).

Dėl vandens trūkumo sumažėja anglies pasisavinimas, kuris priklauso nuo žiotelių varstymosi. Be to, vandens trūkumas ir aukšta temperatūra gali skatinti laisvųjų radikalų bei

aktyvių deguonies darinių formavimąsi, kurie pažeidžia augalų metabolizmo procesus. Augalų reakcija į temperatūros bei drėgmės pokyčius priklauso nuo augalų rūšies, veislės, genetinių savybių, amžiaus ir išsivystymo lygio. Skirtingai išsivystę augalai į stresą sukeliančius veiksnius reaguoja skirtingai. Pastebėta, kad augalai, prisitaikę prie vieno stresoriaus, tampa atsparesni ir kompleksiniam kelių stresorių poveikiui (Sakalauskienė et al., 2008).

Didėjanti temperatūra turi įvairų poveikį teršalų šalinimui. Kručaitė, 2018 metais atliko tyrimą su žemaūge palme (lot. *Phoenix roebelenii*), kuri buvo veikama formaldehidu 21–26 °C temperatūroje. Gauti rezultatai parodė, kad šalinimo efektyvumas didėja didėjant temperatūrai, tačiau paveikus formaldehidu 21–27 °C temperatūroje, pašalinimo efektyvumas tabako augaluose (*Nicotiana tabacum*) nepasikeitė. Velnio gebenė (lot. *Epipremnum aureum*) paveikta formaldehidu 12–25 °C temperatūroje parodė ir sumažėjimą, ir nuolatinį šalinimo efektyvumą. Nustatyta, kad optimali šalinimo temperatūra yra 21°C. Didėjanti temperatūra padidina kutikulės laidumą, o to pasekoje tai gali turėti įtakos teršalų šalinimo efektyvumui, nes padidėja difuzijos koeficientas augale. Didėjanti temperatūra taip pat turi įtakos mikroorganizmų augimui dirvožemyje, kurie suvartoja atitinkamą kiekį teršalų. Trukdantis veiksnys šiame bandyme yra junginių susiskaldymas vandenyje ir tolimesnė absorbcija pro apatinę lapo pusę, kuri yra vandenyje. Tikėtina, kad tai tik minimali rizika ir įtakos rezultatams neturėtų būti. Teršalai yra pašalinami iš aplinkos, tačiau jie kaupiasi augaluose, o didelis jų sankaupų kiekis augalams gali sukelti žalingus padarinius. Yra pastebėtas benzeno kaupimasis obelių ir gervuogių lapuose, o taip pat ir jų vaisiuose. To pasekoje ilgas ir nuolatinis tokių vaisių vartojimas gali sukelti įvairias ligas (Kručaitė, 2018).

## PIRMOJO SKYRIAUS IŠVADOS

1. Patalpų ore tarša atsiranda dėl namų ūkio veiklos, statybinių medžiagų, baldų, įvairių oro gaiviklių ar įvairios buitinės chemijos naudojimo namų ar gamyklinėje aplinkoje.
2. Išnagrinėjus literatūrą, buvo nustatyta, jog teršalų koncentracijų matavimai atliekami tiek tradicine metodika ir prietaisais, tiek nebevengiama naudoti naujausiais šiuolaikiškais metodais pagrįstų matavimo būdų.
3. Augalų reakcijos į skirtingas aplinkos sąlygas yra gana plačiai išnagrinėtos. Yra augalų rūšių, kurios gali būti naudojamos kaip indikatoriai, stebint ir nustatant aplinkos oro situaciją.
4. Išanalizuota, kad aplinkos oro tarša gali būti aktyvi arba pasyvi. Pasyvios oro taršos šaltiniai teršia lėtai, palaipsniui į aplinką išskirdami įvairius teršalų kiekius, o aktyvi aplinkos oro tarša susidaro dėl naudojamų buitinių medžiagų, vėdinant patalpas, gaminant maistą ar rūkant. Aktyviai taršai, priešingai nei pasyviai, būdingas staigus koncentracijų šuolis.

## 2. MEDŽIAGOS IR TYRIMO METODIKOS

Šioje darbo dalyje yra aprašomos tyrimų atlikimui naudotos medžiagos, laboratorinė įranga bei mėginių paėmimo sąlygos ir analizavimo metodai. Atliekant eksperimentinius tyrimus su augalais buvo numatyti tyrimų etapai. Pagal juos buvo nustatomas neorganinių teršalų ( $\text{SO}_2$  ir  $\text{NO}_x$ ) išvalymo efektyvumas. Eksperimentinės procedūros buvo atliktos tokiais etapais:

1. Į kamerą įvedant parinkto teršalo pradinę koncentraciją;
2. Oro valymo efektyvumas vertintas priklausomai nuo šviesos intensyvumo.

### 2.1. Tiriamieji augalai

Tiriamieji augalai: kuokštinis chlorofitas (lot. *Chlorophytum comosum*) ir pelargonija (lot. *Pelargonio zonale*). Augalai ir jų lapai vizualiai įvertinti. Atkreipiamas dėmesys į lapus ar jie gyvybingi, žaliuojantys, nenuvytę ar lapuose nesimato ligos požymių (juodų, geltonų dėmių). Augalai buvo laikomi tuose pačiuose vazonuose su dirvožemiu, kuriame užaugo, periodiškai laistomi bei tręšiami, jų gyvybingumą visam eksperimento laikotarpiui užtikrinti ir pritaikyti. Eksperimento rezultatams gauti, buvo labai svarbi augalų lapija, todėl atliekant eksperimentinius tyrimus vazonai ir dirvožemis apdengti maistine plėvele, norint išvengti dirvožemio ir jame esančių mikroorganizmų daromos įtakos tyrimų rezultatams.

### 2.2. Tyrime naudojamos medžiagos

Ruošiant pradines koncentracijas ir sugeriamuosius tirpalus tyrime naudoti reagentai ir tirpalai: sieros rūgšties 0,1 N tirpalas, kalio jodido (KI) 3 % vandeninis tirpalas, kalio jodato 1 % vandeninis tirpalas, sugeriamasis tirpalas. 1% kalio jodato vandeninis tirpalas 1:3,5 santykiu maišomas su distiliuotu vandeniu, standartinis sieros dioksido tirpalas, turintis 100  $\mu\text{g}/\text{ml}$  sieros dioksido. 3,12 ml 0,1 N sieros rūgšties tirpalas skiedžiamas sugeriamuoju tirpalu iki 100 ml, kalio sulfato standartinis tirpalas. 0,1776 g iškaitinto 2 val. prie 110-120 °C kalio sulfatas ištirpintas 1000  $\text{cm}^3$  talpos matavimo kolboje vandenyje, kuriame nėra sulfato jonų. Tirpalo koncentracija 100  $\mu\text{g}/\text{ml}$ ; bario chlorido 5 % tirpalas. 5 g bario chlorido ištirpinta 100 ml matavimo kolboje; etilo alkoholis, 96 %; etilenglikolis; HCl 0,3 % tirpalas; sudėtinis tirpalas. 3 tūriai etilenglikolio sumaišoma su vienu tūriu 5 % bario chlorido ir 3 tūriais etilo alkoholio. Tirpalo pH sureguliuojamas 0,3 % druskos rūgštimi iki 2,5–2,8. Gaminamas 2 dienos iki naudojimo. Galioja 2 mėn.; distiliuotas vanduo; natrio sulfito sotos tirpalas; koncentruota sieros rūgštis; azoto rūgštis.

Eksperimentiniame tyrime naudota laboratorinė įranga:

- Spektrofotometras 6300 Vis;
- Elektrinis aspiratorius;
- Sugeriamieji indai;
- Matavimo kolbos, 100 – 1000 ml tūrio;
- Graduotos pipetės 1,5 – 10 ml tūrio;
- Stiklinės kolbos;
- Silikoninės žarnelės 1,0 – 1,5 m ilgio ir 1,0 cm skersmens.

## 2.3. Tyrimo eiga

Teršalų ( $\text{SO}_2$  ir  $\text{NO}_x$ ) kiekio nustatymas buvo vykdomas fotometrijos metodu. Eksperimentas buvo atliktas bendradarbiaujant su UAB „Visagino energija“ ir Ignalinos atominės elektrinės Aplinkos stebėsenos laboratorijomis.

Pirmiausia tyrimui atlikti buvo sumontuota speciali sandari 50 centimetrų ilgio, pločio ir aukščio matmenų, organinio stiklo pluošto kamera. Bendra kameros talpa – 125 litrai.

Siekiant, kad tyrimai kuo labiau atitiktų gyvenamosios aplinkos sąlygas buvo fiksuojama skaitmeniniu termometru temperatūra, kuri patalpoje buvo 20–25 °C ir oro drėgmės kiekis kuris buvo palaikomas ~ 50%.

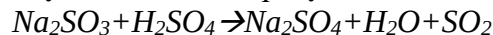
Pasirinkta, kad eksperimentai būtų atliekami skirtingomis sąlygomis:

- tamsoje;
- dirbtinėje šviesoje, naudojant 15 W elektros lempuotę, kurios skleidžiama šviesa sudaro 1100 liumenų (lm). Tai atitinka 1100 liuksu (lx) apšviečiant  $1\text{m}^2$  paviršiau ploto.
- natūralioje dienos šviesoje, kurios apšvieta buvo nuo 1750–2000 lx.

Tam, kad įvertinti šviesos intensyvumą, šviesos matavimai buvo atliekami su šviesos matuokliu SAUTER SO 200K.

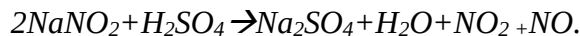
Pradedant eksperimentinį tyrimą laboratorijoje paruošiami standartiniai ir sugeriamieji tirpalai. Visi tyrimai ir tirpalai buvo laikomi traukos spintoje.

Atliekant eksperimentinį tyrimą su kambariniu augalu ir  $\text{SO}_2$  pirmiausia buvo paruošiamos pradinės teršalo koncentracijos. Eksperimentiniams tyrimams buvo sudaromas taršos šaltinis, dirbtiniu būdu sukeliant cheminę reakciją.  $\text{SO}_2$  šaltinis sudaromas tarp sieros rūgšties ir natrio sulfito tirpalo.  $\text{SO}_2$  šaltinis buvo į natrio sulfito tirpalą lėtai lašinant 6 lašus 0.1 N sieros rūgštį:



$\text{SO}_2$  sugeriamasis tirpalas ruošiamas 1% kalio jodato vandeninis tirpalas 1:3,5 santykiu maišomas su distiliuotu vandeniu.

Prieš atliekant eksperimentinius tyrimus su kambariniu augalu ir  $\text{NO}_x$  kaip jau buvo minėta anksčiau pirmiausia paruošiamas standartinis ir sugeriamasis tirpalas.  $\text{NO}_x$  šaltinis sudaromas tarp sieros rūgšties ir natrio nitrito tirpalo.  $\text{NO}_x$  šaltinis buvo į natrio nitrito tirpalą lėtai lašinant 6 lašus 0.1 N sieros rūgštį:



$\text{NO}_x$  sugeriamasis tirpalas ruošiamas taip acto rūgštis su naftilamino tirpalu sumaišomi santykiu 1:1 ir pripilama acetono 10 %.

Eksperimentinė kamera buvo paruošiama naudojimui. Tai yra į kamerą buvo įdedamas tiriamasis augalas. Šalia tiriamojo augalo padedama stiklinė su tiriamojo teršalo šaltiniu. Tiriamieji teršalai vykstant cheminiai reakcijai kontaktavo su tiriamuoju kambariniu augalu. Tam kad vyktų natūralus teršalo ir augalo kontaktas papildomos įrangos naudoti neprireikė.

Kameros šoninėje sienelėje buvo padaryta speciali anga per kurią oras buvo ištraukiamas elektriniu aspiratoriumi. Eksperimento metu anga buvo sandariai uždaryta.

Po 6 valandų buvo nustatomas aplinkos oro nuo  $\text{SO}_2$  ir  $\text{NO}_x$  išvalymo efektyvumas. Sugeriamieji indai pripildomi sugeriamojo tirpalo. Į kiekvieną sugeriamąjį indą su pipete buvo įpilama 5 ml jau paruošto sugeriamojo tirpalo. Vienam aplinkos oro mėginiui paimti buvo naudojami 2 lygiagrečiai sujungti sugeriamieji indai su sugeriamuoju tirpalu. Kiekvienas sugeriamojo tirpalo indas saugiai laikomi mėgintuvėlių stovė.

Oro mėginiai buvo imami elektriniu aspiratoriumi, prie kurio buvo prijungiami jau paruošti sugeriamieji indai. Oras traukiamas 1 minutę.

Tyrimo vietoje, silikoninės žarnelės (1,0 – 1,5 m ilgio ir 1,0 cm skersmens) prijungiamos prie kameros oro išėjimo angos. Po vienos minutės iš sugeriamųjų indų į mėgintuvėlius buvo išpilamas sugeriamasis tirpalas prisotintas teršalu. Sugeriamieji indai buvo vėl pripildomi sugeriamojo tirpalo ir bandymas kartojamas. Taip eksperimentinis bandymas buvo kartojamas tris kartus. Mėgintuvėliai su sugeriamuoju tirpalu prisotintu teršalo, sunumeruojami.

Paėmus tiriamuosius mėginius (sugeriamąjį tirpalą prisotintą teršalu) iš kiekvieno mėgintuvėlio buvo paimama po 2 ml tiriamojo tirpalo. Į tiriamuosius tirpalus buvo pilama po 0,5 ml 3 % kalio jodido tirpalo.

Praėjus 10 min po bandinių paruošimo buvo matuojamas optinis tankis. Tuo tikslu naudojamas spektrofotometras. Nustatomas reikiamas 400 nm bangos ilgis. Prieš atliekant matavimus atliktas „tuščias“ bandymo matavimas. Toliau buvo matuojami visi gauti bandiniai. Baigus matavimus galutiniai rezultatai skaičiuojami pagal sekančias formules.

Koncentracijos aplinkos ore ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) skaičiuojamos pagal formulę:

$$c = \frac{c_1 \cdot V_1}{V_2 \cdot Q \cdot t \cdot K}, \text{ mg}/\text{m}^3 \quad (2.1)$$

čia:  $c$  – teršalo koncentracija,  $\text{mg}/\text{m}^3$ ;

$c_1$  – teršalo koncentracija mėginyje, pagal kalibracinę kreivę,  $\mu\text{g}/\text{ml}$ ;

$V_1$  – mėginio tūris, sugeriamajame inde, ml;

$V_2$  – mėginio tūris, paimtas analizei, ml;

$Q$  – traukiamo oro srauto greitis, l/s;

$t$  – traukimo greitis, min;

$K$  – koeficientas perskaičiuoti koncentracijai į normalias sąlygas.

$K$  apskaičiuojamas pagal formulę:

$$K = \frac{P \cdot 273}{760 \cdot (t + 273)} \quad (2.2)$$

čia:

$P$  – atmosferos slėgis, mm Hg st.;

$t$  – traukiamo oro temperatūra,  $^{\circ}\text{C}$ .

