



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**

**Kazimieras Stankevičius**

**ORO VALYMO PRIEMONIŲ EFEKTYVUMAS GYVENAMŲJŲ  
PATALPŲ ORO KOKYBEI GERINTI**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Lekt. dr. Inga Radžiūnienė

**KAUNAS, 2015**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**  
**APLINKOSAUGOS TECHNOLOGIJOS KATEDRA**

**ORO VALYMO PRIEMONIŲ EFEKTYVUMAS GYVENAMŲJŲ  
PATALPŲ ORO KOKYBEI GERINTI**

Baigiamasis magistro projektas  
Aplinkosaugos inžinerija, kodas 621H17001

**Konsultantas**  
Dokt. Darius Čiužas

**Vadovas**  
Lekt. dr. Inga Radžiūnienė

**Recenzentas**  
Prof. dr. Gintaras Denafas

**Projektą atliko**  
Kazimieras Stankevičius

**KAUNAS, 2015**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

---

(Fakultetas)

Kazimieras Stankevičius

---

(Studento vardas, pavardė)

Aplinkosaugos inžinerija, kodas 621H17001

---

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Oro valymo priemonių efektyvumas gyvenamųjų patalpų oro kokybei gerinti“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. birželio 8 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Kazimiero Stankevičiaus** baigiamasis projektas tema „Oro valymo priemonių efektyvumas gyvenamųjų patalpų oro kokybei gerinti“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)

# TURINYS

ĮVADAS .....	9
1. TEORINĖ DALIS.....	10
1.1. Patalpų oro taršos šaltiniai ir jų klasifikavimas .....	10
1.2 Oro valymo prietaisų technologijos.....	13
1.3 Oro valymo prietaisų standartiniai testavimo metodai ir jų apibūdinimas .....	16
1.4. Priemonės gyvenamųjų patalpų oro užterštumui mažinti – oro valymo prietaisai.....	19
1.5 Oro valymo prietaisų efektyvumą rodikliai .....	20
2. METODINĖ DALIS.....	23
2.1. Oro valymo prietaisai .....	23
2.2 Testavimo sąlygos .....	26
2.2.1. Kambario aplinkos imitacinė kamera .....	26
2.2.2. Taršos generavimas .....	28
2.2.3 Oro apykaitos nustatymas kameroje .....	29
2.3. KD matavimas realiu laiku.....	29
2.4. Duomenų apdorojimas .....	31
3. TYRIMO REZULTATAI .....	33
3.1 Oro valymo prietaisų efektyvumo tyrimas.....	33
3.1.1. Prietaisų veikimo apibūdinimas.....	33
3.1.2. Prietaisų dalelių šalinimo tyrimas.....	34
3.1.3. Dalelių pasiskirstymas pagal dydį .....	36
3.2. Oro valymo prietaisų ir ventiliacijos įtakos oro kokybei gerinti tyrimas.....	36
4. IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS.....	42
LITERATŪRA.....	43

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

<b>1 lentelė.</b> 1 pav. pažymėtų verčių paaiškinimas.....	12
<b>2 lentelė.</b> Vidaus patalpų oro taršos šaltinių skirstymas.....	12
<b>3 lentelė.</b> Paprastai naudojamų vidaus patalpų oro valymo technologijų palyginimas.....	15
<b>4 lentelė.</b> 3 paveikslėlyje pažymėtų raidžių paaiškinimas.....	17
<b>5 lentelė.</b> Gyvenamųjų patalpų oro teršalai ir juos veikiantys oro valymo būdai.....	20
<b>6 lentelė.</b> 11 pav. pažymėtų skaičių paaiškinimas.....	25
<b>7 lentelė.</b> Valymo įrenginių gamintojų pateikiami techniniai duomenys.....	26
<b>8 lentelė.</b> Tirtų gyvenamųjų patalpų oro kokybės parametrų apibendrinimas.....	31
<b>9 lentelė.</b> Oro valymo prietaisų techniniai parametrai.....	33
<b>10 lentelė.</b> Išbandytų oro valymo prietaisų elektros energijos sunaudojimas, oro debitas ir 11,5-610 nm dydžio dalelių CADR vidurkiai.....	34
<b>11 lentelė.</b> Oro valymo prietaisų testavimo parametrai be ventiliacijos.....	35

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

<b>1 pav.</b> Veiksniai darantys įtaką patalpų oro kokybei.....	11
<b>2 pav.</b> Įvairiuose tyrimuose tirtų oro valymo technologijų efektyvumai.....	14
<b>3 pav.</b> ANSI / Aham AC-1 testavimo metodo oro valymo prietaisų testavimo kameros schema.....	17
<b>4 pav.</b> AFNOR XP B44-200 Testavimo kameros schema.....	18
<b>5 pav.</b> JEM 1476 testavimo metodo oro valymo prietaisų testavimo įranga.....	18
<b>6 pav.</b> Kietųjų dalelių šalinimo įverčių (CADR) trims aerzolių rūšims pasiskirstymas .....	21
<b>7 pav.</b> CADR santykių tarp 3 tipų kietųjų dalelių pasiskirstymas.....	21
<b>8 pav.</b> Dalelių nusėdimo priklausomybė nuo dalelių dydžio.....	22
<b>9 pav.</b> Testuojami buitiniai oro valymo prietaisai.....	23
<b>10 pav.</b> Oro valymo prietaiso nr.1 plazmos išlydžio bloko ir teršalų nukenksminimo schema.....	24
<b>11 pav.</b> Oro valymo prietaiso nr.2 5-ių lygių valymo įrangos schema.....	24
<b>12 pav.</b> Oro valymo prietaiso nr.3 filtrų išdėstymo schema.....	25
<b>13 pav.</b> Bandymų kamera su rekuperacine oro tiekimo ir šalinimo sistema.....	27
<b>14 pav.</b> Kietųjų dalelių generavimas (cigaretės deginimo bandymas).....	28
<b>15 pav.</b> SMPS įrenginio veikimo schema (Nanoscan SMPS Nanoparticle sizer 3910, TSI, JAV).....	30
<b>16 pav.</b> ELPI+ prietaiso principinė veikimo schema (DEKATI, Suomija).....	30
<b>17 pav.</b> CO <sub>2</sub> matuoklio TSI IAQ-Calc 7545 principinė veikimo schema, (TSI, JAV).....	31
<b>18 pav.</b> KD koncentracijų kitimo dinamika be ventiliacijos.....	35
<b>19 pav.</b> Aerzolio dalelių dydžio pasiskirstymas .....	36
<b>20 pav.</b> Aerzolio dalelių (0,3–10 μm) šalinimo efektyvumai prie 0.1 l/val. apykaitos.....	37
<b>21 pav.</b> Aerzolio dalelių (0,3–10 μm) šalinimo efektyvumai prie 0.6 l/val. apykaitos.....	38
<b>22 pav.</b> Aerzolio dalelių (0,3–10 μm) šalinimo efektyvumai prie 1.0 l/val. apykaitos.....	38
<b>23 pav.</b> Aerzolio dalelių (0,01-0,2 μm) šalinimo efektyvumai prie 0,1 l/val. apykaitos.....	39
<b>24 pav.</b> Aerzolio dalelių (0,01-0,2 μm) šalinimo efektyvumai prie 0.6 l/val. apykaitos.....	39
<b>25 pav.</b> Aerzolio dalelių (0,01-0,2 μm) šalinimo efektyvumai prie 1.0 l/val. apykaitos.....	40
<b>26 pav.</b> Ventiliacijos ir prietaisų poveikis teršalų mažėjimo koeficientui K (1/h).....	41

Stankevičius, K. Oro valymo priemonių efektyvumas gyvenamųjų patalpų oro kokybei gerinti. Magistro baigiamasis projektas / vadovas lekt. dr. Inga Radžiūnienė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas, Aplinkosaugos technologijos katedra.

Kaunas, 2015. 44 psl.

## SANTRAUKA

Baigiamajame magistro projekte tirtas gyvenamųjų patalpų oro gerinimo priemonių efektyvumas vidaus patalpų oro kokybei gerinti. Gyvenamųjų patalpų oro kokybė kelia vis didesnę susirūpinimą, nes oras patalpose gali būti labiau užterštas negu lauke. Taigi ir tokių teršalų šalinimui nebeužtenka tik natūralių teršalų šalinimo priemonių.

Trijų oro gerinimo prietaisų bei ventiliacijos eksperimentiniai bandymai buvo atlikti 36,3 m<sup>3</sup> kambario imitacinėje kameroje, imituojant realaus kambario sąlygas. Tyrimo metu buvo matuojamos aerolių dalelių, gautų iš cigaretės deginimo bandymo koncentracijos bei apskaičiuojami šie dalelių šalinimo ir oro valymo prietaisų efektyvumo rodikliai: teršalų sumažėjimo koeficientas (K, 1/val.), efektyvumas (E, %), švaraus oro patiekimo koeficientas CADR (m<sup>3</sup>/val.).

Oro valymo prietaisų efektyvumai buvo tirti kameroje be oro apykaitos. Aerolio dalelių koncentracija pakilo iki 1,06×10<sup>6</sup> cm<sup>-3</sup>. Veikiant oro valymo prietaisams kietųjų dalelių koncentracijos sumažėjo nuo 92,8 iki 99,9 proc.

Įvertinti ir ventiliacijos įtaką dalelių šalinimui buvo atlikti keli bandymai su reguliuojama oro apykaita. Oro valymo prietaisų efektyvumai buvo tirti ir su 3-mis skirtingomis oro apykaitomis: 0.1, 0.6, 1.0 1/val. Po valandos tyrimų efektyvumai siekė 93 - 99,9 %. Prietaisas su HEPA filtru >90 % efektyvumą pasiekė po 20 min. Taigi dalelės efektyviai pasišalina panaudojus valymo prietaisą trumpesnę laiką 20 - 40 min.