Oro valymo efektyvumo nustatymas. Valymo efektyvumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$E = \frac{C_1 - C_2}{C_1}, \% \quad (2.3)$$

čia:

$E$  – valymo efektyvumas, %;

$C_1$  – teršalo koncentracija prieš bandymą;

$C_2$  – teršalo koncentracija po bandymo.

Atlikus eksperimentinį tyrimą ir nustačius oro valymo efektyvumą toliau tyrimo rezultatai pateikiami kitame skyriuje.

## ANTROJO SKYRIAUS IŠVADOS

1. Tyrimui buvo pasirinkti sveiki, be ligos požymių tiriamieji augalai: kuokštinis chlorofitas (lot. *Chlorophytum comosum*) ir pelargonija (lot. *Pelargonium zonale*). Augalai buvo laikomi tuose pačiuose vazonuose su dirvožemiu, kuriame užaugo, periodiškai laistomi bei tręšiami, jų gyvybingumą visam eksperimento laikotarpiui užtikrinti ir pritaikyti. Vazonai apdengti maistine plėvele, norint išvengti dirvožemio ir jame esančių mikroorganizmų daromos įtakos tyrimų rezultatams.
2. Teršalų ( $\text{SO}_2$  ir  $\text{NO}_x$ ) kiekio nustatymas buvo vykdomas fotometrijos metodu. Eksperimentas buvo atliktas bendradarbiaujant su UAB „Visagino energija“ ir Ignalinos atominės elektrinės Aplinkos stebėsenos laboratorijomis.
3. Įvertinamos papildomos aplinkos sąlygos: temperatūra, oro drėgmės kiekis ir šviesos intensyvumas.
4. Nustatoma tyrimo metodika ir atliekamų veiksmų eiga.
5. Gauti pradiniai rezultatai apdorojami matematiniais skaičiavimais.

### 3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ

Tyrimai buvo atliekami naudojant skirtingus augalus kuokštinį chlorofitą (lot. *Chlorophytum comosum*) ir pelargoniją (lot. *Pelargonium zonale*). Naudojant skirtingus apšvietimus (dienos šviesa, papildomas apšvietimas naudojant LED 15W elektros lempuotę ir tamsa). Eksperimentiniai tyrimai buvo vykdomi kai teršalų pradinės koncentracijos  $\text{NO}_x \sim 133 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ir  $\text{SO}_2 \sim 68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vieno augalo ir pasirinkto teršalo tyrimo laikas buvo vykdomas 6 val., tomis pačiomis aplinkos sąlygomis.

#### **Eksperimentinis tyrimas buvo vykdytas keturiais etapais:**

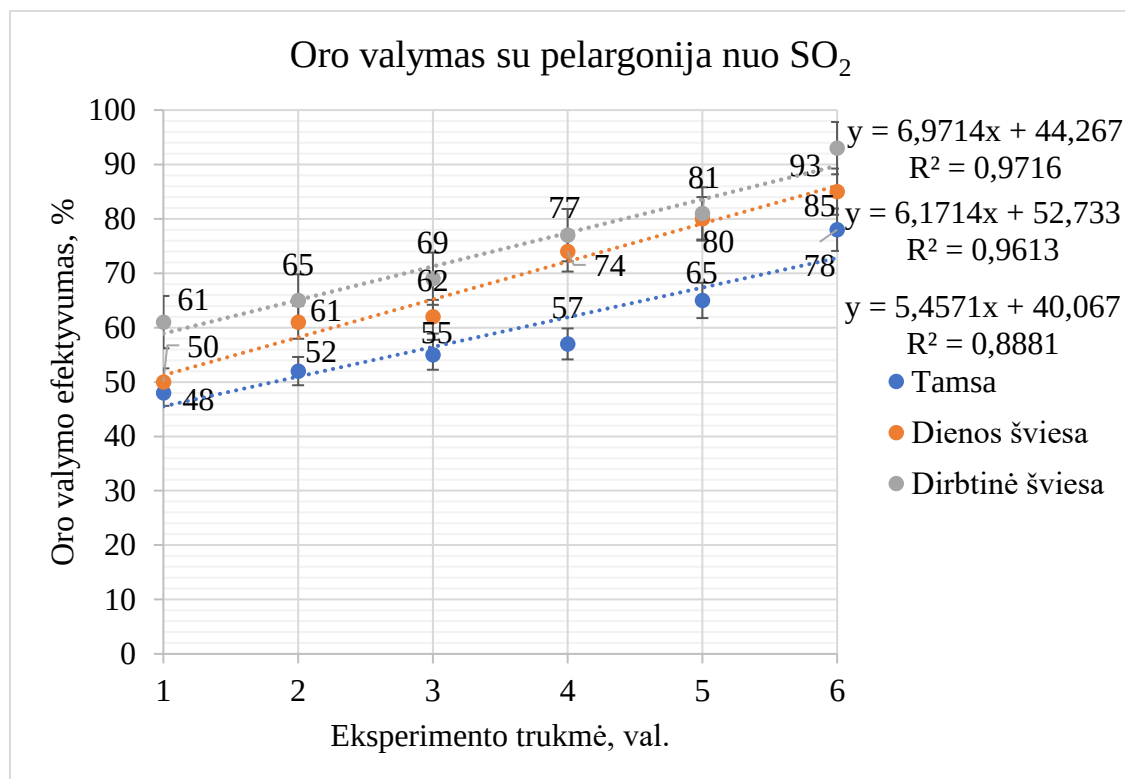
1. Eksperimentinis tyrimas buvo vykdomas nuo rugsėjo iki gruodžio mėnesio ir buvo tiriamas su pelargonija (lot. *Pelargonium zonale*) naudojant  $\text{SO}_2$  teršalą.
2. Eksperimentinis tyrimas buvo atliekamas nuo rugsėjo iki gruodžio mėnesio su kuokštiniu chlorofitu (lot. *Chlorophytum comosum*) naudojant  $\text{NO}_x$  teršalą.
3. Eksperimentinis tyrimas buvo vykdomas nuo sausio iki balandžio mėnesio su pelargonija (lot. *Pelargonium zonale*) naudojant  $\text{NO}_x$  teršalą.
4. Eksperimentinis tyrimas buvo vykdomas nuo sausio iki balandžio mėnesio su kuokštiniu chlorofitu (lot. *Chlorophytum comosum*) naudojant  $\text{SO}_2$  teršalą.

Atliekant eksperimentinius tyrimus buvo siekiama nustatyti neorganinių teršalų ( $\text{SO}_2$  ir  $\text{NO}_x$ ) išsisklaidymą nenaudojant papildomų sąlygų. Tam, kad atliekami tolimesni tyrimai būtų nepaveikti. Esant didesnei koncentracijai ( $\text{NO}_x \sim 133 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pilnam kameros išsivėdinimui reikalingas 12 val., laikas. Esant mažesnei koncentracijai ( $\text{SO}_2 \sim 68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) kamera išsivėdina per 6 val. Po kiekvieno atlikto eksperimento kamera buvo išvėdinama atidarant šoninę sienelę.

Prieš atliekant eksperimentinius tyrimus buvo atliekamas kameros sandarumo tyrimas. Į kamerą įvedamas teršalas su pradine koncentracija be augalo ir stebimas pokytis. Iš pradinių  $\text{NO}_x \sim 133 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ir  $\text{SO}_2 \sim 68 \mu\text{g}/\text{m}^3$  koncentracijų ir gautų rezultatų po 6 val., galima teigti, kad kamera yra pakankamai sandari. Kadangi tarp pradinių koncentracijų ir gautų rezultatų po 6 val., pokyčio skirtumas buvo 3 %.

#### **Oro valymo efektyvumo įvertinimas nuo $\text{SO}_2$ naudojant pelargoniją**

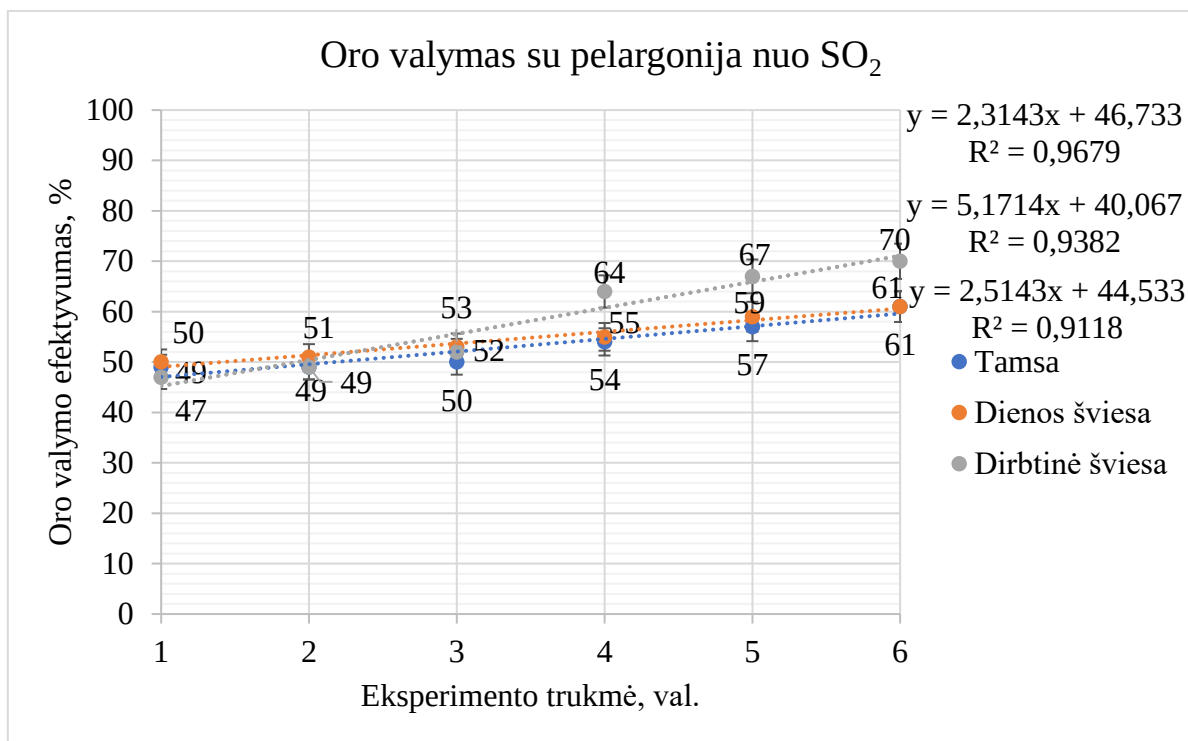
Pirmasis tyrimas atliktas su pelargonija (lot. *Pelargonium zonale*). Atlikus oro valymo efektyvumą nuo  $\text{SO}_2$  priklausomai nuo teršalo ir augalo kontakto laiko (6 val.) didžiausias oro išvalymo efektyvumas pasiekiamas dirbtinėje šviesoje.



**3.1 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant pelargoniją, po pirmos eksperimento dienos kai pradinė koncentracija SO<sub>2</sub> 69 µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės)

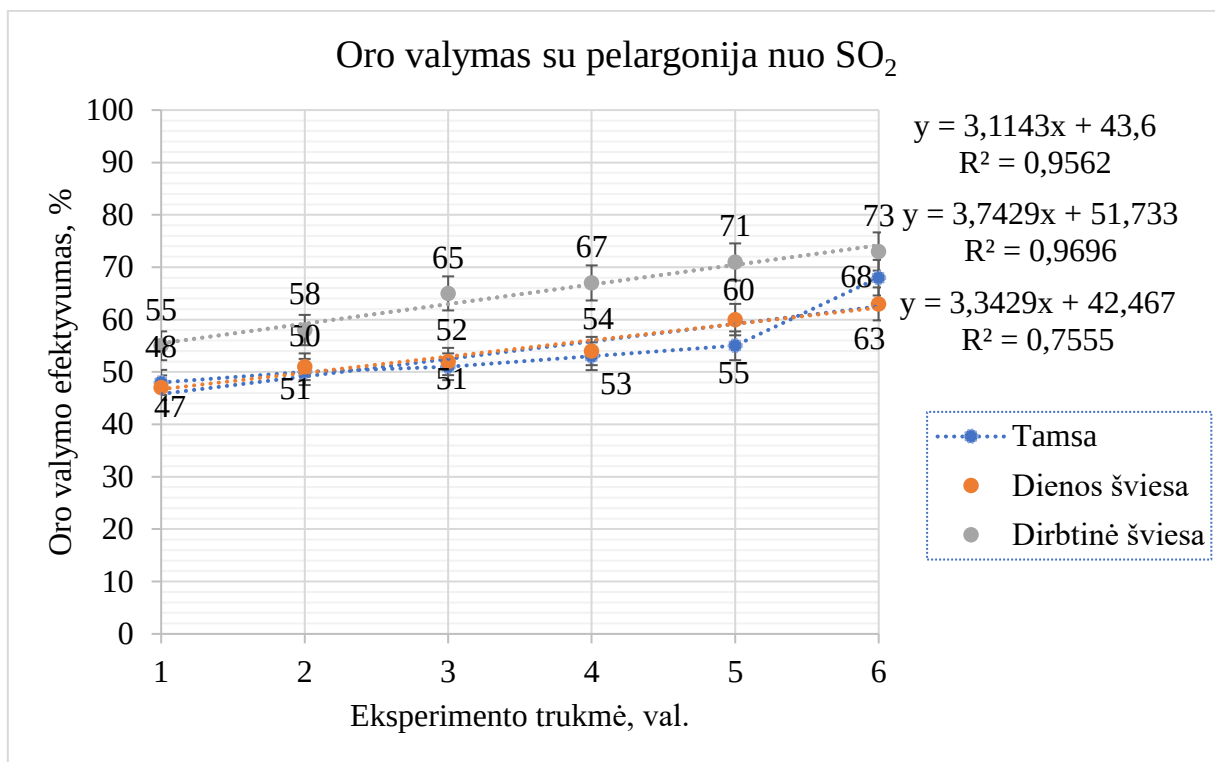
Nustatyta, kad po 1 valandos, esant pradinei SO<sub>2</sub> koncentracijai (69 µg/m<sup>3</sup>), kameros ore valymo efektyvumas siekė (48–61 %). Ilgėjant teršalo kontakto laikui su augalu, didėjo. Po 6 valandų, minėto kontakto efektyvumas siekė (78–93 %). Didžiausias efektyvumas buvo dirbtinėje (1100 lx) šviesoje ir siekė (93 %). Mažiausias efektyvumas (78 %) pastebimas tamsoje (žr. 4.1 pav.). Brilli (2019) nustatė, kad augalai gerina oro kokybę įvairiais būdais. Absorbuoja teršalus fotosintezės metu, teršalus kaupia šaknyse, dirvožemyje ir kt. Mokslininkas, Brilli (2019) iškėlė hipotezę, kaip optimaliai išnaudoti augalus patalpose. Pasak mokslininko, vienas vidutinio dydžio pasirinktas augalas gali išvalyti apie 4,3 m<sup>2</sup> patalpoje esančio oro nuo tam tikro teršalo.

Atlikus eksperimentinį tyrimą buvo nustatyta, kad SO<sub>2</sub> geriausiai išvalomas dirbtinėje šviesoje, o tai leidžia pagrįsti mokslininko hipotezę, kad dirbtinė šviesa yra palankiausia sąlyga valant SO<sub>2</sub> kambariniu augalu pelargonija (lot. *Pelargonio zonale*).



**3.2 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant pelargoniją, po antros eksperimento dienos kai pradinė koncentracija SO<sub>2</sub> 67 µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės)

Atlikus eksperimentinius tyrimus, po 14 dienų nustatyta, kad augalas nebeišvalo oro didesniu nei 70 % efektyvumu (žr. pav. 3.2). Daroma prielaida, kad augalui reikalingas ilgesnis regeneracijos laikas. Lichtenthaler (1996), remdamasis Selye (1936) augalų streso teorija, teigia, kad augalams reikalingas prisitaikymas prie naujai atsiradusių augalui nepalankių aplinkos veiksnių. Regeneracijos (atsistatymo) laikas yra tai, kai augalas savo fiziologines funkcijas pritaiko prie naujai atsiradusių aplinkos veiksnių (Sakalauskienė, 2011). Remiantis Vidovič (2017) teigimu, reikalingas regeneracijos (atsistatymo) laikas yra nuo 14 iki 21 dienos, tam, kad pagrįsti šią hipotezę buvo tęsiami eksperimentiniai tyrimai dar po 14 dienų. Gauti duomenys pateikti 3.3 paveiksle.

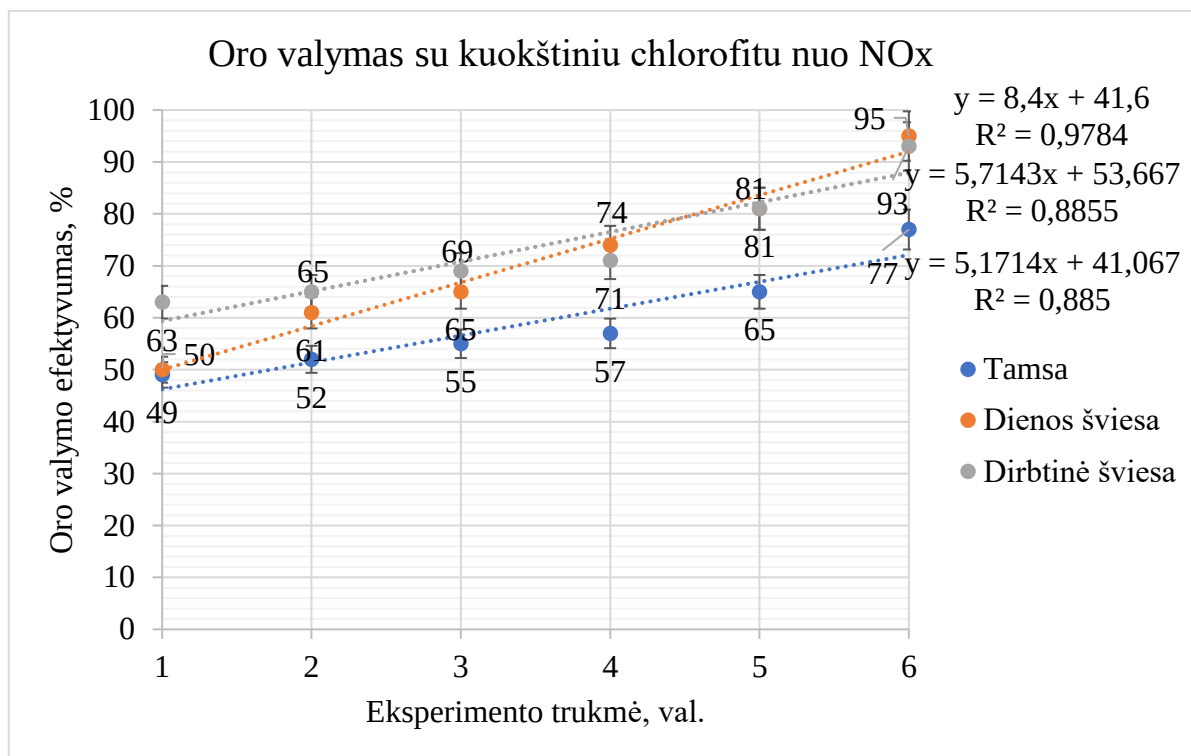


**3.3 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant pelargoniją, po trečios eksperimento dienos kai pradinė koncentracija SO<sub>2</sub> 66 µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės)

Ketvirtąją dieną buvo atliekami eksperimentiniai tyrimai su dviem pelargonijomis (lot. *Pelargonio zonale*). Viena jų buvo jau buvo oro valymo eksperimentuose, kita niekada nebuvo nenaudota eksperimentiniams tyrimams. Papildomai naudojant antrą tos pačios rūšies augalą oro valymo efektyvumas toks pat kaip ir pradiniam tyrimo eksperimente. Pelargonijos oro valymo efektyvumas didesnis, esant dirbtinei šviesai (1100 lx). Remiantis fotosintezės principu, siekiant pagerinti saulės energijos absorbciją reikia naudoti papildomas šviesos sistemas (House et al., 2015). Šiuo teiginiu pagrindžiami gauti eksperimentinio tyrimo rezultatai, kad dirbtinė šviesa padeda greičiau vykdyti fotosintezę ir taip pagerina oro valymo efektyvumą naudojant kambarinius augalus.

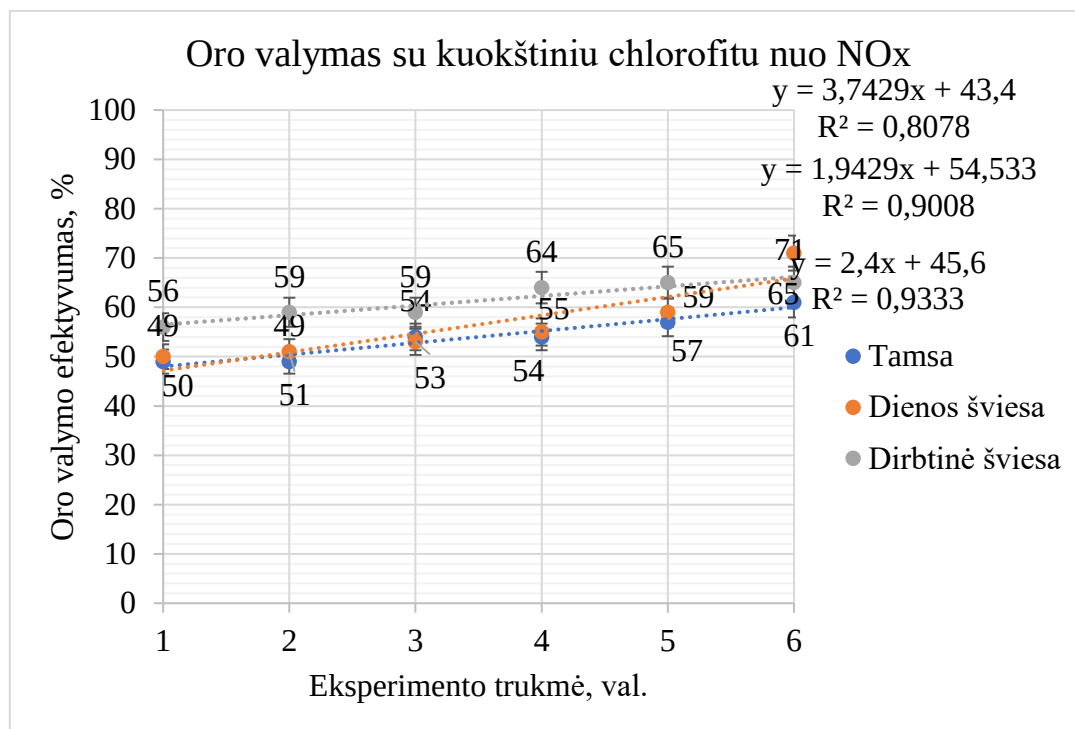
#### **Oro valymo efektyvumo įvertinimas nuo NO<sub>x</sub> naudojant kuokštinį chlorofitą**

Antrasis eksperimentinis oro valymo efektyvumo tyrimas buvo atliekamas su kuokštiniu chlorofitu (lot. *Chlorophytum comosum*) naudojant nuo NO<sub>x</sub>. Nustatyta, kad esant pradinei NO<sub>x</sub> koncentracijai (t.y. 133 µg/m<sup>3</sup>) pirmąją eksperimento dieną aplinkos oro valymo efektyvumas siekia 95–77 %. Oro valymo efektyvumas didžiausias pasiekiamas natūralioje dienos šviesoje ir siekė 95 %, o mažiausias buvo fiksuotas tamsoje – 77% (žr. 3.4 pav.). Dhir (2017) teigė, kad NO<sub>x</sub> augalai absorbuoja greičiau, dėl augaluose vykstančio transpiracijos proceso. Transpiracijos metu augalas atveria lapuose esančias žioteles – tokiu būdu teršalai yra greičiau absorbuojami ir pašalinami iš aplinkos oro.



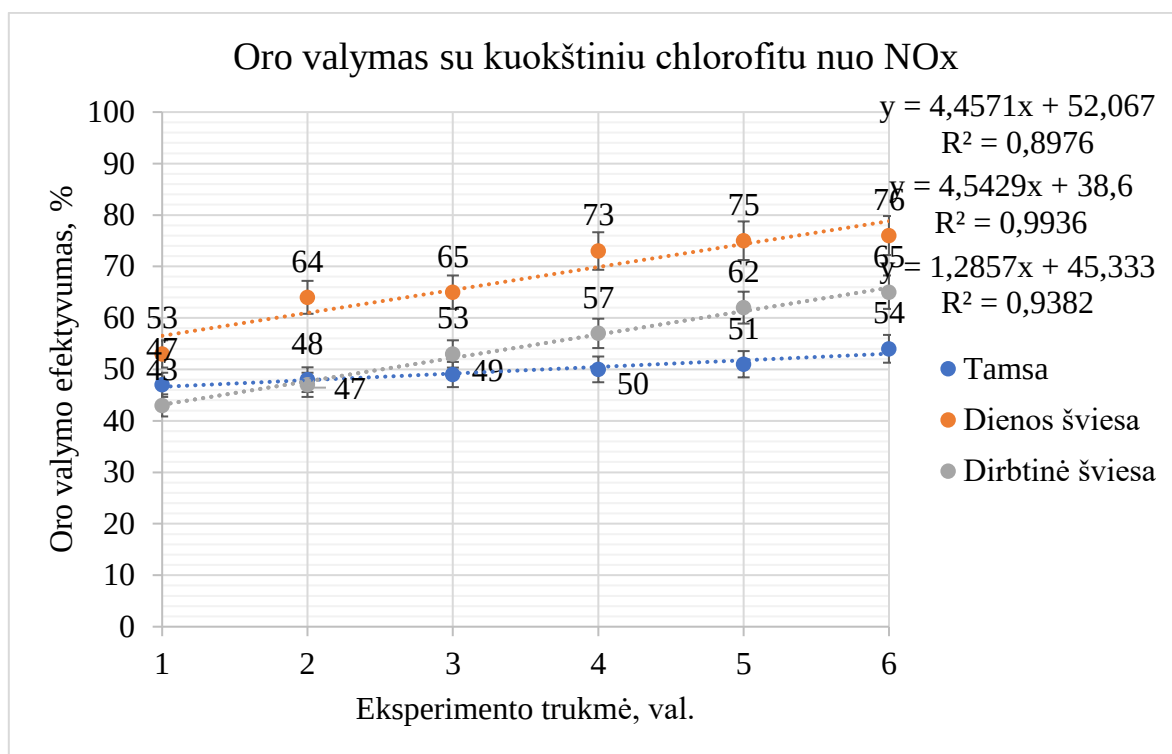
**3.4 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant kuokštinį chlorofitą, po pirmos eksperimento dienos kai pradinė koncentracija NO<sub>x</sub> 133 µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės)

Atliekant eksperimentą antrąją dieną (po 14 dienų) buvo nustatyta, kad esant pradinei NO<sub>x</sub> koncentracijai (133 µg/m<sup>3</sup>) kameroje, mažiausias valymo efektyvumas siekė 49 % tamsoje. Ilgėjant kontakto laikui su augalu, oro valymo efektyvumas didėjo ir siekė 71% dienos šviesoje. Mažiausias efektyvumas fiksuotas tamsoje 61% (žr. 3.5 pav.). Tai pagrindžia jau anksčiau minėtą Vidovič (2017) ir kt. mokslininkų hipotezę, kad augalams reikalingas atsistatymo laikas yra nuo 14 iki 21 dienos po kontakto su teršalu.



**3.5 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant kuokštinį chlorofitą, po antros eksperimento dienos kai pradinė koncentracija NO<sub>x</sub> 130 µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės)

Tyrimai toliau tęsiami dar po 14 dienų. Naudotas tas pats augalas kaip ir prieš tai tyrimų metu, o pradinė teršalo koncentracija parenkama tokia pati. Nustatyta, kad oro išvalymo efektyvumas, kaip ir prieš 14 dienų, buvo žemesnis nei pirmojo tyrimo dieną. Toliau augalas buvo stebimas ir atlikus pakartotinius tyrimus trečiąją eksperimento dieną (po 14 dienų) oro valymo efektyvumas pateikiamas grafike (žr. 3.6 pav.). Dėl kuokštiniame chlorofite vykstančios intensyvios fotosintezės dienos šviesoje teršalų absorbcija yra efektyvesnė, nei absorbcija tamsoje ar dirbtinėje šviesoje. Kaip jau buvo minėta, anksčiau transpiracijos metu augalas atveria lapuose esančias žioteles, todėl aplinkos ore esantys teršalai yra geriau absorbuojami.



**3.6 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant kuokštinį chlorofitą, po trečios eksperimento dienos kai pradinė koncentracija  $\text{NO}_x$   $131 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (sudaryta autorės)

Oro valymo efektyvumas su kuokštiniu chlorofitu (lot. *Chlorophytum comosum*), kai pradinė koncentracija  $\text{NO}_x \sim 131 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pasiekiamas dienos šviesoje – 76 %. Kaip ir prieš 14 dienų, mažiausias efektyvumas pastebimas tamsoje – 54 %. Atsižvelgiant į augalo fiziologiją, galima teigti, kad augalas vykdydamas fotosintezę  $\text{NO}_x$  išvalo 95 %, tačiau kaip ir prieš tai minėtame tyrime su pelargonija, augalui reikalingas ilgas atsistatymo po kontakto su teršalu laikas – nuo 14 iki 21 dienos.