Naudojant Modde7 programą nustatyta, kad dalelių šalinimą iš patalpų oro labiau lėmė oro valymo prietaisai, ne ventiliacija.

Stankevičius, K. The effectiveness of air cleaners for the improvement of indoor air quality.  
Final Master's project / supervisor lect. dr. Inga Radžiūnienė; Department of Environmental  
Technologies, Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.  
Kaunas, 2015. 44 psl.

## SUMMARY

In the Final Master's Project the efficiency of indoor air quality measures for indoor air improvement have been investigated. Residential indoor air quality is of increasing concern, because indoor air can be polluted more than outdoors. So the removal of such contaminants is no longer sufficient only by natural pollutant removal measures.

Experimental tests of three air cleaners and ventilation were carried out in 36.3 m<sup>3</sup> room chamber simulating real conditions of living room. Cigarette burning test was carried out to generate aerosol particle. Aerosol particle concentrations were measured and these air cleaning devices' indicators were calculated: particle decay rate (K, 1/h), efficiency (E,%), Clean Air Delivery Rate (CADR, m<sup>3</sup>/h).

Efficiencies of air cleaners were tested in the chamber without air circulation. Aerosol particle concentration raised to  $1.06 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$ . When air cleaners operated, particulate matter concentrations decreased from 92,8 to 99,9 percent.

To assess the influence of ventilation on particle removal a few tests with regulated air circulation were carried out. Efficiencies of air cleaners were tested with 3 different air exchange rates: 0.1, 0.6, 1.0 h<sup>-1</sup>. After an hour the efficiencies were from 93 to 99,9%. A device with a HEPA raised efficiency > 90% in 20 minutes. So particles can be effectively eliminated by using air cleaner for a shorter time (20 to 40 min), depending on the cleaner's technology.

By using Modde7 programme it was established that the removal of particles from indoor air is influenced more due to air cleaning devices, instead of ventilation.



## IVADAS

Gyvenamosios vietos aplinkos oro kokybė yra svarbus veiksnys lemiantis žmogaus sveikatą. Nuo to kokioje aplinkoje žmogus gyvena ir kokių oru kvėpuoja priklauso jo sveikatos būklė. Išoriškai žmogų veikia daugybė aplinkos ore esančių medžiagų: tai anglies monoksidas, rūgštieji azoto ir sieros oksidai, kietosios dalelės, žiedadulkės, mikroorganizmai ir kt. Didžioji dalis oro teršalų susidaro degimo procesų metu pramonės, energetikos ir transporto srityse, todėl labiausiai aplinkos oro taršos poveikis yra jaučiamas miestuose, kur sutelkta pramonė ir didelis eismo intensyvumas. Tačiau žmogaus sveikatai yra svarbi ne tik aplinkos, bet ir gyvenamųjų patalpų oro kokybė, kuriose žmogus praleidžia didžiąją dalį savo paros laiko.

Aplinkos ore visuomet yra tam tikras priemaišų kiekis, o toks oras, patekęs į patalpų vidų, dar pasipildo įvairiomis medžiagomis, kurias išskiria patalpose esantys įprasti teršalų šaltiniai: statybinės medžiagos, pelėsiniai grybeliai, naudojama buitinė technika, chemija, įvairūs namų apyvokos reikmenys, gyvūnai. Tyrimai rodo, kad patalpose esantis oras gali būti užterštas kelis kartus labiau negu aplinkos oras. Iš čia ir kyla nauja problema – tokį orą tenka valyti papildomai naudojant tam tikrus valymo būdus ar prietaisus.

Pats natūraliausias oro teršalus šalinantis būdas yra vėdinimas arba ventiliacija. Ventiliacija gali būti natūrali arba priverstinė. Esant bet kuriai ventiliacijos rūšiai oras patalpoje juda, atsiranda oro srautai ir jų maišymasis. Pasišalinus užterštam orui jo vietą užima švarus oras.

Esant nepakankamai oro cirkuliacijai susidaro palankios sąlygos atsirasti ir plisti grybeliui, keliančiam didelę grėsmę žmogaus sveikatai.

***Darbo tikslas*** – ištirti buitinių oro valymo prietaisų efektyvumą aerozolio dalelių pašalinimui gyvenamosiose patalpose.

### ***Darbo uždaviniai:***

1. Atlikti mokslinės literatūros, susijusios su buitinių oro valymo įrenginių veikimo principais, bei jų testavimo rezultatų analizę.
2. Pagal sudarytą eksperimento metodiką ir planą, ištirti gyvenamųjų patalpų valymo įrenginių efektyvumą kambario imitacinėje kameroje.
3. Ištirti oro valymo įrenginių bei skirtingų ventiliacijos režimų įtaką oro kokybei, bei jų pritaikymo galimybę oro kokybės valdymui.

# 1. TEORINĖ DALIS

## 1.1. Patalpų oro taršos šaltiniai ir jų klasifikavimas

Gyvenamųjų pastatų patalpų oro taršą lemia patalpų veiksniai (struktūra, audiniai, dangos, baldai, vėdinimo sistema ir pan.), gyventojų specifinė veikla ir kiti taršos šaltiniai esantys lauke. Fernandes et al. (2008) gyvenamųjų patalpų taršos šaltinius siūlo klasifikuoti atitinkamai:

- Aplinkos oro tarša (dėl eismo, miesto ir pramoninės taršos) į pastato vidų patenka per ventiliacijos sistemą, arba per sienose esančius plyšius, trūkius ir kitus nesandarumus;
- Statybinės medžiagos ir baldai (sienų ir grindų dangos, dažai, lakai, izoliacinės medžiagos ir kiti);
- Procesai vykstantys pastatuose (degimas, šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimo sistemos ir t.t.)
- Patys gyventojai ir jų veikla (rūkymas, valymo priemonių naudojimas, augalų ir naminių gyvūnų laikymas, maisto gaminimas, spausdinimo operacijos ir t.t.)
- Vanduo ir dirvožemis (tiekiant vandenį, ar netinkamoje vietoje pastačius gyvenamąjį būstą jame gali padidėti radono dujų koncentracija).

Jones (1999) patalpų oro taršos šaltinius siūlo klasifikuoti pagal jų kilmę į taršą iš ne biologinių taršos šaltinių ir į taršą iš biologinių taršos šaltinių. Svarbu yra atkreipti dėmesį į tai, kad lauko taršos šaltiniai gali būti pagrindiniai veiksniai, lemiantys patalpų oro kokybę, tas ypač aktualu pastatams, kurie yra miestuose arti pramoninių zonų, ar gatvių, kur vyrauja sunkusis transportas. Jones (1999) teršalams iš ne biologinių taršos šaltinių priskiria šiuos teršalus:

- Asbestas – pluoštinis mineralas. Patekus jo skaiduloms į žmogaus kvėpavimo takus, gali atsirasti įvairių nepagydomų vėžinių susirgimų.
- Anglies dioksidas – į patalpų orą patenka iš degimo procesų ir žmogaus organizmo metabolinių procesų.
- Anglies monoksidas – tai nepilno degimo produktas, ypač pavojingas žmoniemis dėl didelės apsinuodijimo rizikos.
- Formaldehydas – daugelio statybinių medžiagų, apdailos medžiagų, izoliacinių medžiagų, baldų, cigarečių, valymo ir kosmetikos priemonių sudedamoji dalis.
- Azoto dioksidas – degimo proceso dujos (dujinės viryklės, netvarkingi dujiniai šildytuvai, žvakės, cigaretės).
- Sieros dioksidas – šios dujos į patalpų orą dažniausiai patenka iš lauko.
- Radonas – tai radioaktyvios dujos, kurios išsiskiria iš dirvožemio ir uolienų.

- Smulkiosios dalelės (įvairūs aerozoliai) – jas generuoja degimo procesai.
- Tabako dūmai – pavojingi ne tik rūkančiajam, bet ir visiems aplinkiniams.
- Lakūs organiniai junginiai – į patalpų orą patenka iš išorės bei žmonių ir jų vykdomos veiklos, tabako dūmų, teršalus išskiriančių statybinių medžiagų, grindų apdailai naudojamų dangų bei baldų.

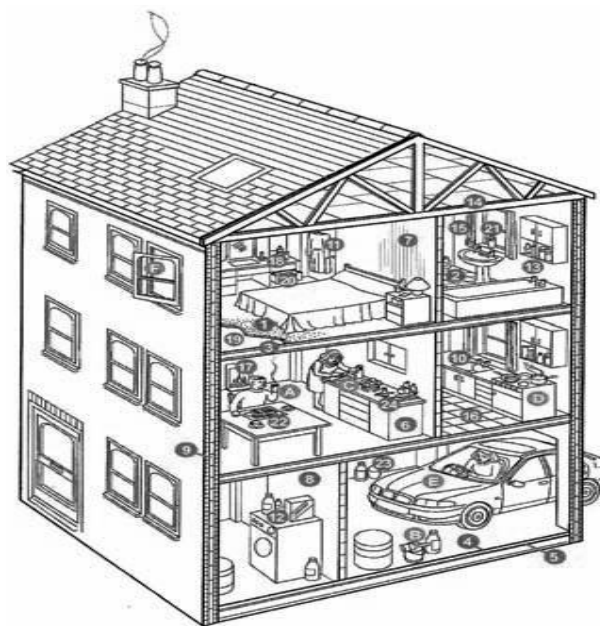
Nors diskutuojant apie patalpų orą didžiausias dėmesys dažniausiai skiriamas cheminiams teršalams, ne mažiau svarbūs yra biologiniai taršos šaltiniai. Jones (1999) teršalams iš biologinių taršos šaltinių priskiria šiuos teršalus:

- Patalpų biologiniai alergenai – dažniausiai pasitaikantys - dulkių erkutės.
- Grybai, bakterijos ir virusai – patalpose dažniausiai atsiranda dėl prastos ventiliacijos, padidėjusios drėgmės ir temperatūros.