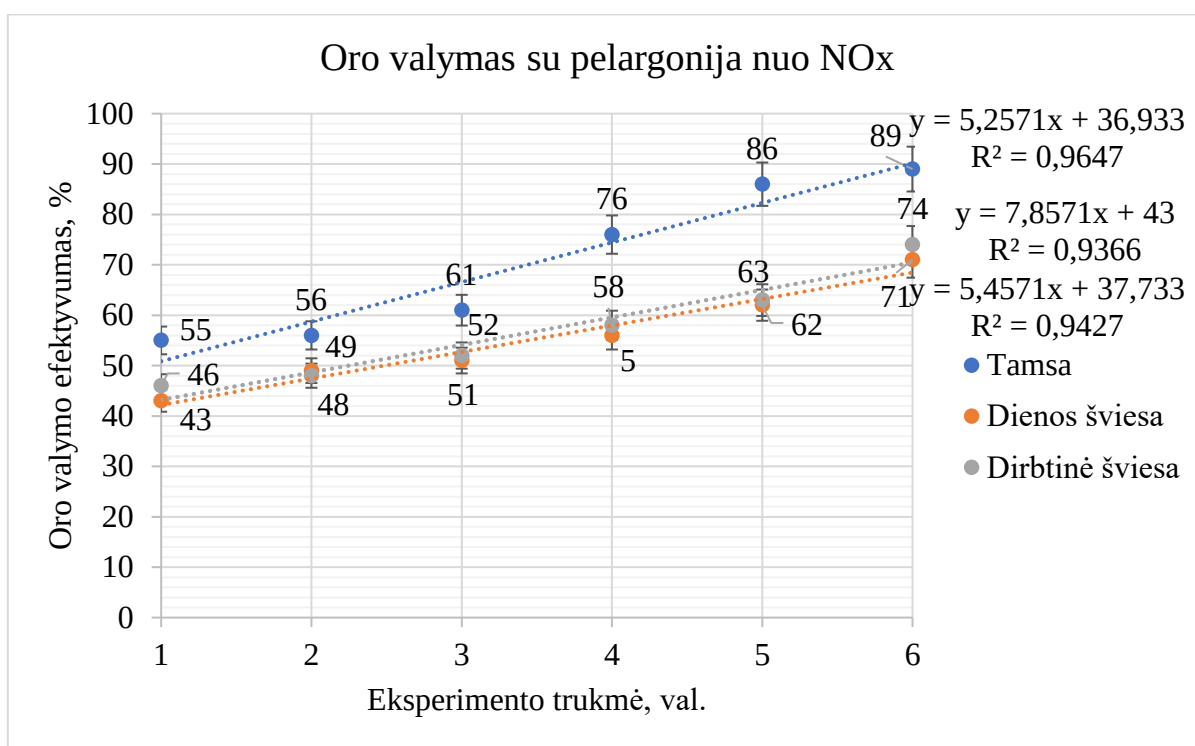
Ketvirtąją dieną, buvo atliekami eksperimentiniai tyrimai su dviem kuokštiniais chlorofitais (lot. *Chlorophytum comosum*). Vienas augalas jau buvo naudotas oro valyme, o kitas dar nenaudotas eksperimentiniams tyrimams. Papildomai naudojant antrą tos pačios rūšies augalą oro valymo efektyvumas toks pat, kaip ir pradiniam tyrimo eksperimente. Tai pagrindžia anksčiau minėtą mokslininkų hipotezę, kad augalams reikalingas atsistatymo laikas po kontakto su teršalu yra nuo 14 iki 21 dienos.

Toliau tyrimuose buvo siekiama išsiaiškinti koks oro išvalymo efektyvumas pasiekiamas sukeitus teršalus. Tai yra su kuokštiniu chlorofitu (lot. *Chlorophytum comosum*) valomas oras nuo  $\text{SO}_2$ , o su pelargonija (lot. *Pelargonium zonale*) valomas oras nuo  $\text{NO}_x$ . Kaip ir pirmąjį atliktų tyrimų pusmetį taip ir antrąjį tyrimai atliekami kas 14 dienų. Trečiasis tyrimas atliekamas valant orą su pelargonija (lot. *Pelargonium zonale*) nuo  $\text{NO}_x$ . Ketvirtasis tyrimas atliekamas valant orą su kuokštiniu chlorofitu (lot. *Chlorophytum comosum*) nuo  $\text{SO}_2$ .

#### **Oro valymo efektyvumo įvertinimas nuo $\text{NO}_x$ naudojant pelargoniją**

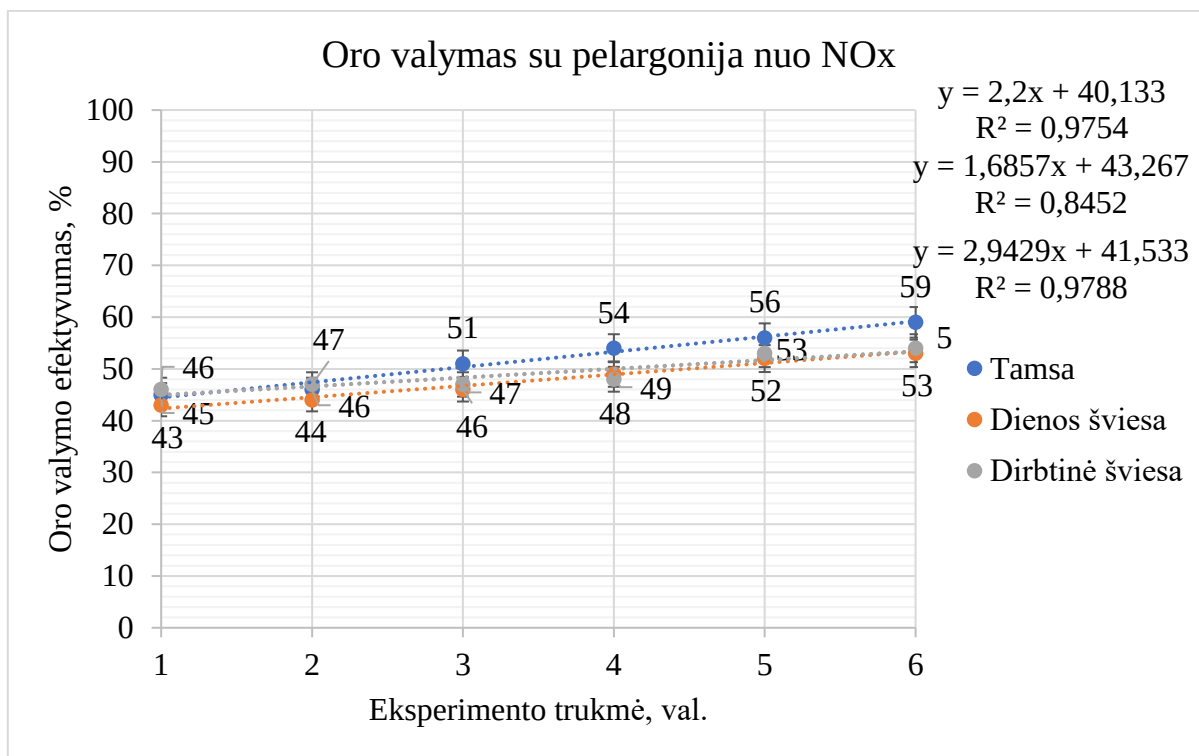
Atliekamas trečiasis tyrimas su pelargonija (lot. *Pelargonium zonale*) valant teršalą  $\text{NO}_x$  iš oro. Pradinės koncentracijos pasirenkamos tokios pačios kaip ir pirmojo tyrimo metu.  $\text{NO}_x$

koncentracija  $\sim 135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Atlikto tyrimo rezultatai pateikiami (žr. 3.7 pav.). Iš grafiko matoma akivaizdi augalo ir valomo oro priklausomybė nuo aplinkos sąlygų (tamsos, dirbtinės šviesos ir dienos šviesos). Kadangi  $\text{NO}_x$  valomas su kuokštiniu chlorofitu (lot. *Chlorophytum comosum*), geriausias efektyvumas buvo pasiekiamas dienos šviesoje, o su naudojant pelargoniją (lot. *Pelargonium zonale*) – tamsoje. Tai leidžia teigti, kad pelargonija tamsoje vykdydama kvėpavimo procesą puikiai valė orą nuo teršalų. Mažiausias efektyvumas buvo pasiektas dienos šviesoje – 71 %, o didžiausias išvalymo efektyvumas, 89 %, siekia tamsoje. Griffinas (2016), teigė jog fotosintezė yra svarbiausias procesas esant saulės šviesai, tačiau kai apšvietimo nėra, kvėpavimo procesas yra reikšmingesnis nei fotosintezė. Geriausiai kvėpavimo procesą vykdo jaunos augančio augalo dalys. Šis eksperimentinis tyrimas buvo atliekamas su jaunu augalu, o tai leidžia manyti, kad tiriamasis augalas puikiai atlieka kvėpavimo procesą. Dėl to galima formuluoti prielaidą, kad geriausias išvalymo efektyvumas pasiekiamas tamsoje.



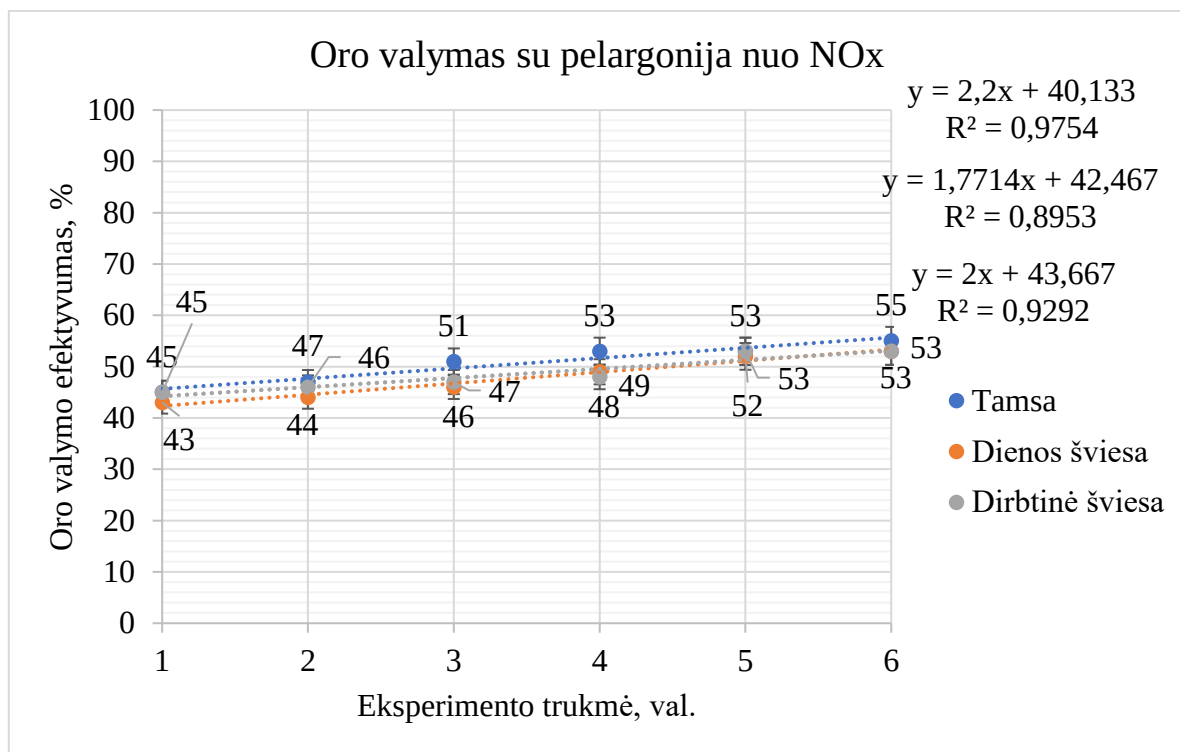
**3.7 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant pelargoniją, po pirmos eksperimento dienos kai pradinė koncentracija  $\text{NO}_x$   $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (sudaryta autorės)

Atliekant trečiąjį tyrimą, praėjus 14 dienų po pirmojo tyrimo, stebimas augalui reikalingas atsistatymo po kontakto su teršalu laikas. Oro išvalymo efektyvumas siekė 53–59 %. Kaip ir pirmojo tyrimo metu, geriausias oro valymo efektyvumas yra stebimas tamsoje. Antrojo tyrimo grafikas pateikiamas 3.8 paveiksle. Iš grafiko matoma, kad efektyvumas 6 valandų laikotarpyje kito 45–59 % ribose. Vertinant gautą oro išvalymo efektyvumą dienos šviesoje ir dirbtinėje šviesoje, rezultatai išliko panašūs – 43–53 %. Geriausias rezultatas pasiektas tamsoje siekė – 59 %. Kaip jau buvo minėta, tamsoje pasiektas geriausias oro valymo efektyvumas dėl kvėpavimo proceso.



**3.8 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant pelargoniją, po antros eksperimento dienos kai pradinė koncentracija NO<sub>x</sub> 136 µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės)

Atliekant tyrimus, praėjus 14 dienų, gauti rezultatai buvo panašūs į trečiojo tyrimo antros dienos rezultatus. Gauti duomenys pateikiami 3.9 paveiksle. Oro išvalymo efektyvumo skirtumas nuo antrosios tyrimo dienos rezultatų buvo 3 % mažesnis. Tai leidžia pagrįsti jau minėtą hipotezę, kad augalui reikalingas ilgesnis atsistatymo laikas, kuris turi siekti nuo 14 iki 21 dienos.