Bone et al. (2010) veiksnius, darančius įtaką patalpų oro kokybei, siūlo skirstyti į dvi grupes, į veiklą ir produktus (medžiagas). Straipsnyje pateikta pateikia iliustracija (1 pav.), kurioje nurodomos veiklos, įtakojančios patalpų oro kokybę:

- A – Cigarečių rūkymas;
- B – Langų ir durų dažymas;
- C – Baldų poliravimas;
- D – Maisto gaminimas;
- E – Automobilio išmetimai / benzino garai;
- F – Ventiliacija (išoriniai taršos šaltiniai).

Produktų (medžiagų), veikiančių patalpų oro kokybę, klasifikacija iliustruota 1 pav. ir 1 lentelėje.



**1 pav.** Veiksniai darantys įtaką patalpų oro kokybei (Bone et al. 2010).

**1 lentelė.** 1 pav. pažymėtų verčių paaiškinimas.

1. Kilimai	9. Sienų izoliacinės medžiagos	17. Atvira ugnis
2. Vinilinės grindys	10. Sandarinimo medžiagos (akrilas)	18. Parfumerija
3. Kiliminės dangos	11. Išvalyti drabužiai (cheminis valymas)	19. Medžio dulkių plokščių grindys
4. Išdažytos grindys	12. Skalbimo, valymo priemonės	20. Repelentai nuo vabzdžių
5. Hidroizoliacinio sluoksnio membrana	13. Higienos reikmenys vonioje	21. Oro gairvikliai
6. Drožlių plokščių baldai	14. Sijų mediena	22. Spausdinimas
7. Vinilo tapetai	15. Užvalaidos	23. Pesticidai
8. Emulsiniai sienų dažai	16. Vinilo klizai	24. Klizai

Crump et al. (2009) sudaryta taršos šaltinių ir teršalų klasifikacija pateikta 2 lentelėje. Atlikti tyrimai parodė, kad apšiltinus ir užsandarinus namą – siekiant energijos vartojimo efektyvumą – jo viduje gali smarkiai pablogėti patalpų oro kokybė. Trūkstant šviežio oro infiltracijos į patalpas, jose gali pradėti kauptis patalpų oro teršalai, kuriuos išskiria: statybinės medžiagos, baldai, plataus vartojimo prekės, taip pat žmonės ir jų augintiniai. Patalpų viduje gali padidėti drėgmė ir kondensacijos rizika, kas įtakoja pelėsių atsiradimo ir dulkių erkučių dauginimąsi. Taip pat pabrėžiama, kad vis didėja susidomėjimas LOJ išsiskyrimo iš vartotojų produktų, įskaitant elektros prekes (kompiuteriai ir spausdintuvai), taip pat valiklius ir oro gairviklius.

**2 lentelė.** Vidaus patalpų oro taršos šaltinių skirstymas pagal Crump et al. (2009).

Šaltinis	Pagrindiniai teršalai
Aplinkos oras	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , ozonas, kietosios dalelės, mikroorganizmai, benzenas
Kuro deginimas	CO, NO <sub>x</sub> , lakūs organiniai junginiai, kietosios dalelės
Rūkymas	CO, LOJ, kietosios dalelės
Žmonės	CO <sub>2</sub> , organiniai junginiai
Statybinės medžiagos	LOJ, formaldehidai, radonas, plaušai, amoniakas
Plataus vartojimo produktai	LOJ, formaldehidai, pesticidai
Baldai, buto įrengimai	LOJ, formaldehidai
Šildymo, ventiliacijos, oro kondicionavimo įranga	LOJ, ozonas, kietosios dalelės
Bakterijos, grybeliai	LOJ, mikroorganizmai
Užteršta žemė	Metanas, LOJ, užterštos kietosios dalelės (pvz.: metalai)
Dirva	Radonas, drėgmė
Plovimas, valymas	Drėgmė
Gyvūnai (pvz.: erkės, katės)	Alergenai

## 1.2 Oro valymo prietaisų technologijos

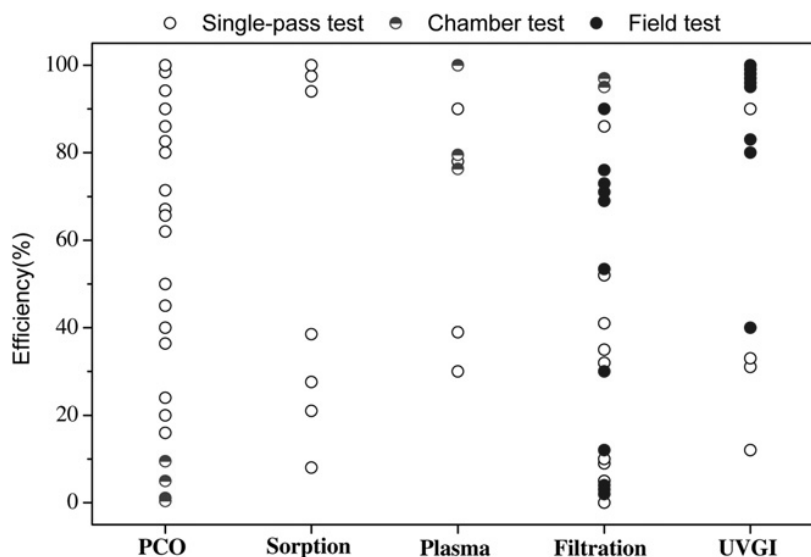
**Mechaninė filtracija** oro valyme yra naudojama labai plačiai. Filtracijos efektyvumo tyrimai apėmė skirtingas teršalų grupes: nuo mikroorganizmų iki labai mažų dalelių. Tyrimuose gaunama teigiamas efektas kietųjų dalelių šalinimui (didesnis šalinimo efektyvumas didesnėms dalelėms), bet kartais ne toks didelis, koks turėtų būti teoriškai pagal gamintojo duomenis. Apibendrinant, mechaniniai filtrai gali efektyviai pašalinti kietąsias daleles, bet nėra efektyvūs šalinant organinius ir neorganinius junginius. Pagrindinė tokių filtrų problema yra ta, kad jie gali patys gali išmesti teršalus, jei nėra teisingai naudojami. Panaikinti šį trūkumą galima naudojant dalelių arba aktyvuotos anglies filtrus kaip Bekö et al. (2009), Metts and Batterman (2006).

**Adsorbicija** yra vienas pagrindinių būdų iš oro šalinti dujinius teršalus. Dujų šalinimas pagrįstas molekulių prisijungimu prie naudojamos filtro medžiagos (adsorbento) paviršiaus. Adsorbicijos ir chemisorbcijos efektyvumą lemia sorbcijos mechanizmas, adsorbento paviršiaus plotas, poringumas, sorbcijos - desorbicijos pusiausvyra, teršalo difuzijos koeficientas (Parmar and Grosjean, 1991).

**Fotokatalizė** yra vienas iš būdų suardyti ir šalinti dujines molekules ir mikroorganizmus. Fotokatalizei naudojamas ultravioletinės spinduliuotės šaltiniu apšvitintas katalizatorius ant kurio paviršiaus susiformuoja reaktyvūs radikalai, kurie gali reaguoti su mikroorganizmais ir teršalų molekulėmis. Dažniausiai pasitaikantis katalizatorius yra  $\text{TiO}_2$ , pasižymintis ilgaamžiškumu ir inertiškumu. Didžiojoje dalyje studijų, tyrusių fotokatalizinę oksidaciją katalizatoriumi buvo naudojamas titano dioksidas ( $\text{TiO}_2$ ). Kai kuriuose moksliniuose tyrimuose pagerinti katalizatoriaus poveikį buvo naudojamas ozonas (Ellis and Tometz, 1972; Kwong et al., 2008b).

Fotokatalizinė oksidacija įprastai gali nukenksminti beveik visų rūšių teršalus: aldehydus, aromatinius angliavandenilius, alkanus, chlorfluorangliavandenilius, kvapus ir kt. Teršalų ir vandens garų adsorbicija ant katalizatoriaus paviršiaus daro didelį poveikį oksidacijos lygiui (Obee and Brown, 1995). Lakiųjų organinių junginių oksidacijai pagerinti naudojami vadinamieji hibridiniai katalizatoriai (aktyvintos anglis arba ceolitas padengtas  $\text{TiO}_2$ ) (Ao and Lee, 2003). Daugelyje tyrimų buvo tiriama tik viena analizė, ir gaunami geri rezultatai. Tačiau gyvenamųjų patalpų oras gali būti pilnas įvairių teršalų, todėl vienos analizės tyrimai gali būti netikslūs ir klaidinantys. Be to, reikia įvertinti ir tai, kad fotokatalizinės oksidacijos metu susidaro ir šalutinių produktų (formaldehidas ir kt.) kurie gali daryti didesnę žalą negu nukenksminamas teršalas (Hodgson et al., 2007; Muggli et al., 1998; Mo et al., 2009).