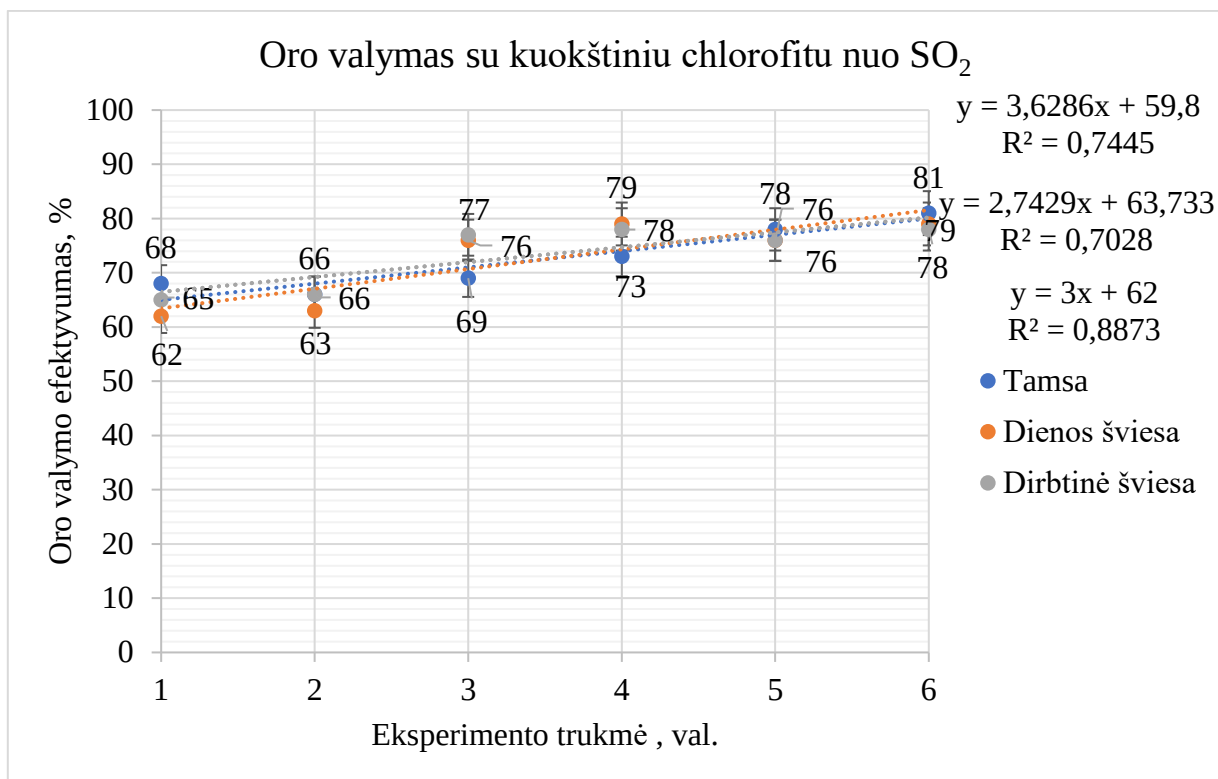
**3.9 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant pelargoniją, po trečios eksperimento dienos kai pradinė koncentracija  $\text{NO}_x$   $134 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (sudaryta autorės)

Ketvirtąją dieną buvo atliekami eksperimentiniai tyrimai su dviem pelargonijomis (lot. *Pelargonium zonale*). Vienas augalas jau buvo naudotas oro valymo tyrimuose, o kitas dar nenaudotas eksperimentiniams tyrimams. Papildomai naudojant antrą tos pačios rūšies augalą, oro valymo efektyvumas toks pat kaip ir pradiname tyrimo eksperimente. Tai pagrindžia anksčiau minėtą mokslininkų hipotezę, kad augalams reikalingas atsistatymo laikas po kontakto su teršalu yra nuo 14 iki 21 dienos.

### Oro valymo efektyvumo įvertinimas nuo $\text{SO}_2$ naudojant kuokštinį chlorofitą

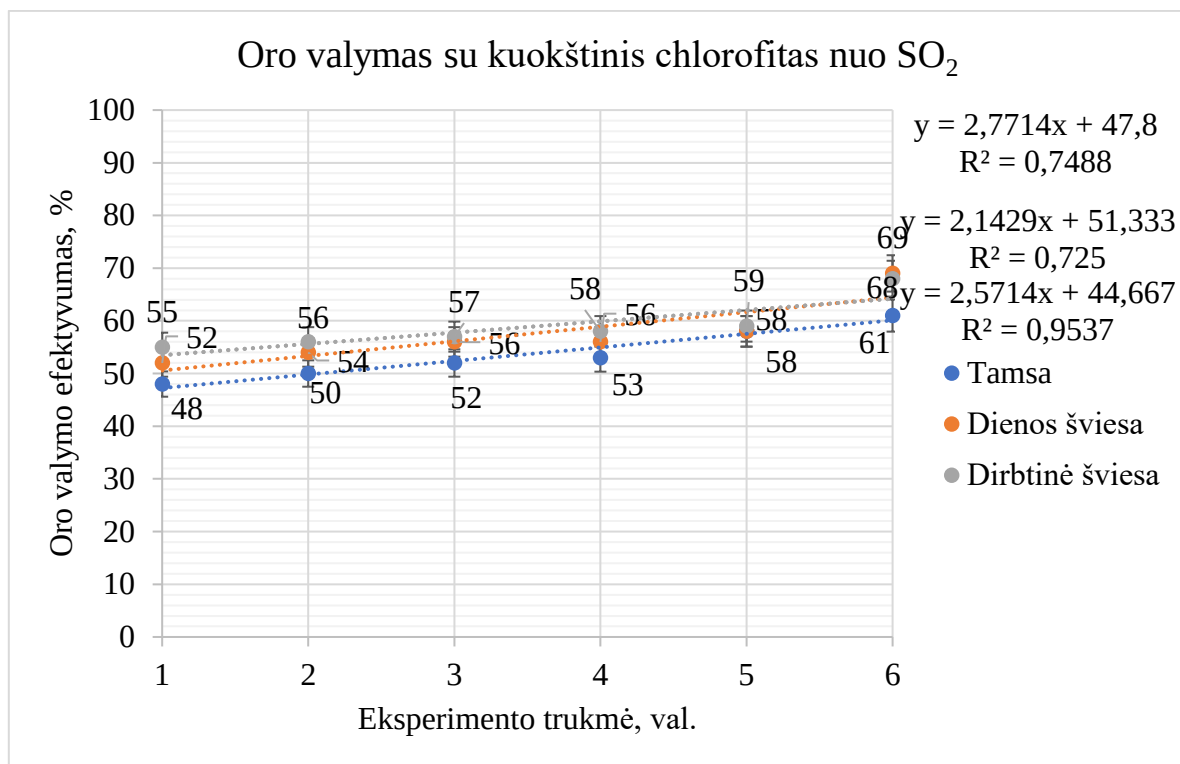
Ketvirtas tyrimas atliekamas su kuokštiniu chlorofitu (lot. *Chlorophytum comosum*), kai pradinės koncentracijos pasirenkamos tokios pačios kaip ir buvo per pirmąjį tyrimą.  $\text{SO}_2$  koncentracija  $\sim 67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Atlikto tyrimo rezultatai pateikiami 3.10 paveiksle. Iš grafiko pastebima, kad aplinkos sąlygos (tamsa, dirbtinė ir dienos šviesa) šiuo atveju nedarė didelio pokyčio gautiems rezultatams. Mažiausias efektyvumas dienos ir dirbtinėje šviesoje siekė 78 %, o didžiausias išvalymo efektyvumas (81 %) siekė tamsoje.

Griffinas (2016), teigė fotosintezės procesas yra svarbiausias procesas esant saulės šviesai, tačiau kai apšvietimo nėra kvėpavimo procesas yra svarbesnis nei fotosintezė. Geriausiai kvėpavimo procesą vykdo jaunos augančio augalo dalys. Šis eksperimentinis tyrimas buvo atliekamas su jaunu augalu, o tai leidžia manyti, kad tiriamasis augalas puikiai atlieka kvėpavimo procesą, todėl geriausias išvalymo efektyvumas pasiekiamas tamsoje.



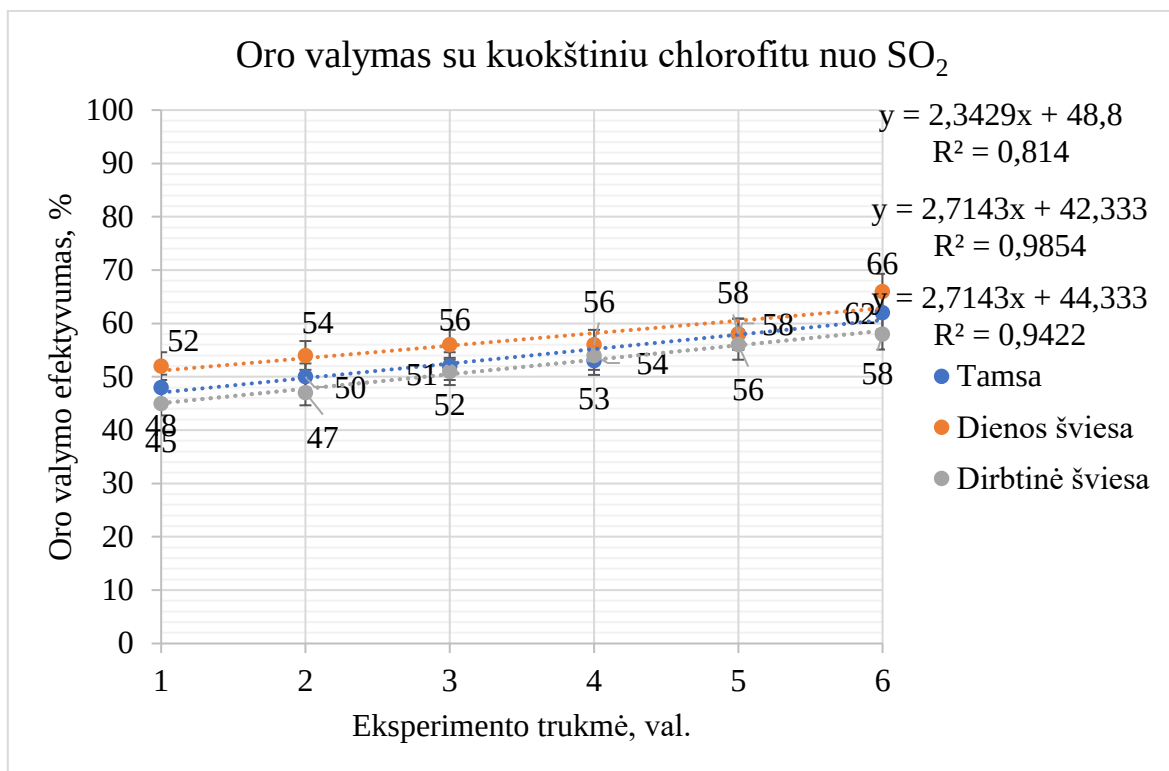
**3.10 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant kuokštinį chlorofitą, po pirmos eksperimento dienos kai pradinė koncentracija SO<sub>2</sub> 67μg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės)

Eksperimentinių tyrimu metu valant orą nuo SO<sub>2</sub>, antrąją ir trečiąją dieną, efektyvumas nebuvo labai didelis. Galima teigti, kad augalo regeneracijos (atsistatymo) laikas valant orą su kuokštiniu chlorofitu (lot. *Chlorophytum comosum*) nėra viena iš svarbiausių sąlygų rezultatams pasiekti. Iš pasirinktos pradinės teršalo koncentracijos ~ 67 μg/m<sup>3</sup>, galima teigti, kad kuokštiniai chlorofitai (lot. *Chlorophytum comosum*) tai yra per didelė koncentracija, kuri pažeidžia augalo lapus. Didžiausias oro išvalymo efektyvumas siekė 69 %, o dienos šviesoje buvo mažiausias – 61 % tamsoje. Antros dienos atliktų tyrimų rezultatų grafikas pateikiamas 3.11 paveiksle.



**3.11 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant kuokštinį chlorofitą, po antros eksperimento dienos kai pradinė koncentracija SO<sub>2</sub> 64µg/m<sup>3</sup> µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės)

Atliekant trečios dienos tyrimą po 14 dienų (žr. 3.12 pav.), didžiausias oro valymo efektyvumas (66 %) pasiekiamas dienos šviesoje. Mažiausias oro valymo efektyvumas buvo dirbtinėje šviesoje ir siekė 58 %. Kadangi tarp gautų oro išvalymo efektyvumo rezultatų po antros ir trečios dienos tyrimų skirtumas siekė 8 %, galima teigti, kad priklausomai nuo aplinkos sąlygų oro valymo efektyvumas kuokštiniai chlorofitai (lot. *Chlorophytum comosum*) SO<sub>2</sub> priklausomybė yra maža.



**3.12 pav.** Oro valymo efektyvumas naudojant kuokštinį chlorofitą, po trečios eksperimento dienos kai pradinė koncentracija SO<sub>2</sub> 65 µg/m<sup>3</sup> µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės)

Ketvirtąją dieną buvo atliekami eksperimentiniai tyrimai su dviem kuokštiniais chlorofitais (lot. *Chlorophytum comosum*). Vienas augalas jau buvo naudotas oro valymo tyrimuose, o kitas dar nenaudotas eksperimentiniams tyrimams. Papildomai naudojant antrą tos pačios rūšies augalą, oro valymo efektyvumas toks pat kaip ir pradiniam tyrimo eksperimente. Tai pagrindžia anksčiau minėtą mokslininkų hipotezę, kad augalams reikalingas atsistatymo laikas po kontakto su teršalu yra nuo 14 iki 21 dienos.

Iš visų gautų eksperimentinių tyrimų rezultatų galime stebėti, kokios tendencijos vyrauja gerinant oro kokybę priklausomai nuo aplinkos sąlygų. Geriausias oro išvalymo efektyvumas nuo NO<sub>x</sub>, pasiekiamas su kuokštiniu chlorofitu (lot. *Chlorophytum comosum*) dienos šviesoje (95 %), o mažiausias oro išvalymo efektyvumas nuo NO<sub>x</sub> pastebimas valant orą su pelargonija (lot. *Pelargonium zonale*) dienos šviesoje – 71 %.

Pelargonija (lot. *Pelargonium zonale*) efektyviausiai išvalė orą nuo SO<sub>2</sub> dirbtinėje šviesoje (93 %), o nuo NO<sub>x</sub> efektyviausiai išvalė tamsoje (89 %). Mažiausias efektyvumas pasiektas tamsoje šalinant SO<sub>2</sub> ir dienos šviesoje nuo NO<sub>x</sub> (71 %).

Kuokštinis chlorofitas (lot. *Chlorophytum comosum*) efektyviausiai orą išvalė nuo NO<sub>x</sub> (95 %) dienos šviesoje ir nuo SO<sub>2</sub> tamsoje (81 %). Mažiausias efektyvumas pasiektas valant orą nuo NO<sub>x</sub> (77 %) tamsoje, o šalinant SO<sub>2</sub> efektyvumas siekė 78 % dienos ir dirbtinėje šviesoje.

Brilli et al. (2019), nustatė, kad augalai gerina oro kokybę įvairiais būdais. Absorbuoja teršalus fotosintezės metu, teršalus kaupia šaknyse, dirvožemyje ir kt. Mokslininkas, Brilli (2019) iškėlė hipotezę, kaip optimaliai išnaudoti kambarinius augalus patalpose. Atlikus eksperimentinius tyrimus buvo nustatyta, kad SO<sub>2</sub> geriausiai išvalomas dirbtinėje šviesoje su pelargonija. Tai leidžia pagrįsti mokslininko hipotezę, kad dirbtinė šviesa palankiausia sąlyga valant nuo SO<sub>2</sub> naudojant

kambarinių augalų pelargoniją (lot. *Pelargonia zonale*). Oro išvalymo efektyvumas nuo NO<sub>x</sub> pasiekiamas su kuokštiniu chlorofitu (lot. *Chlorophytum comosum*) dienos šviesoje ir palyginti yra labai aukštas (95 %). Tai leidžia pagrįsti mokslininko hipotezę, kad augalų efektyvumas valant patalpų orą priklauso nuo šviesos intensyvumo.