Daugelis tyrimų buvo atlikti mažuose laboratoriniuose įrengimuose, ir buvo gauti maži švaraus oro patiekimo rodikliai (CADR). Aukšti efektyvumai buvo gauti atliekant vienetinius technologijos tyrimus (angl. Single-pass test), tačiau imituojant kambario sąlygas (angl. Chamber test) efektyvumai buvo maži (2 pav.) Galima daryti išvadą, kad fotokatalizinės oksidacijos technologija dar nėra tinkama praktiniam pritaikymui.



2 pav. Įvairiuose tyrimuose tirtų oro valymo technologijų efektyvumai (Zhang, 2011).

**Plazmos** valymo būdas naudoja aukštą įtampą reikalingą oro jonizavimui. Jonizacijos metu yra sukuriama reaktyvūs radikalai, galintys reaguoti su teršalais ir juos suardyti. Plazma yra efektyvus būdas šalinti molekules ir dujas. Yra keletas būdų išgauti plazmą oro valymui: tai vainikiniu kintamos srovės išlydžiu, nuolatine srove bei dielektrinis barjerinis išlydis (angl. DBD). Oro valymo prietaisai, naudojančios plazmą, kietąsias daleles šalino aukštu efektyvumu, pvz.: 76 – 99 % (Park et al., 2008; Van Durme et al., 2007; Van Durme et al., 2009). Ši technologija nėra efektyvi šalinant dujinius teršalus (Park et al., 2008). Naudojant kartu su katalizatoriais, buvo pastebėta, kad oro valymo prietaisai efektyviau šalino lakiuos organinius junginius, tokius kaip toluenas (Van Durme et al., 2007). Jeigu plazma yra kartu kombinuojama su UV spinduliuotės technologija pastebimas pagerėjimas šalinant formaldehidą, benzeną, tolueną ir ksileną. Plazmos ir katalizatoriaus teršalų šalinimo efektyvumui trukdo drėgmė (Van Durme et al., 2009). Apskritai plazmos technologijos gali padidinti kietųjų dalelių valymo efektyvumą filtrais bei dujinių teršalų valymo efektyvumą naudojant katalizatorius. Vis dėlto, pagrindinis plazmos technologijos naudojimo trūkumas yra antrinių teršalų, tokių kaip  $\text{NO}_x$  ir ozonas, susidarymas (Van Durme et al., 2007).

**UV spinduliuotės** naudojimas šviesos bangos ilgio intervale nuo 200 iki 365 yra naudingas naikinant bakterijas. Nors šio bangos ilgio spinduliuotės (200 – 320 nm) gebėjimas naikinti bakterijas yra žinomas daugiau nei 100 metų (Kowalski, 2009) vis dar nėra daug duomenų norint apibendrinti šio technologijos teršalų valymo efektyvumą.

3 lentelėje pateikiami valymo technologijų apibendrinimas.

**3 lentelė.** Paprastai naudojamų vidaus patalpų oro valymo technologijų palyginimas (Zhang et al., 2011).

Valymo technologija	Teršalai	Privalumai	Trūkumai	Būdai pagerinti technologijos veikimą
Katalizinė oksidacija, fotokatalizė	Dujiniai organiniai, neorganiniai teršalai, mikrobai	Veikiantis kambario temperatūroje. Gali suardyti įvairius teršalus (tokius kaip aldehidai, PAA, alkanai, halogeninti angliavandeniliai, kvapai, mikrobai). Nereikalinga regeneracija	Gali sudaryti kenksmingus šalutinius produktus (formaldehidą, acetaldehidą, acetoną). Katalizatoriaus užsiteršimas, kas sumažina jo veikimo efektyvumą	Kartu su kitomis valymo technologijomis, kaip pvz.: adsorbicija, termine-katalizine oksidacija, kad sumažinti šalutinius produktus ir pagerinti veikimą
Plazma		Vienu metu gali pašalinti dujinius teršalus, mikrobus ir net kietąsias daleles. Aukštas vienkartinio valymo efektyvumas	Gali susidaryti O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> ir kiti žalingi šalutiniai produktai. Aukšta įtampa ir didelis energijos suvartojimas.	Veikimas kartu su dalelių filtru kad pagerinti filtro veikimą ir sumažinti slėgio kritimą. Katalizatorių naudojimas kad pašalinti ozoną
Sorbicija (adsorbicija)	Organiniai, neorganiniai dujiniai teršalai	Nesusidaro žalingų šalutinių produktų. Geras veikimas dujinių teršalų šalinimui.	Po ilgo veikimo reikalinga regeneracija. Gali susidaryti oro teršalų. Reakcijos su ozonu gali sudaryti antrinius dujinius teršalus	Reikalingos dinamiškos nuolat ir su pertraukomis veikiančios sistemos
Filtracija	Kietosios dalelės	Gerai šalinamos 0,1 – 4 μm dydžio dalelės	Ilgai naudojami dalelių filtrai gali tapti antriniais teršalų šaltiniais. Nėra pašalinami LOJ, išskyrus tuos atvejus kai kartu naudojamos kitos medžiagos, pvz.: aktyvuota anglis	Naudojimas kartu su elektrostatiu nusodinimu
Ultravioletinis baktericidinis švitinimas	Ore esantys mikrobai	Gerai nukenksminami ore esantys mikroorganizmai (bakterijos, grybeliai, virusai)	Gali susiryti ozonas ir dioksinai	-

### **1.3 Oro valymo prietaisų standartiniai testavimo metodai ir jų apibūdinimas**

#### **1.4.1 ANSI / Aham AC-1 standartinis testavimo metodas aerozolių šalinimui (JAV, 2002)**

Testavimo metodas apibūdina dalelių santykinį sumažėjimą specialiai paruoštos bandymų kameros ore naudojant oro valymo prietaisą. Testavimo kameros paveikslas pateiktas 3 pav.

Amerikos testavimo metodas remiasi švaraus oro patiekimo koeficiento (angl. Clean Air Delivery Rate - CADR) nustatymu kiekvienam prietaisui.

CADR yra apibrėžiamas kaip oro valymo prietaisų patiekiamas švaraus oro kiekis, išreikštas kubinėmis pėdomis per minutę (cfm).

Vertinimas pateikiamas naudojamų trijų teršalų (dūmų, dulkių ir žiedadulkių) atžvilgiu, lyginant nustatytus švaraus oro patiekimo (CADR) koeficientus. Šie trys teršalai (dūmai, dulkės ir žiedadulkės) naudojami kad gauti skirtingų dydžių daleles, kurios susidarytų realiai namų sąlygomis. Tiriamų dalelių dydis vyrauja nuo 0,10 - 1,0  $\mu\text{m}$  deginant cigaretę, 0,5 - 3,0  $\mu\text{m}$  testuojamoms dulkėms iki 5 – 11  $\mu\text{m}$  žiedadulkėms (popieriaus šilkmedžio).

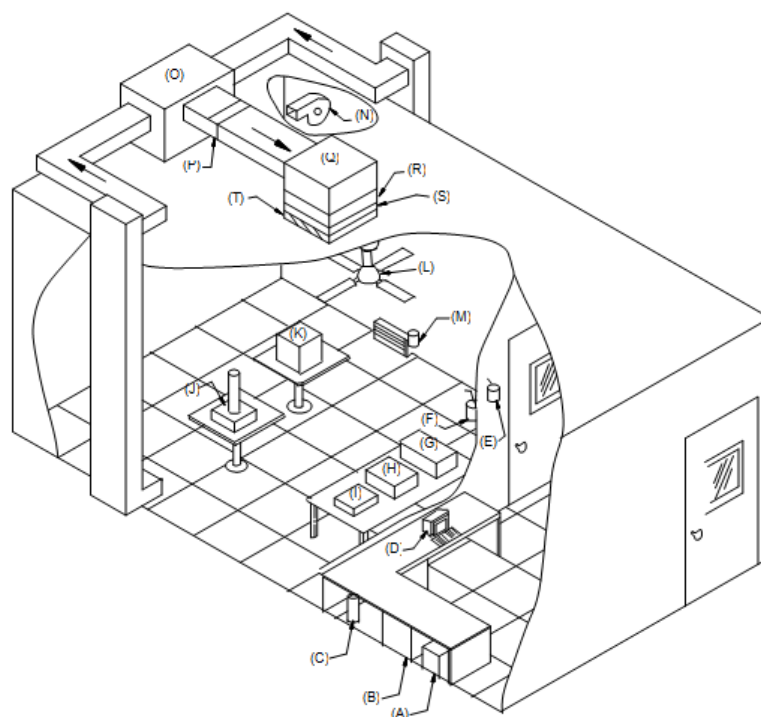
Testavimo kamera turi atitikti specialius reikalavimus. Testavimo kameros dydis - 1008 kub. pėdų arba 28,5 m<sup>3</sup> (3,2 × 3,66 × 2,44 m). Ji turi būti sandari, hermetiška, kameros grindys padengtos besiūle, vientisa, lygiu paviršiumi medžiaga – linoleumu arba vinilo plokštėmis, sienos nudažytos nuplaunamais neblizgiais latekso dažais.

Patalpos klimatinių sąlygų palaikymo sistema susideda iš š oro drėkintuvo, HEPA filtro, oro tiekimo agregato, oro tiekimo ir grąžinimo sklendžių. Kamera taip pat turi lubų ventiliatorių ir oro recirkuliacijos ventiliatorių, kad patalpos oras būtų maišomas. Dalelių skaitikliai yra kameroje.

Kiekvieno CADR yra nustatomas pagal atskirą bandymo seką bandymų kameroje. Įvertinamas ir natūralus dalelių sumažėjimas (esant išjungtiems oro valymo prietaisams), ir išmatuotas sumažėjimas (esant įjungtiems oro valymo prietaisams) atskirai dūmams, dulkėms ir žiedadulkėms.