Taip pat Yera et al. (1986) teigė, kad šviesos poveikis visuomet nėra vienodas. Tai priklauso nuo šviesos intensyvumo. Atlikti eksperimentiniai tyrimai gali skirtis priklausomai nuo metų laiko, kadangi tyrimai buvo vykdomi tamsiuoju paros metu – rudenį, žiemą ir pavasarį.

## TREČIOJO SKYRIAUS IŠVADOS

1. Valant teršalus ( $\text{SO}_2$ ) su pelargonija (lot. *Pelargonium zonale*), didžiausias oro valymo efektyvumas pasiekiamas dirbtinėje šviesoje (93%). Mažesnis efektyvumas buvo dienos šviesoje (85 %) ir tamsoje (78 %). Tai pagrindžia atliktus tyrimus, kad pelargonija (lot. *Pelargonium zonale*), absorbuoja teršalus ir dirbtinėje šviesoje
2. Naudojant kuokštinį chlorofitą (lot. *Chlorophytum comosum*) ir juo valant orą nuo  $\text{NO}_x$  didžiausias efektyvumas yra pasiekiamas dienos šviesoje (95 %) dėl vykstančios fotosintezės proceso, o tamsoje (77 %) ir dirbtinėje šviesoje (93 %) buvo mažesnis.
3. Iš aplinkos oro valant  $\text{NO}_x$  su pelargonija (lot. *Pelargonium zonale*), didžiausias efektyvumas yra pasiekiamas tamsoje (89 %) dėl vykstančio kvėpavimo proceso, kuomet žiotelės būna prasivėrusios labiausiai. Mažesnis teršalų iš oro valymo efektyvumas buvo dirbtinėje (74 %) ir dienos šviesoje (71 %).
4. Iš gautų eksperimentinio tyrimo rezultatų, pastebima, kad valant teršalus ( $\text{SO}_2$ ) su kuokštiniu chlorofitu (lot. *Chlorophytum comosum*) didžiausias išvalymo efektyvumas pasiekiamas, tamsoje (81 %) dėl vykstančios teršalų absorbcijos kvėpavimo metu. Pastebimas 3 % mažesnis efektyvumas dienos šviesoje ir dirbtinėje šviesoje.

## 4. ŠALINAMŲ ORO TERŠALŲ SU KAMBARINIAIS AUGALAIS MATEMATINIS MODELIAVIMAS

### 4.1. Efektyvumo vertinimo modeliavimo metodika

Sumontuotoje kameroje nuo teršalų valomo oro matematinio modeliavimo tikslas – nustatyti teršalų koncentracijos pokyčius priklausančius nuo šviesos intensyvumo ir įvertinti oro valymo efektyvumą. Norint sumodeliuoti teršalų išvalymo efektyvumą, pirmiausia reikia apskaičiuoti kiek augalas sugeba absorbuoti teršalo. Modeliuojant buvo priimta, kad kameros santykinis oro drėgmės kiekis nesikeis, o kameroje esantis oras bus pastovus.

Šiame darbe buvo naudojama 125 litrų tūrio organinio stiklo kamera, skirta pašalinti SO<sub>2</sub> ir NO<sub>x</sub> teršalus iš patalpų oro. Teršalų šalinimui buvo naudoti – kuokštinis chlorofitas (lot. *Chlorophytum comosum*) ir pelargonija (lot. *Pelargonium zonale*). Pasirinktų augalų teršalų iš oro valymo efektyvumas priklauso nuo aplinkos sąlygų – temperatūros, šviesos intensyvumo ir kitų.

Visą eksperimento sistemą sudarė eksperimentinė kamera, elektrinis aspiratorius orui siurbti, augalai ir teršalai. Tas pats užterštas oras kameroje buvo visą eksperimento laiką ir nebuvo papildomai tiekiamas. Kiekvienas eksperimentinis tyrimas buvo vykdomas po 6 valandas, o norint gauti pakankamą lapų paviršiaus plotą, buvo naudojami du kambariniai augalai.

Eksperimentai buvo atliekami esant natūraliai 1750–2000 lx šviesai, dirbtinei 1100 lx šviesai ir tamsoje. Santykinė drėgmė bandymo kameroje nebuvo reguliuojama papildomai. Taip pat buvo atlikti bandymai su tuščia kamera nenaudojant augalų. Toks bandymas buvo reikalingas siekiant nustatyti bendrus kameros nuostolius.

Modeliavimui taikomas apskaičiuotas teršalų nusėdimo greičio vertinimas (Poppendieck at el., 2006). Šis modelis aprašo teršalų pernašos procesus (Hakimeh et al., 2020). Teršalai sieros dioksidas ir azoto oksidas– absorbuojami dėl fiziologinių procesų, o teršalų pernašos procesai vyksta trimis skirtingomis aplinkos sąlygomis: tamsoje, dirbtinėje ir natūralioje apšvietoje. Norint apskaičiuoti teršalų nusėdimo greitį pirmiausiai buvo įvertinami tuščios organinio stiklo kameros nuostoliai. Pasiėkus pusiausvyros būseną atlikti skaičiavimai pagal 4.1 ir 4.2 formules.

$$\frac{dC_{pradinis}}{dt} = v \times C_{pradinis} - v \times C_{galutinis} - k_g C_{galutinis} \frac{A_g}{V} - k_s C_{galutinis} \frac{A_s}{V} \quad (4.1)$$

$$k_s^t = \frac{V}{A_s C_{galutinis}^t} \left[ v \times (C_{pradinis}^t - C_{galutinis}^t) - k_g C_{galutinis}^t \frac{A_g}{V} - \frac{C_{galutinis}^t - C_{galutinis}^{t+1}}{\Delta t} \right] \quad (4.2)$$

Čia:

$C_{pradinis}$  – teršalo pradinė koncentracija;

$C_{galutinis}$  – teršalo koncentracija po eksperimentinio tyrimo;

$dC_{pradinis}$  – teršalo koncentracijos pokytis;

$v$  – greičio vertė, (h<sup>-1</sup>);

$V$  – kameros tūris, m<sup>3</sup>;

$A_g$  – kameros vidaus paviršiaus plotas, m<sup>2</sup>;

$A_s$  – tiriamojo augalo paviršiaus plotas, m<sup>2</sup>;

$k_g$  – nusėdimo greičio konstanta ;

$k_s$  – apskaičiuojamasis nusėdimo greitis.

Teršalų pašalinimo efektyvumas vertinamas pagal Kunkel (2010) metodą.

$$H = 1 - \frac{C^*}{C^{**}} \quad (4.3)$$

Čia:

H – koncentracijos santykis;

C\* – imituota vidaus aplinkos taršos koncentracija be augalo;

C\*\* – imituota vidaus aplinkos taršos koncentracija su augalu.

Oro valymo iš teršalų efektyvumas vertinamas nuo 0 iki 1. Kuo gauta skaitinė vertė arčiau 1 tuo oro valymo efektyvumas didesnis.

C\* ir C\*\* apskaičiuojamas pagal 4.4 ir 4.5 formules.

$$C^* = \frac{C_{išorės,p}}{C_{vidaus}} = \frac{1}{1 + \frac{L_b}{v} + k_s \frac{A_s}{V \times v}} \quad (4.4)$$

$$C^{**} = \frac{C_{išorės}}{C_{vidaus}} = \frac{1}{1 + \frac{L_b}{v}} \quad (4.5)$$

Čia:

C<sub>išorės,p</sub> – teršalų koncentracija hipotetinėje vidaus erdvėje, kurioje yra augalai, ppm;

C<sub>vidaus</sub> – teršalų koncentracija hipotetinėje vidaus erdvėje, kurioje nėra augalų, ppm;

C<sub>išorės</sub> – teršalų kiekis lauke, ppm;

L<sub>b</sub> – nuostolių rodiklis, h<sup>-1</sup>;

A<sub>s</sub> – kambarinių augalų lapų paviršiaus plotas, m<sup>2</sup>;

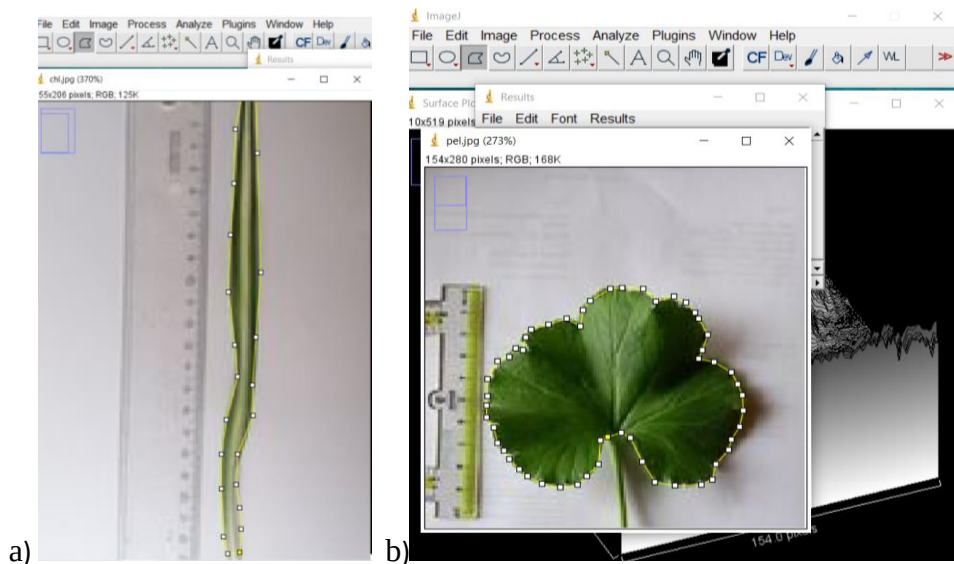
V – hipotetinės erdvės tūris, m<sup>3</sup>;

v – tipinė greičio vertė, h<sup>-1</sup>.

Atlikus eksperimentinius tyrimus gauti parametrai naudojami matematinio modelio sudarymui. Modeliavimas atliekamas MATLAB programa. MATLAB – tai programinė įranga, skirta atlikti aukšto lygio techninius skaičiavimus. Su šia daugiaplatforminė programine įranga galima spręsti daugumą mokslinių problemų įvairiose srityse. MATLAB yra pritaikyta spręsti platų mokslines ir taikomąsias problemas tokiose srityse: įrenginių modeliavimas ir kontrolės sistemų projektavimas, ryšių sistemų, signalų apdorojimo, vizualizavimo, matavimo signalų ir bandymų finansinis modeliavimas, skaičiavimo biologija ir kitos (Spiečiūtė, 2012).

## 4.2. Augalų lapo ploto nustatymas

Kuokštinio chlorofito (lot. *Chlorophytum comosum*) ir pelargonijos (lot. *Pelargonium zonale*) lapai buvo nuskinti ir nufotografuoti su matavimo liniuote, tam kad būtų galima tiksliai apskaičiuoti lapų paviršiaus plotą ir nustatyti nuotraukų mastelį (žr. 4.1 paveikslą). Pirmiausiai buvo nustatomas mastelis, pagal nuotraukoje esančią liniuotę. Skalė pažymėta centimetrais, o po to apvedamas augalo kontūras naudojant ploto skaičiavimo įrankį. Visos programa gautos reikšmės buvo sudedamos ir taip buvo gauti augalų paviršiaus plotai.



**4.1 pav.** Lapo ploto skaičiavimas ImageJ programa. a) kuokštinio chlorofito (lot. *Chlorophytum comosum*) lapas, b) pelargonijos (lot. *Pelargonium zonale*) lapas (nuotrauka autorės)

Tiriamosios pelargonijos (lot. *Pelargonium zonale*) bendras paviršiaus plotas  $0.086 \text{ m}^2$  o kuokštinio chlorofito (lot. *Chlorophytum comosum*)  $0.063 \text{ m}^2$ .

Iš gautų eksperimentinio tyrimo rezultatų ir augalų paviršiaus ploto, galima nustatyti kokio ploto augalų reikės teršalų iš oro valymui patalpose. Remiantis Jarnstro ir kitų, kartu dirbusių mokslininkų rekomendacijomis, atliekamas skaičiavimas kiek augalų ploto reikės šalinant teršalus iš  $30 \text{ m}^2$  patalpos.

Tam, kad išvalyti  $0,25 \text{ m}^2$  teršalų, reikia  $0.086 \text{ m}^2$  augalo pelargonijos (lot. *Pelargonium zonale*) lapų paviršiaus ploto.  $30 \text{ m}^2$  patalpos oro valymui reikalingas  $0,654 \text{ m}^2$  lapų paviršiaus plotas. Tai yra 8 kambariniai augalai pelargonijos (lot. *Pelargonium zonale*).

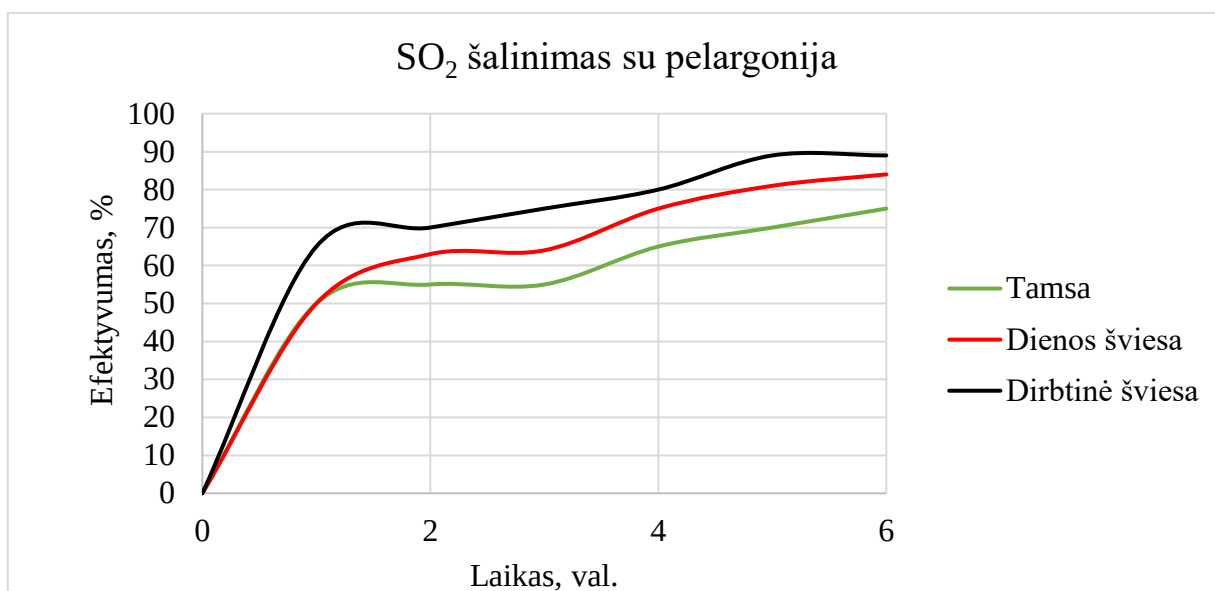
Apskaičiuotas kuokštinio chlorofito (lot. *Chlorophytum comosum*) augalų lapijos kiekis norint išvalyti  $30 \text{ m}^2$  ploto patalpos yra  $0,567 \text{ m}^2$  tai yra 9 vidutinio dydžio kambariniai augalai.