Prieš bandymo pradžią, kamera turi būti kruopščiai išvalyta. Oro valymo prietaisai yra tada pastatomi kameros centre ant stalo. Atskiras bandymų stendas yra numatytas montuoti ant sienos montuojamiems oro valikliams.





**3 pav.** ANSI / Aham AC-1 testavimo metodo oro valymo prietaisų testavimo kameros schema [21].

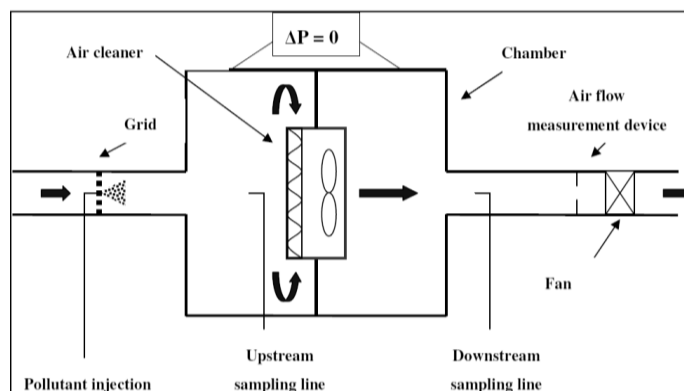
**4 lentelė.** 3 paveikslėlyje pažymėtų raidžių paaiškinimas.

A	Įtampos reguliatorius	L	Lubų ventiliatorius
B	Duomenų sąsajos įtaisas	M	Išeinančio oro sklendė
C	Oro filtras	N	Recirkuliacinis ventiliatorius
D	Kompiuteris	O	Drėkintuvas
E	Cigaretės dūmų talpa	P	Pirminis filtras
F	Žiedadulkių generatorius	Q	Paduodamo oro prietaisas
G	Dulkių ir žiedadulkių kontrolės prietaisas	R	HEPA filtras
I	Cigaretės dūmų praskiediklis	S	Oro šildytuvas
J	Dulkių generatorius	T	Tiekiamo oro sklendė
K	Testuojamas prietaisas		

#### 1.4.2. Eksperimentinis Prancūzijos standartas AFNOR XP B44-200 (2011)

Testavimas atliekamas 1,5×1,5×1,5 m kameroje, padalintoje į 2 dalis, kurias skyrė orui nepralaidi pertvara (4 pav.) Prie kameros buvo prijungti 2 kanalai (ortakiai). Vienu jų buvo tiekiamas švarus (be teršalų) ir tam tikros temperatūros ir drėgmės oras į apatinę kameros dalį, o kitų oras buvo šalinamas ir jame matuojamas oro srautas.

Oro valymo prietaisais buvo montuojamas pertvoroje taip, kad oras į jį patektų iš apatinės kameros dalies (oro padavimas), o išeitų į apatinę kameros dalį (ištraukimas) (4 pav.)

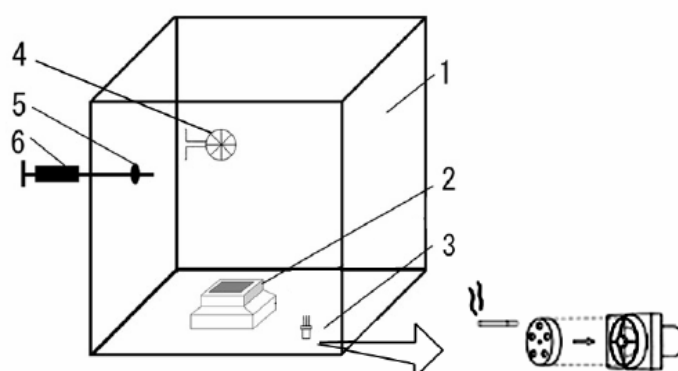


4 pav. AFNOR XP B44-200 Testavimo kameros schema [20].

Šiuo metodu galima tirti įvairių teršalų išvalymo efektyvumus: kietųjų dalelių, dujų, alergenų, mikroorganizmų. Teršalai yra įvedami į oro padavimo ortakį atskirai kiekvieną kartą atliekant bandymus. Teršalų koncentracija prieš valymą matuojama oro padavimo ortakyje, o po valymo oro ištraukimo ortakyje.

Į ortakį kietosios dalelės (aerozolis) yra išpurškiamos iš generatoriaus suspausto oro pagalba. Jų koncentracija matuojama optiniu dalelių skaitikliu pagal jų dydį. Pirmiausiai fiksuojamos 3 koncentracijos prieš valymą, po to 3 koncentracijos po valymo, vėliau vėl matuojamos 3 koncentracijos prieš valymą, suskaičiuojami koncentracijų vidurkiai [20].

#### 1.4.3. JEM 1467 namų oro valymo prietaisų testavimo metodas (Japonija, 1995)



5 pav. JEM 1476 testavimo metodo oro valymo prietaisų testavimo įranga; 1- testavimo kamera (1 m<sup>3</sup>); 2- oro valymo prietaisais; 3- cigarečių dūmų generatorius; 4- oro maišytuvai; 5- dujų mėginių paėmimo ir (tam tikrais atvejais) įleidimo vieta; 6- dujų siurblys ir dujų analizatorius [20].

JEM 1467 testavimo metodas skirtas testuoti oro valymo prietaisų patikimumą šalinti cigaretės deginimo metu išsiskyrusius dujinius teršalus. Tie dujiniai teršalai – tai acto rūgštis, acetaldehidas ir amoniakas, ir jie matuojami vamzdelyje įmontuotu detektoriumi.

Testavimas atliekamas 1 m<sup>3</sup> talpos nerūdijančio plieno kameroje. Jos schema pavaizduota 5 pav. Bandymui cigarečių dūmai generatoriaus pagalba yra gaminami deginant 5 cigarečių vienetus. Deginant cigaretes dūmai oro maišytuvo pagalba yra išskaidomi po kamerą tam, kad palaikyti vienodą teršalų koncentraciją visame tūryje. Maišytuvo galia turėtų būti pakankama užtikrinti 0,7 m<sup>3</sup>/min oro srautą.

Pradinė teršalų koncentracija yra matuojama po 2 – 5 min laikotarpyje po to, kai sudega visos cigaretės. Pirmiausiai išmatuojama acto rūgšties koncentracija, po to matuojamas amoniakas ir acetaldehidas. Po to, kai nuimamos pradinės medžiagų koncentracijos, įjungiamas valymo įrenginys, kuris paliekamas veikti 30 min. Po to laiko tokiu pačiu būdu išmatuojamos teršalų koncentracijos po valymo.

Naudojant šį metodą atliekami ir kai kurių gamintojų automobilių filtrų efektyvumo testavimai. Vietoj cigaretės degimo metu išsiskiriančių teršalų naudojamos skirtingos dujos (toluenas, n-butanai, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, formaldehidas, acetaldehidas, metilmerkaptanas ir kt) [20].

#### **1.4. Priemonės gyvenamųjų patalpų oro užterštumui mažinti – oro valymo prietaisai**

Oro valymo prietaisai šiandien yra pritaikyti naudoti namų sąlygomis. Jie yra pritaikyti įvairiems gyvenamųjų patalpų ore esantiems teršalams šalinti. Ginestet (2012) išskiria šiuos teršalų šalinimo būdus. Tai:

1. Mechaninė filtracija ant pluoštinio filtro;
2. Elektrostatinis nusodinimas;
3. Adsorbcija;
4. Fotokatalizė;
5. Plazma;

Šie valymo būdai gali būti naudojami po vieną, arba, dažniau, kombinuotai. Paprastai jie šalina vienos rūšies teršalus (pvz.: tik kvapus, tik kietąsias daleles ir kt.). Tačiau pagal šalinimo būdą juos būtų galima sugrupuoti į kelias dalis (Ginestet, 2012):

- Pašalinimas (mechaninis filtravimas, elektrostatinis nusodinimas, adsorbcija);

- Teršalo cheminis pakeitimas (adsorbicija);
- Suskaidymas (fotokatalizė, plazma);

**5 lentelė.** Gyvenamųjų patalpų oro teršalai ir juos veikiantys oro valymo būdai (Ginestet, 2012).

	Kietosios dalelės	Dujos	Alergenai	Mikroorganizmai
Mechaninė filtracija	X		X	X
Elektrostatinis nusodinimas	X		X	X
Adsorbicija		X		
Fotokatalizė		X		X
Plazma		X		X

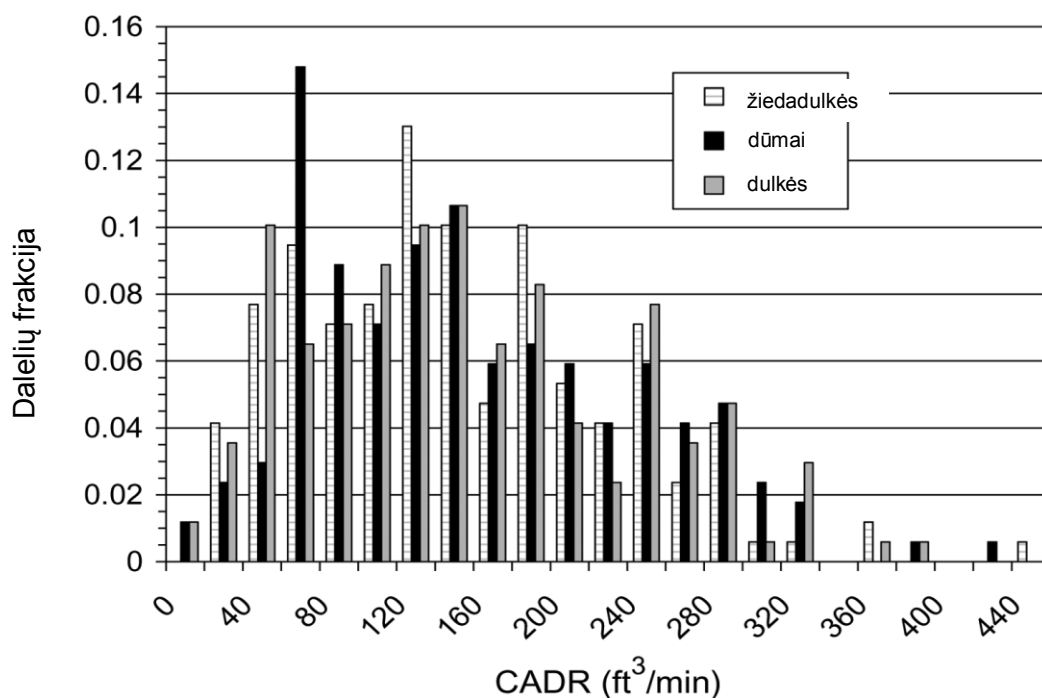
### 1.5 Oro valymo prietaisų efektyvumą rodikliai

Švaraus patiekimo oro koeficientas (angl. Clean Air Delivery Rate) yra pagrindinis rodiklis apibūdinantis gyvenamųjų patalpų oro valymo prietaisų efektyvumą. CADR yra pagrįstas išmatuotomis teršalų mažėjimo vertėmis oro valymo prietaisui veikiant tam tikru režimu ir jam nedirbant. CADR apibūdinamas pravalyto oro tūriu per laiko vienetą ( $m^3/val.$ ,  $ft^3/min$ ). CADR yra reikšmingas rodiklis, kadangi jis įvertina tiek oro valymo filtro efektyvumą, tiek teršalų šalinimo efektyvumą dėl oro maišymąsi patalpoje. Oro valymo prietaisai geba pakartotinai valyti į patalpą išmestą „pravalytą“ orą. CADR duoda tinkamesnes vertes palyginti efektyvumą realiomis sąlygomis, negu atskirai atliktus filtro testavimus, kaip dažniausiai būna nurodyta gamintojų (Daisey, 1989).

AHAM [21] šiuo metu naudoja CADR kaip būdą įvertinti komerciškai parduodamų oro valymo prietaisų efektyvumą kietųjų dalelių šalinimui. Palyginimui pasirinkti 3 dalelių tipai:

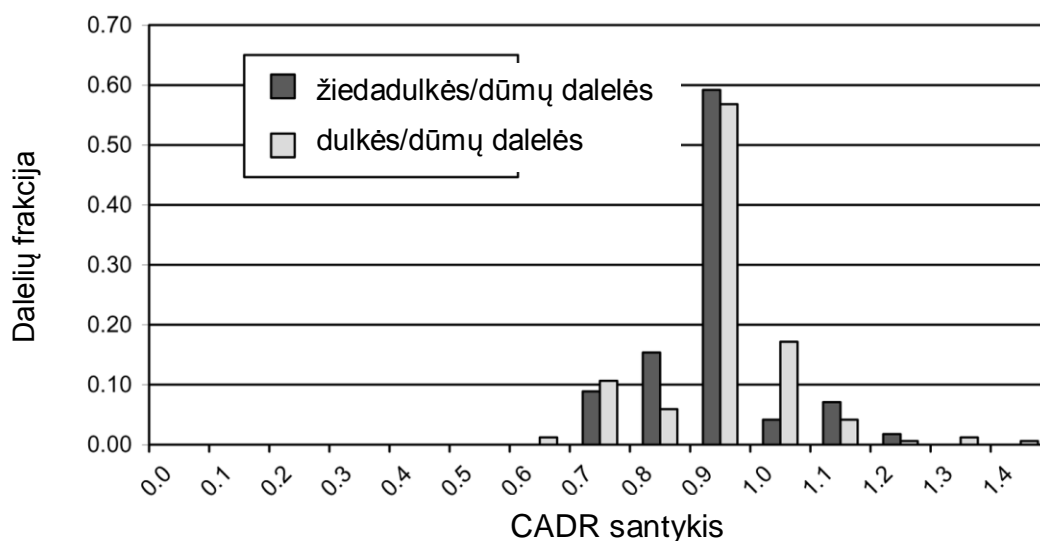
- KD iš cigarečių deginimo (0,09 – 1,0  $\mu m$ );
- Dulkės (0,5 – 3,0  $\mu m$ );
- Žiedadulkės (5 – 11  $\mu m$ )

Naujausiai testuotų 156 oro valymo prietaisų testavimo rezultatai [22] pateikti 6 pav. Gautų CADR vidurkių vertės visų 3 aerzolių testavimų metu iš esmės yra vienodos ~ 160  $ft^3/min$  (270  $m^3/val.$ ), o daugiau nei 90 % testuotų valymo prietaisų CADR vertės svyravo nuo 60 iki 300  $ft^3/min$  (100 – 500  $m^3/val.$ ). AHAM originalios vertės buvo pateiktos kubinėmis pėdomis per minutę.



**6 pav.** Kietųjų dalelių šalinimo įverčių (CADR) trims aerozolių rūšims pasiskirstymas pagal AHAM testavimą (Shaughnessy, 2007).

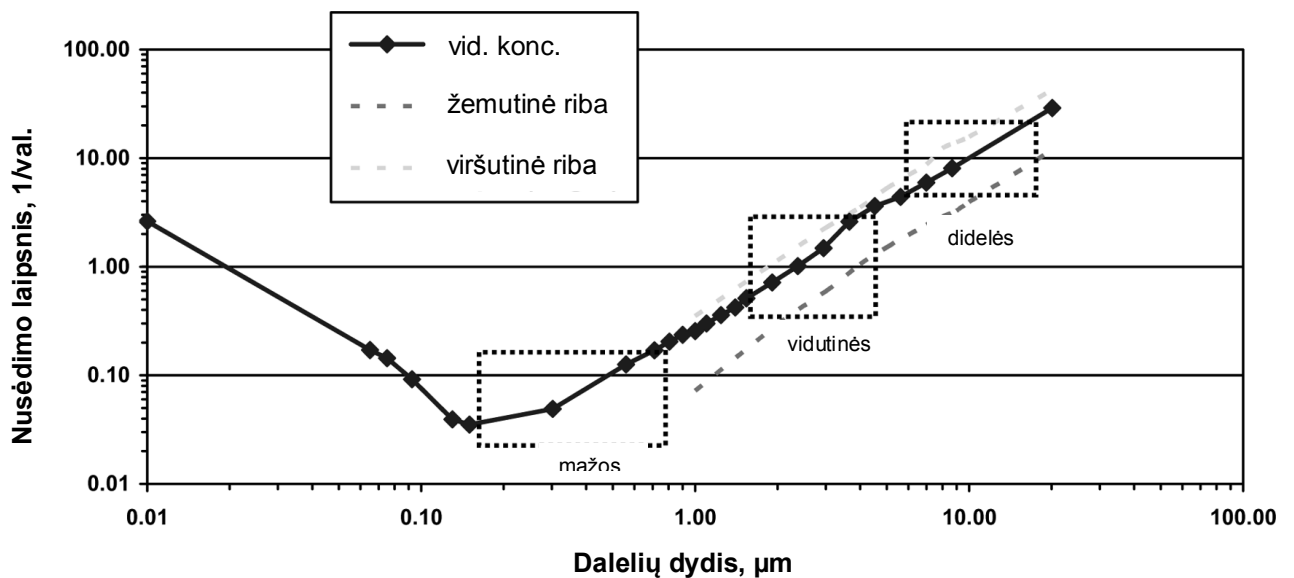
Shaughnessy et al. [22] savo studijoje tirdamas įvairių oro valymo prietaisų efektyvumus skirtingo tipo dalelėms gavo panašius valymo efektyvumus nepaisant dalelių susidarymo kilmės. Įrenginių efektyvumai, išreikšti kaip CADR, mažiausioms, tabako dūmų, dalelėms buvo gauti labai panašūs ir į didesnio dydžio dalelių šalinimo CADR vertes. 7 pav. pavaizduoti duomenys rodo įvairių tipų dalelių šalinimo lygį lyginant su dūmų dalelių šalinimo lygiu. Duomenys rodo labai mažus CADR žiedadulkių ir dulkių dalelių skirtumus tabako dūmų dalelių atžvilgiu. Apytiksliai 85 proc. santykinų verčių yra 0,8 – 1,2 intervale.



**7 pav.** CADR santykių tarp 3 tipų kietųjų dalelių pasiskirstymas (Shaughnessy, 2007).

Kaip minėta anksčiau, AHAM testavimų gauti CADR duomenys rodo labai mažą dalelių šalinimo priklausomybę nuo dalelių dydžio (7 pav.). Kita vertus dalelių šalinimo efektyvumas priklauso nuo dalelių dydžio. Kaip parodyta 8 pav. vidutiniai KD mažėjimai, išmatuoti kambario dydžio kameroje įvairiose eksperimentinėse sąlygose kinta beveik 3-uose dydžio intervaluose, dalelių dydžiui kintant nuo ~0,2 iki beveik 10  $\mu\text{m}$ .