Pateikti skaičiavimai atlikti remiantis eksperimentinio tyrimo pradinėmis koncentracijomis, todėl kiekvienai patalpai reikalingas augalų lapijos plotas gali skirtis priklausomai nuo teršalų koncentracijos.

### 4.3. Teršalų šalinimo efektyvumo modeliavimo rezultatai ir jų vertinimas

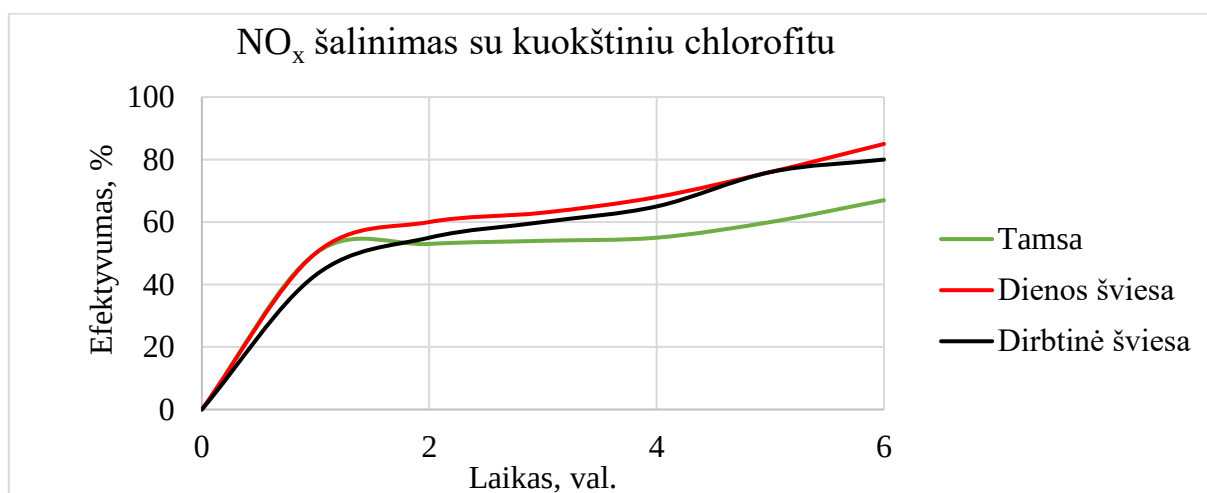
Neorganinių junginių šalinimo kameroje modeliavimo rezultatai su kambariniais augalais gauti naudojant MATLAB programą. Atlikti skaičiavimai pagal anksčiau minėtas formules, o po atliktų skaičiavimų įvertintas kiekvieno teršalo koncentracijos pokytis priklausomai nuo šviesos intensyvumo.

Eksperimentinių tyrimų rezultatai modeliuojant pateikiami 4.2 – 4.5 paveiksluose. Tyrimų rezultatai modeliuoti skirtingomis šviesos intensyvumo sąlygomis esant natūraliai 1750–2000 lx šviesai, dirbtinei 1100 lx šviesai ir tamsoje.



**4.2 pav.** Modeliavimo metu gauto SO<sub>2</sub> šalinamo su pelargonija efektyvumo priklausomybė nuo šviesos intensyvumo, kai pradinė koncentracija yra 69µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės)

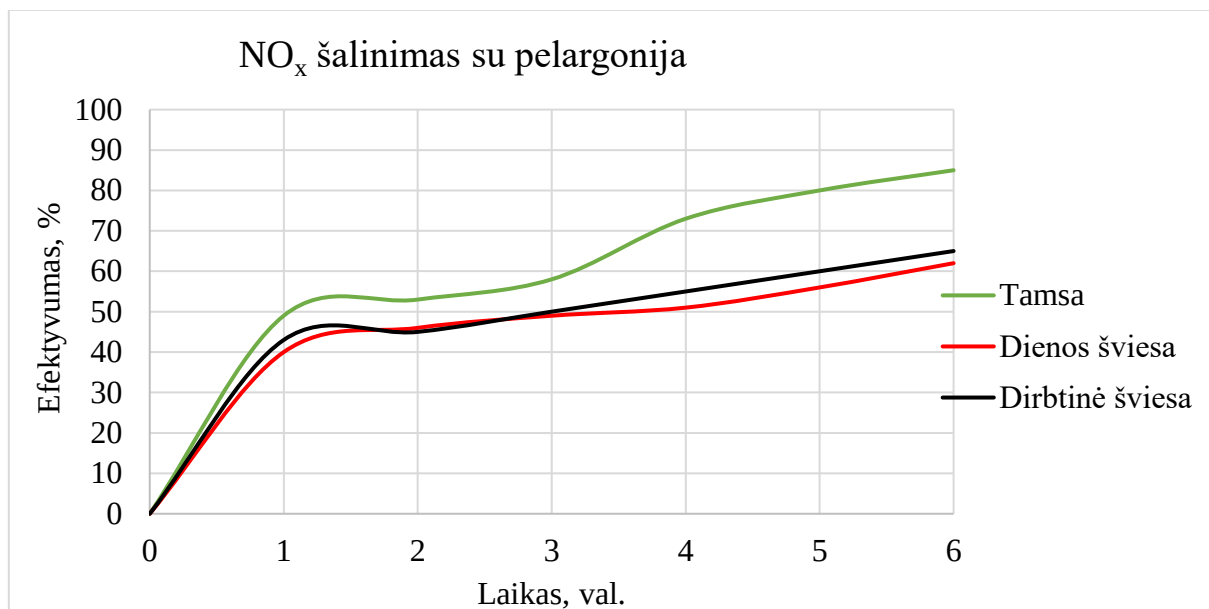
Gauti matematinio modeliavimo rezultatai patvirtina tyrimu rezultatus. Modeliavimo metu gauti rezultatai įrodo, kad valant teršalus (SO<sub>2</sub>) iš oro naudojant pelargoniją (lot. *Pelargonio zonale*), didžiausias efektyvumas yra pasiekiamas dirbtinėje šviesoje (89 %). Atlikus matematinį modeliavimą, kai pradinė SO<sub>2</sub> koncentracija valomame ore yra 69 µg/m<sup>3</sup>, 78 % efektyvumas pasiektas tamsoje ir 84 % dienos šviesoje (žr. 4.2 pav.).



**4.3 pav.** Modeliavimo metu gauto NO<sub>x</sub> šalinamo su kuokštiniu chlorofitu efektyvumo priklausomybė nuo šviesos intensyvumo, kai pradinė koncentracija yra 133µg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės)

Gauti matematinio modeliavimo rezultatai patvirtina tyrimu rezultatus.

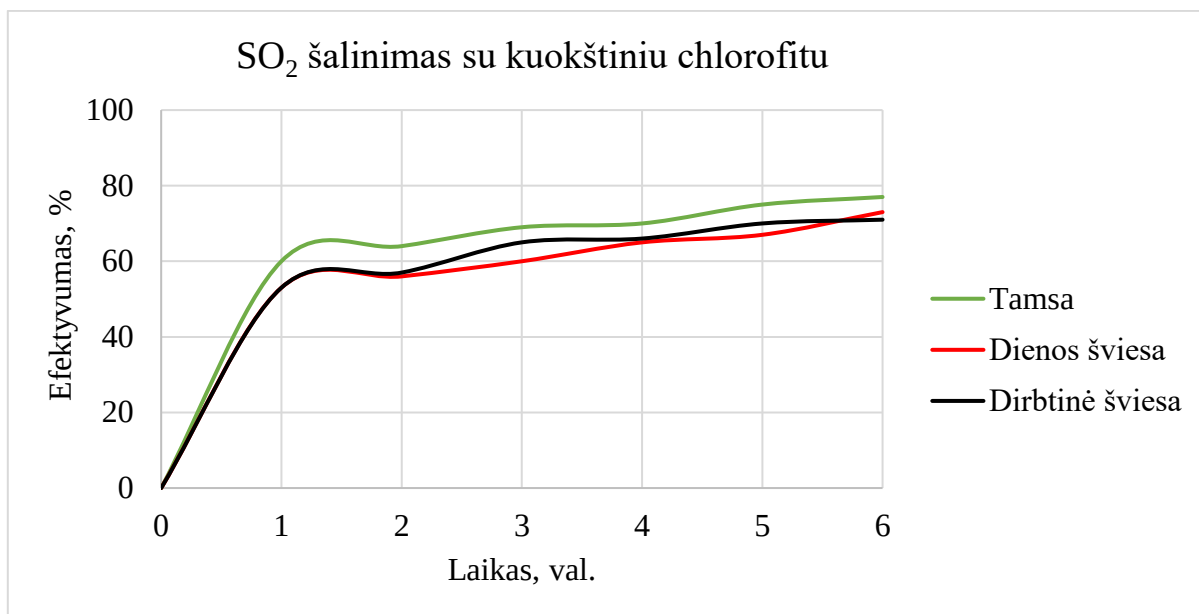
Tyrimų rezultatai modeliuoti skirtingomis šviesos intensyvumo sąlygomis – esant natūraliai 1750–2000 lx šviesai, dirbtinei 1100 lx šviesai ir tamsoje. Modeliavimo metu gauti rezultatai įrodo, kad valant teršalus ( $\text{NO}_x$ ) iš oro su kuokštiniu chlorofitu (lot. *Chlorophytum comosum*), didžiausias efektyvumas yra pasiekiamas dienos šviesoje – 85 %. Atlikus matematinį modeliavimą, kai pradinė  $\text{NO}_x$  koncentracija valomame ore yra  $133 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , efektyvumas tamsoje 68 %, o dirbtinėje šviesoje – 80 % (žr. 4.3 pav.).



**4.4 pav.** Modeliavimo metu gauto  $\text{NO}_x$  šalinamo su pelargonija efektyvumo priklausomybė nuo šviesos intensyvumo, kai pradinė koncentracija yra  $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (sudaryta autorės)

Gauti matematinio modeliavimo rezultatai patvirtina tyrimu rezultatus.

Tyrimų rezultatai modeliuoti skirtingomis šviesos intensyvumo sąlygomis – esant natūraliai 1750–2000 lx šviesai, dirbtinei 1100 lx šviesai ir tamsoje. Modeliavimo metu gauti rezultatai įrodo, kad valant teršalus ( $\text{NO}_x$ ) iš oro naudojant pelargoniją (lot. *Pelargonio zonale*), didžiausias efektyvumas yra pasiekiamas tamsoje (85 %). Atlikus matematinį modeliavimą, kai pradinė  $\text{NO}_x$  koncentracija valomame ore yra  $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , dirbtinėje šviesoje pasiektas efektyvumas yra 65 %, o dienos šviesoje efektyvumas siekė 62 % (žr. 4.4 pav.).



**4.5 pav.** Modeliavimo metu gauto SO<sub>2</sub> šalinamo su kuokštiniu chlorofitu efektyvumo priklausomybė nuo šviesos intensyvumo, kai pradinė koncentracija yra 67 μg/m<sup>3</sup> (sudaryta autorės)

Gauti matematinio modeliavimo rezultatai patvirtina eksperimentinių tyrimu rezultatus.

Modeliavimo metu gauti rezultatai įrodo, kad, valant teršalus (SO<sub>2</sub>) iš oro su kuokštiniu chlorofitu (lot. *Chlorophytum comosum*), didžiausias efektyvumas yra pasiekiamas tamsoje (77%). Atlikus matematinį modeliavimą, kai pradinė NO<sub>x</sub> koncentracija valomame ore yra 67 μg/m<sup>3</sup>, efektyvumas dienos šviesoje siekė 74 %, o dirbtinėje šviesoje – 71 % (žr. 4.5 pav.).

## KETVIRTOJO SKYRIAUS IŠVADOS

1. Valant teršalus iš oro naudojant pelargoniją (lot. *Pelargonio zonale*), didžiausias (89%) oro valymo efektyvumas nuo SO<sub>2</sub> dirbtinėje šviesoje siekia 89%. O mažiausias oro valymo efektyvumas nuo NO<sub>x</sub> dienos šviesoje – 62 %. Remiantis gautais duomenimis oro valymo efektyvumas priklausė nuo teršalu nusėdimo greičio.
2. Matematinio modeliavimo metu gauti rezultatai su kuokštiniu chlorofitu (lot. *Chlorophytum comosum*) parodė, kad didžiausias efektyvumas pasiekiamas valant orą dienos šviesoje nuo NO<sub>x</sub> – 85% , o mažiausias valant teršalus (NO<sub>x</sub>) iš oro tamsoje – 67 %. Tai lėmė lapų paviršiaus ir tyrimui naudotos kameros plotas.
3. Apskaičiavus lapų paviršiaus plotą, nustatyta, kad esant ~ 68 µg/m<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> ir ~ 133 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> reikalingos 8 pelargonijos (lot. *Pelargonio zonale*) ir 9 kuokštinio chlorofito (lot. *Chlorophytum comosum*) augalai norint tinkamai išvalyti teršalus iš patalpų oro.