Trys dalelių dydžio intervalai yra pažymėti 8 pav.; aerolių dalelės suskirstytos į 3 skirtingas rūšis pagal dydį: 1) mažos (dalelių dydis  $<0,8 \mu\text{m}$ , kaip pvz.: cigarečių dūmai); 2) vidutinės (1 – 4  $\mu\text{m}$ , pvz.: namų dulės, kai kurie alergenai; ir 3) didelės (6 – 20  $\mu\text{m}$ , pvz.: žiedadulkės ir alergenai, dulkių erkės, tarakonų išmatos). Vidutinis šių dalelių nusėdimo lygis atitinkamai yra ~0,05, ~1,0, ~10  $1/\text{val}$ . Palyginus įprastus gyvenamųjų patalpų ventiliacijų lygius (~1,0  $1/\text{val}$ ) [22] ventiliacija daro mažą įtaką mažų dalelių pašalinimui. Kitu atveju vidutinio dydžio dalelių kiekio sumažėjimas dėl nusėdimo yra panašus kaip ir dėl ventiliacijos. Galiausiai didžiosios dalelės nusėda greičiau negu yra pašalinamos dėl ventiliacijos



**8 pav.** Dalelių nusėdimo priklausomybė nuo dalelių dydžio (pagal Fisk et al. [23], Thatcher et al [24], Xu et al. [25]). Punktyrinės linijos rodo apatines ir viršutines Thatcher tyrimo matavimo ribas. Apvesti laukeliai rodo anksčiau aprašytus dalelių dydžius (Shaughnessy, 2007).

Atlikus literatūros analizę ir palyginus kitų autorių darytus tyrimus, buvo nuspręsta oro valymo prietaisus tirti nestandartinėje bandymų kameroje, atitinkančioje realų gyvenamosios patalpos dydį bei kambario sąlygas. Eksperimentinių bandymų metu bus kontroliuojami oro kokybės parametrai, bandymų kamera bus izoliuota nuo aplinkos poveikio.

## 2. METODINĖ DALIS

### 2.1. Oro valymo prietaisai

Bandymuose buvo naudoti 3 buitiniai oro valymo prietaisai, skirti valyti gyvenamųjų patalpų orą (9 pav.): Zepter Therapy Air Plus (Zepter International, Vokietija), Daikin MC70LVM (Daikin Industries Ltd., Japonija) ir Sharp KC-A60E (Sharp Corporation, Japonija), atitinkamai pažymėti kaip valymo prietaisai Nr.1, Nr.2, Nr.3.



**9 pav.** Testuojami buitiniai oro valymo prietaisai (iš kairės į dešinę): Nr.1 - Zepter Therapy Air Plus; Nr.2 - Daikin MC70LVM; Nr.3 - Sharp KC-A60E [28] [29] [30].

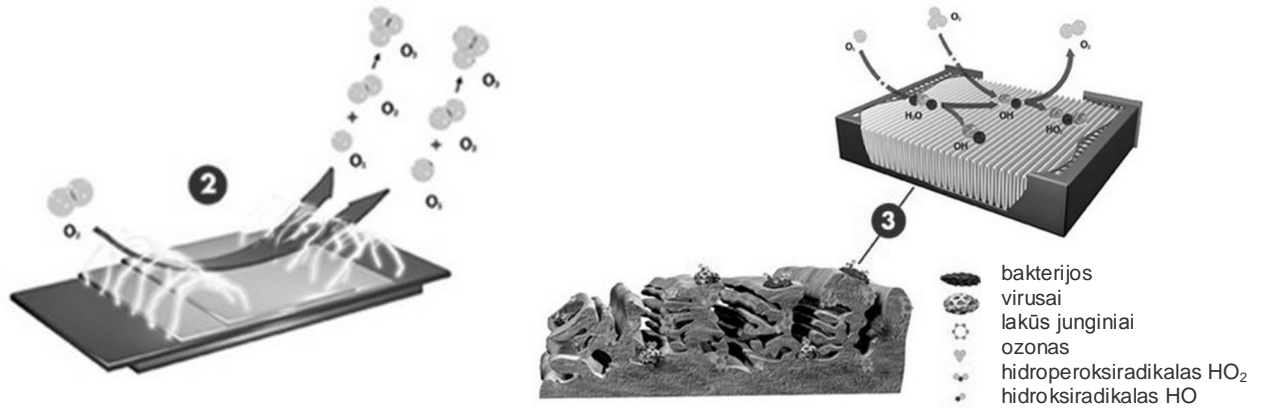
#### Oro valymo prietaisas nr.1 - Zepter Therapy Air Plus

Naudoja 3-įjį pakopų valymą: mikrofiltrą, plazmos išlydžio bloką ir katalizatoriaus filtrą. Mikrofiltras skirtas sulaikyti daleles iki  $0,4 \mu\text{m}$ . Plazmos išlydžio blokas skirtas naikinti mikroorganizmus ir kitus teršalus. Katalizatoriaus filtras sulaiko išsiskiriantį ozoną, hidroksiradikalus, sulaiko mikroorganizmų liekanas bei nepageidaujamas kvapus.

**Technologijos veikimo principas.** Dalis ozono reaguoja su vandeniu, kuris praktiškai yra sutinkamas ant visų paviršių, ant aktyvuotos anglies filtrų taip pat.

Valymo prietaisas grynina orą 3 lygių valymo procese. Įrenginys turi kontroliuojamą ozono gaminimą. Ozon pagalba yra oksiduojamos kvapų molokulės, virusai, bakterijos ir kiti toksinai. Ozonas taip pat oksiduoja fenolius, pesticidus ir aromatinius junginius. Tokiu būdu susiformuoja reaktyvūs hidroksiradikalai (OH) arba hidroperoksidiradikalai ( $\text{HO}_2$ ). Toliau vykstant oksidacijai organiniai junginiai yra oksiduojami kelių pakopų reakcijose susidarant organinėms peroksidiradikalams ( $\text{RO}_2$ ) ir bakterijos, virusai yra sunaikinami, t.y. biologiškai nukenksminami.

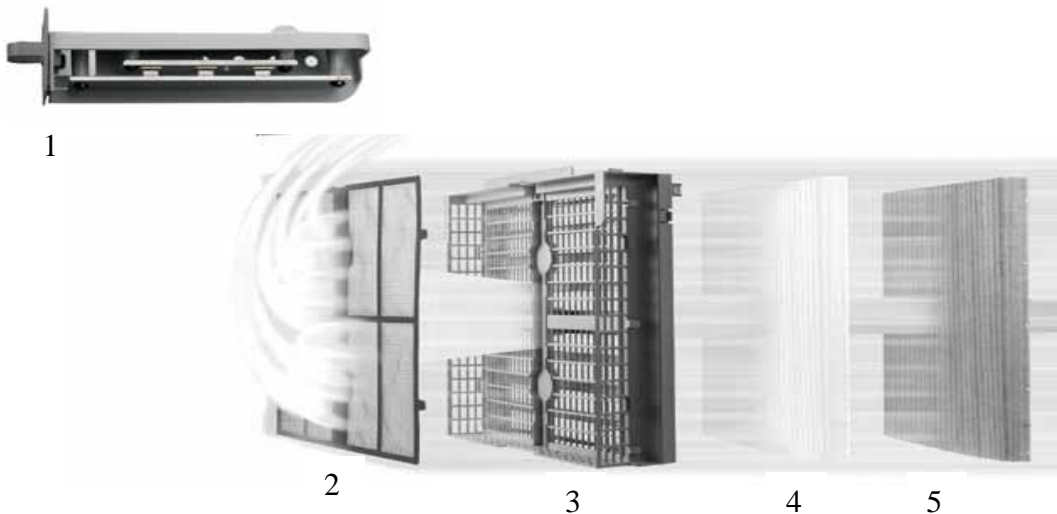
Toks procesas garantuoja, kad mikrobai, baltymų liekanos ir kvapai (organiniai junginiai) sulaikyti ant katalizatoriaus filtro ir kitų paviršių yra suoksiduojami ir sunaikinami. Po reakcijos su ozonu katalizatoriaus filtras yra higieniškas ir be kvapo [28].



**10 pav.** Oro valymo prietaiso nr.1 plazmos išlydžio bloko ir teršalų nukenksminimo schema [28].

### Oro valymo prietaisas nr.2 - Daikin MC70LVM

Naudoja 5-ių pakopų valymą Valymo technologija yra sukurta pašalinti žalingas daleles dulkes, kvapus, bakterijas, pelėsį, žiedadulkes, dulkių erkes ir kitus alergenų. Valymo technologijos schema ir apibūdinimas pateikiami 11 pav. ir 6 lentelėje [29].