## BENDROSIOS IŠVADOS

1. Atlikus literatūros šaltinių analizę nustatyta, kad teršalai išsiskiria dėl žmogaus vykdomos ūkinės veiklos, statybinių medžiagų, buitinės chemijos bei baldų. Išanalizuoti įvairių pasaulio šalių tyrimai, kuriuose buvo išmatuotos ir įvertintos kenksmingos žmogaus sveikatai teršalų koncentracijos gyvenamuosiuose namuose ir nustatytos teršalų atsiradimo priežastys. Apžvelgus kambarinių augalų potencialą teršalams iš oro valyti įvertintos sąlygos, kurios padidina valymo efektyvumą. Nustatyta, kad šviesos intensyvumas yra pati svarbiausia sąlyga, kai teršalus iš oro valo augalai.
2. Remiantis eksperimentinių tyrimų rezultatais nustatyta, kad didžiausias teršalų valymo iš oro efektyvumas (net 95 %) pasiekiamas tada, kai  $\text{NO}_x$  dienos šviesoje dėl vykstančios fotosintezės šalina kuokštinis chlorofitas (lot. *Chlorophytum comosum*). Antra vertus, eksperimentiniais tyrimais įrodyta, kad pelargonija (lot. *Pelargonium zonale*) efektyviausiai išvalė  $\text{SO}_2$  iš oro dirbtinėje šviesoje (93 %), todėl darytina išvada, kad kvėpavimo procesas yra labai svarbus absorbuojant teršalus iš oro.
3. Iš eksperimentinių tyrimų rezultatų matyti, kad naudojant kambarinius augalus, t. y. kuokštinį chlorofitą (lot. *Chlorophytum comosum*) ir pelargonijas (lot. *Pelargonium zonale*),  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  valymo iš oro efektyvumo rodikliai tiesiogiai priklauso ir nuo užtikrinamų skirtingų apšvietimo sąlygų. Nustatyta, kad pelargonija (lot. *Pelargonium zonale*) geriausiai iš oro šalino  $\text{SO}_2$  dirbtinėje šviesoje, o naudojant  $\text{NO}_x$  tamsoje. Kuokštinis chlorofitas (lot. *Chlorophytum comosum*) geriausiai iš oro šalino  $\text{NO}_x$  dienos šviesoje, o  $\text{SO}_2$  tamsoje.
4. Matematinio modeliavimo metu gauti rezultatai, rodo, kad didžiausias oro valymo efektyvumas (89 %) pasiekiamas naudojant pelargoniją (lot. *Pelargonium zonale*), kai teršalai ( $\text{SO}_2$ ) iš oro valomi dirbtinėje šviesoje, o kuokštinį chlorofitą (lot. *Chlorophytum comosum*), didžiausias efektyvumas (85 %) pasiekiamas  $\text{NO}_x$  iš oro dienos šviesoje valyti. Naudojant pelargoniją (lot. *Pelargonium zonale*) mažiausias efektyvumas (62 %) fiksuotas valant ( $\text{NO}_x$ ) iš oro dienos šviesoje, o naudojant kuokštinį chlorofitą (lot. *Chlorophytum comosum*) mažiausias efektyvumas (67 %) nustatytas valant teršalus ( $\text{NO}_x$ ) tamsoje. Gauti rezultatai priklausė nuo teršalų nusėdimo greičio, augalo paviršiaus ploto ir kameros tūrio.
5. Atlikus tyrimus bei įvertinus jų rezultatus, pateiktos rekomendacijos dėl augalų kaip oro filtravimo priemonių naudojimo. Apskaičiavus lapų paviršiaus plotą, nustatyta, kad siekiant tinkamai išvalyti teršalus iš patalpų oro, kai  $\sim 68 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{SO}_2$  ir  $\sim 133 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{NO}_x$  reikalingos 8 pelargonijos (lot. *Pelargonium zonale*) ir 9 kuokštinio chlorofito (lot. *Chlorophytum comosum*) augalai.

## REKOMENDACIJOS

1. Remiantis gautais eksperimentinių tyrimų ir matematinio modeliavimo rezultatais, siūloma užterštame patalpų ore sumontuoti lentyną su kambariniais augalais. Norint lentyną su kambariniais augalais pritaikyti gyvenamųjų patalpų ar pramonės įmonių patalpų orui valyti, pirmiausiai reikėtų nustatyti, kokie ir kokios koncentracijos teršalų yra aplinkos ore, kokios yra aplinkos sąlygos: temperatūra, drėgmė ir šviesos intensyvumas.
2. Esant 30 m<sup>2</sup> patalpai ir ~ 68 µg/m<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> ir ~ 133 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> teršalų koncentracijos rodikliams, siūloma lentynoje įrengti 8 pelargonijas (lot. *Pelargonio zonale*) ir 9 kuokštinio chlorofito (lot. *Chlorophytum comosum*) kambarinius augalus.
3. Atsižvelgiant į augalų fiziologiją, rekomenduojama virš lentynos įmontuoti tinkamą apšvietimą ir pritvirtinti termometrą, kad būtų nuolat stebima ir palaikoma optimali temperatūra.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Adomaitytė, R. (2015). Bioindikacinis oro taršos vertinimas ir eksperimentiniai tyrimai, naudojant sėjamąją pipirnę. Vilnius, 2015.
2. Aplinkos apsaugos agentūra, priega per internetą: < <http://oras.gamta.lt> > [žiūrėta: 2020-04-16]
3. Baosheng, K., Shibata, S. I., Sawada, A., Oyabu, T., & Kimura, H. (2009). Air purification capability of potted Phoenix roebelenii and its installation effect in indoor space. *Sensors and Materials*, 21(8), 445-455
4. Bui, V. K. H., Nguyen, T. N., Van Tran, V., Hur, J., Kim, I. T., Park, D., & Lee, Y. C. (2021). Photocatalytic materials for indoor air purification systems: An updated mini-review. *Environmental Technology & Innovation*
5. Burchett, M., Daly, J., Torpy, F. (2010). Plants in the classroom can improve student performance. National interior plantscape.
6. Chauhan, A. (2017). Environmental Nanotechnology: Applications And Impacts. ISBN-13: 978-9351540106
7. Chen, T. M., Kuschner, W. G., Gokhale, J., & Shofer, S. (2007). Outdoor air pollution: nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide health effects. *The American journal of the medical sciences*, 333(4).
8. Cunningham, S.D., Berti, W.R. Remediation of contaminated soils with green plants: An overview. In *Vitro Cell Dev Biol - Plant* 29, 207–212 (1993). <https://doi.org/10.1007/BF02632036>
9. Čepanko, V., & Baltrėnas, P. (2009). Air pollution assessment combusting fermented waste. *Mokslas–Lietuvos ateitis/Science–Future of Lithuania*, 1(4).
10. Daisey, J. M., Angell, W. J., & Apte, M. G. (2003). Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. *Indoor air*, 13.
11. Denafas, G. 2000. Atmosferos apsauga. I dalis. Aplinkos oro tarša ir kontrolė: mokomoji knyga. Kaunas: Technologija. 129 p.
12. Devinny, J. S., Deshusses, M. A., & Webster, T. S. (1998). Biofiltration for air pollution control. *CRC press*.
13. Dhir, B., Sharmila, P., & Saradhi, P. P. (2009). Potential of aquatic macrophytes for removing contaminants from the environment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39(9)).
14. Esplugues, A., Ballester, F., Estarlich, M., Llop, S., Fuentes, V., Mantilla, E., & Iñiguez, C. (2010). Indoor and outdoor concentrations and determinants of NO<sub>2</sub> in a cohort of 1-year-old children in Valencia, Spain. *Indoor air*
15. Fernandes, E., Gustafsson, O., Crump, H., Silva, D., Madureira, G.V., Martins, J.A., (2008). Indoor Air Quality Handbook. ISBN: 9780074455494 Publication Date & Copyright: 2001 McGraw-Hill Education.
16. Folinsbee, L. J. (1993). Human health effects of air pollution. *Environmental health perspectives*, 100, 45-56.)
17. Frontczak, M., & Wargocki, P. (2011). Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and environment*, 46(4), 922-937.)
18. H. Jarnstro, K. Saarelaa, P. Kalliokoski A.-L. Pasanen 2008. The Impact of Emissions from Structures on Indoor Air Concentrations in Newly Finished Buildings – Predicted and On-Site Measured Levels. *Indoor and Built Environment*, 17(4), 313–323. ISSN 1420-326X

19. Jin, C., Zhou, X., Zhao, H., Liu, X., & Feng, K. (2013). Comparison of removal of formaldehyde capacity between *Hedera helix* and *Melissa officinalis*. *Asian Journal of Chemistry*, 25(7), 3823-3826.)
20. Jones, A. P. (1999). Indoor air quality and health. *Atmospheric environment*, 33(28), 4535-4564.
21. Yera, R., Davis, S., Frazer, J., Tallman, G. (1986) Responses of Adaxial and Abaxial Stomata of Normally Oriented and Inverted Leaves of *Vicia faba* L. to Light *Plant Physiol* 1986 Oct;82(2):384-9
22. Kalimeri, K., Saraga, D., Lazaridis, D., Legkas, A., Bartzis, G. Indoor air quality investigation of the school environment and estimated health risks: Two-season measurements in primary schools in Kozani, Greece. *Atmospheric Pollution Research Volume 7, Issue 6, November 2016, Pages 1128-1142.*  
<https://doi.org/10.1016/j.apr.2016.07.002>
23. Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental pollution*, 151(2), 362-367.
24. Kangasjärvi, J., Jaspers, P., & Kollist, H. (2005). Signalling and cell death in ozone-exposed plants. *Plant, Cell & Environment*, 28(8), 1021-1036.
25. Kephelopoulou, S., Csobod, E., Bruinen de Bruin, Y., Oliveira Fernandes, E., (2014) SINPHONIE Oro tarša ir sveikata mokyklose - Europos stebėsenos tinklas. Gairės sveikai aplinkai Europos mokyklose. Prieiga per internetą:
26. [http://sinphonie.rec.org/sites/default/files/Guidelines/II\\_Lithuanian\\_Guidelines.pdf](http://sinphonie.rec.org/sites/default/files/Guidelines/II_Lithuanian_Guidelines.pdf)
27. Kim, S., Kang, S., Choi, D.H., Yeo, M. S., Kim, K. W. 2006. Comparison of strategies to improve indoor air quality at the pre-occupancy stage in new apartment buildings. *Building and Environment* 43: 320–328.
28. Kim, K. J., Kil, M. J., Song, J. S., Yoo, E. H., Son, K. C., & Kays, S. J. (2008). Efficiency of volatile formaldehyde removal by indoor plants: contribution of aerial plant parts versus the root zone. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133(4), 521-526.
29. Klumpp, A., Hintemann, T., Lima, J. S., & Kandeler, E. (2003). Bioindication of air pollution effects near a copper smelter in Brazil using mango trees and soil microbiological properties. *Environmental Pollution*, 126(3), 313-321.
30. Krajčík, M., Simone, A., & Olesen, B. W. (2012). Air distribution and ventilation effectiveness in an occupied room heated by warm air. *Energy and Buildings*, 55, 94-101.
31. Kondo, T., Hasegawa, K., Uchida, R., Onishi, M., Mizukami, A., Omasa, K. (1995) Absorption of formaldehyde by oleander (*Nerium indicum*). *Environ Sci Technol*.
32. Kozai, T., & Kubota, C. (2005). Concepts, definitions, ventilation methods, advantages and disadvantages. In *Photoautotrophic (sugar-free medium) micropropagation as a new micropropagation and transplant production system* (pp. 19-30). Springer, Dordrecht.
33. Krivickas, A. (2007). Individualaus namo šildymo sistemos katilo degimo proceso kokybės matavimas ir reguliavimas
34. Kručaitė, K. (2018). Botaninės filtracijos sistema patalpų oro valymui. Doctoral dissertation, Kauno technologijos universitetas
35. Kupčinskienė E., Žukauskienė J. 2011. Ekofiziologijos laboratoriniai darbai: praktinių darbų vadovas. 28–32 p.
36. Leung, D. Y. (2015). Outdoor-indoor air pollution in urban environment: challenges and opportunity. *Frontiers in Environmental Science*.
37. Malinauskaitė, R. (2018) Augalo vandens apytakos fiziologija. Aleksandro Stulginskio universiteto leidykla: Kaunas

38. McGill G., Oyedele L., McAllister K. (2015). Case study investigation of indoor air quality in mechanically ventilated and naturally ventilated UK social housing. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4, p. 58 – 77.
39. Mendell, M. J., & Heath, G. A. (2005). Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor air journal*, 15(1)
40. Neumann, P. M. (2018). Plant growth and leaf-applied chemicals. CRC Press
41. Orwell, R.L., Wood, R.L., Tarran, J., Torpy, F., Burchett, M.D., (2004) Removal of benzene by the indoor plant/substrate microcosm and implications for air quality. *Water Air Soil Pollut* 157:193–207. ISSN 0049-6979.
42. Rutkovienė, V. M. ir Sabienė N. (2008). Aplinkos tarša. Mokomoji knyga. Lietuvos žemės ūkio universitetas
43. Sakalauskienė, S., Šabajevienė, G., Lazauskas, S., Brazaitytė, A., Samuolienė, G., Urbonavičiūtė, A., ... & Duchovskis, P. (2008). Skirtingo drėgmės ir temperatūros režimo kompleksinis poveikis ridikėlių fotosintetiniams rodikliams III–IV organogenezės etapuose. *Sodininkystė ir daržininkystė*, 27(1), 97-104
44. Samuel, D. L., Nagendra, S. S., & Maiya, M. P. (2013). Passive alternatives to mechanical air conditioning of building: A review. *Building and Environment*, 66, 54-64.
45. Smith, B.J., Turkington, A.V., Warke, P., Basheer, M. (2002). Modelling the rapid retreat of building sandstones: a case study from a polluted maritime environment. *Geological Society, London, Special Publications*, 205, 347-362. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2002.205.01.25>
46. Stravinskienė, V. (2019) *Aplinkos bioindikacija*. Vytauto Didžiojo universitetas, Kaunas
47. Talib, N.A.A., Salam, F. , Yusof, N.A., Alang Ahmad, S.A., Sulaiman, Y. (2017) Optimization of peak current of poly(3,4-ethylenedioxythiophene)/multi-walled carbon nanotube using response surface methodology/central composite design, *RSC Adv.* 7 11101–11110, <https://doi.org/10.1039/c6ra26135c>.
48. Šatkauskienė, I. (2010). Pirmuonių įvairovė.
49. Šiupienė, J. (2009). Didėjančių temperatūrų ir drėgmės deficito poveikis ridikėlių morfologiniams ir fiziologiniams rodikliams (Master's thesis)
50. Walker, A. (2010). Natural ventilation. „*WBDG Whole Building Design Guide*”
51. Wolverton, B. C., McDonald, R. C., Watkins, E. (1984). Foliage plants for removing indoor air pollutants from energy-efficient homes. *Economic Botany*, 38(2)
52. Wolverton, B.C., McDonald, R.C. Foliage plants for indoor removal of the primary combustion gases carbon monoxide and nitrogen dioxide, *J. Miss Acad. Sci* XXX (1985) 1–8. ISSN 0076-9436.
53. Wu, Y., Li, T., & Yang, L. (2012). Mechanisms of removing pollutants from aqueous solutions by microorganisms and their aggregates: a review. *Bioresource technology*, 107, 10-18.

# **PRIEDAI**



**VILNIUS  
TECH**

Aplinkos apsaugos ir  
vandens inžinerijos  
katedra

## PAŽYMĖJIMAS

2021m. kovo 19 d.  
Vilnius

***Monika Gurklytė***

*dalyvavo*

Vilnius Tech 24-oje jaunųjų mokslininkų  
konferencijoje

„Mokslas – Lietuvos ateitis“ Aplinkos apsaugos inžinerija  
ir skaitė pranešimą tema

***Patalpų oro valymo nuo sieros dioksido, naudojant  
kambarinį augalą – pelargoniją (L. Pelargonium Zonale),  
eksperimentiniai tyrimai***

Konferencijos org. komiteto pirmininkas  
Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos  
katedros vedėjas

doc. dr. Raimondas Grubliauskas