**11 pav.** Oro valymo prietaiso nr.2 5-ių lygių valymo įrangos schema [29].

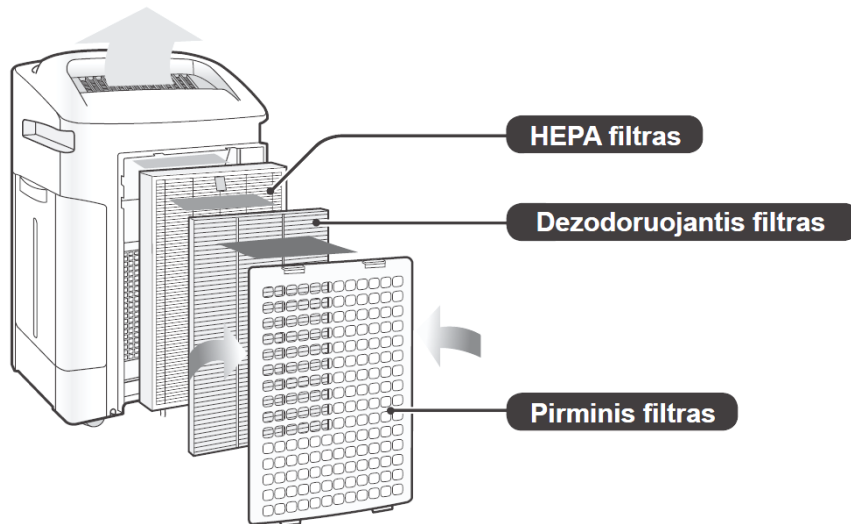


**6 lentelė.** 11 pav. pažymėtų skaičių paaiškinimas.

1	Srautinės iškrovos elementas	Išleidžiami greitieji elektronai oksiduojantys alergenų, teršalų ir kvapų molekules
2	Pirminis filtras	Sulaikomos dulkės, pašalinamos bakterijos ir alergenai
3	Jonizatorius	Žiedadulkės ir dulkės įgauna teigiamą elektrinį krūvį
4	Elektrostatinis filtras	Žiedadulkės ir dulkės yra sulaikomos ant neigiamai įelektrinto elektrostatinio filtro
5	Katalizatoriaus filtras	Kvapai ir virusai yra sulaikomi titano apatito katalizatoriaus filtro ir fotokatalizės būdu yra pašalinami

### Oro valymo prietaisas nr.3 – Sharp KC-A60E

Veikimo principas. Oro valytuvas traukia kambario orą per oro įsiurbimo angą, tada jis pereina pirminį filtrą, plaunamą dezodoruojantį filtrą ir HEPA filtrą bei yra išleidžiamas per oro išleidimo angą. HEPA filtras gali pašalinti 99,97 % per filtrą pereinančių 0,3 mikrono dydžio dulkių dalelių bei padeda sugerti kvapus [30].



**12 pav.** Oro valymo prietaiso nr.3 filtrų išdėstymo schema [30].

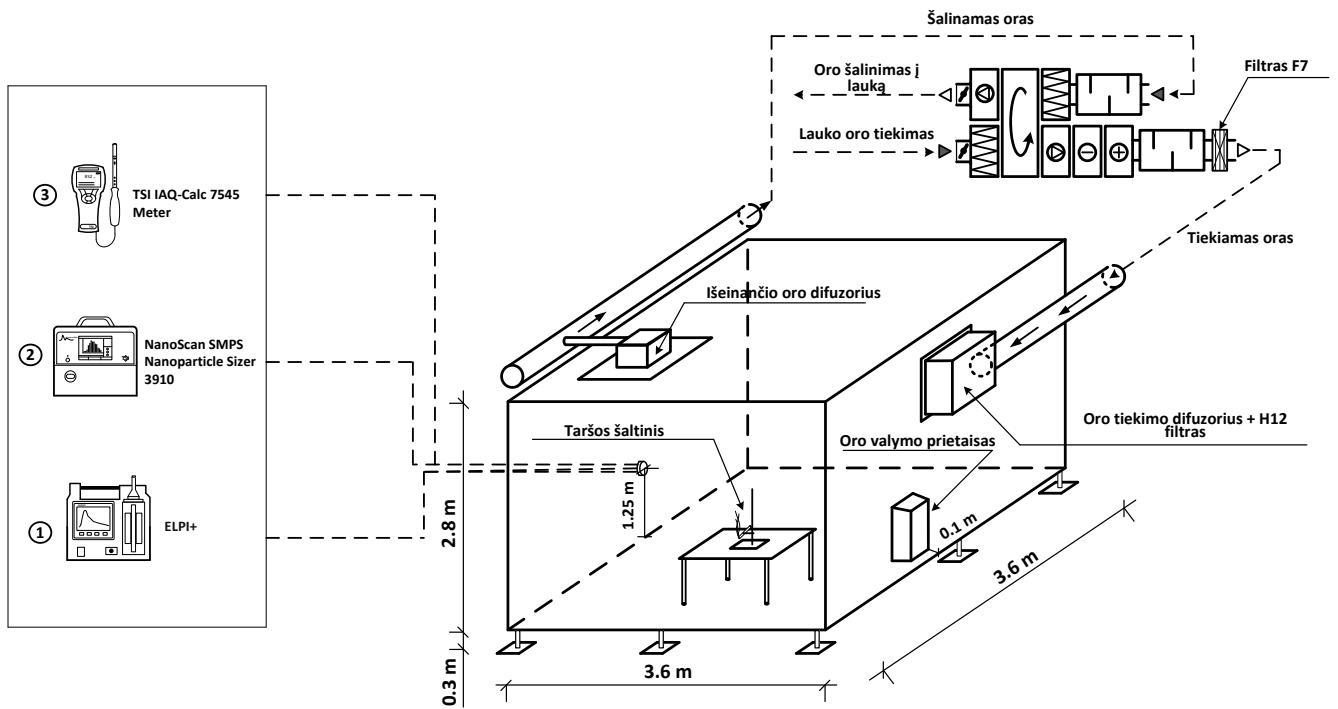
**7 lentelė.** Valymo įrenginių gamintojų pateikiami techniniai duomenys.

Prie-taiso Nr.	Pavadinimas	Ventiliato-riaus darbo režimai	Oro srautas, m <sup>3</sup> /val.	Valymo technologija	Galingu-mas, W	Triukšmo lygis, dBA
#1	Zepter Therapy Air Plus	Minimalus	40	Mikrofiltras, valymas plazma, katalizatoriaus filtras	35	27 – 31
		Maksimalus	142		100	50 - 54
#2	Daikin MC70LVM	Minimalus	130	Polipropileninis filtras, jonizatorius, elektrostatinis filtras, katalizatoriaus (titano apatitas) filtras	10	39
		Vidutinis	210		16	47
#3	Sharp KC-A60E	Minimalus	84	Polipropileninis filtras, anglies filtras, HEPA	5,3	19
		Vidutinis	270		22	40

## 2.2 Testavimo sąlygos

### 2.2.1. Kambario aplinkos imitacinė kamera

Tyrimo eksperimentai buvo vykdomi KTU Geoinžinerijos katedroje esančioje bandymų kameroje imituojant realias kambario sąlygas. Kameros schema bei su eksperimentiniais bandymais susijusi įranga pavaizduota 13 pav.



**13 pav.** Bandymų kamera su rekuperacine oro tiekimo ir šalinimo sistema. 1 - aerozolio dalelių koncentracijos matavimo prietaisai ELPI+ (Dekati, Suomija); 2 - nano dalelių skaitiklis NanoScan SMPS; 3 – CO ir 3 - CO<sub>2</sub> matuoklis TSI IAQ-Calc 7545 Meter;

Šio tyrimų kameros matmenys 3,6×3,6×2,8 m, jos tūris 36,3 m<sup>3</sup>. Ji įrengta kitos, 150 m<sup>3</sup> tūrio patalpos, viduje. Tyrimų kamera yra pagaminta taip, kad imituotų tikras kambario sąlygas. Šios tyrimų kameros karkasas pagamintas iš metalo sijų, sienos - iš gipso kartono plokščių. Ši kamera yra ant specialių tvirtinimo kojų pakelta nuo grindų apie 30 cm. Tyrimo kameros viduje yra pilna vidaus apdaila: linoleumo grindys, sudėti grindų apvadai, nudažytos ir nuglaistytos sienos, sudėtos pakabinamos lubos, sumontuoti šviestuvai ir elektros lizdai.

Į tyrimų kamerą patenkama pro įmontuotas, sandariai užsidarančias duris. Vienoje tyrimų kameros sienoje įmontuotas langas, pro kurį galima stebėti kameroje vykstančius procesus. Tyrimų kamera sujungta su rekuperacine vėdinimo sistema, kurio pagalba galima keisti paduodamo oro paskirstymo ir nuvedimo būdus. Oras į patalpą tiekiamas per HEPA12 klasės filtrą.

Naudojantis šia tyrimų kamera ir kontroliuojant bandymų sąlygas, oro apykaitą bus testuojami oro valymo prietaisai.

### 2.2.2. Taršos generavimas

Imituojant rūkymą buvo atliekami cigaretės deginimo bandymai. Degant cigaretei išsiskiria daug ultrasmulkių dalelių ( $\sim 1 \mu\text{m}$ ). Bandymai buvo vykdomi imitacinės kameros centre, 1 m aukštyje nuo grindų. Cigaretė buvo pritvirtinama laikiklyje ir uždegama dujiniu degikliu (14 pav.).



**14 pav.** Kietųjų dalelių generavimas (cigaretės deginimo bandymas).

Tyrimai vykdomi trimis ventiliacijos režimais, prie 3-ijų skirtingų oro apykaitos dažnių: 0.1, 0.6 ir 1.0 *l/val*. Esant minimaliai oro apykaitai siekiama sudaryti natūralios ventiliacijos sąlygas, 0.6 apykaita pasirinkta imituojant nominalų mechaninės ventiliacijos dažnį, 1.0 ventiliacija pasirinkta sukurti maksimalią patalpose naudojamą oro apykaitą.

Oro gerinimo įrenginiai testuojami dviem režimais (minimaliu ir didesniu) parenkant panašius galingumus. Oro valymo įjungiami tuo pačiu metu kaip uždegama cigaretė. Tokiu būdu bandymo pradžioje suaktyvinamas oro srautų judėjimas ir pagerinama kietųjų dalelių sklaida.

Bandymai atliekami 1,5 val. Kietųjų dalelių koncentracija matuojama 1,5 metro aukštyje atsižvelgiant į sėdinčio žmogaus kvėpavimo zonos aukštį (Waring, 2008). Dalelės matuotos su nanodalelių skaitikliu Nanoscan SMPS (TSI Inc., USA) ir ELPI+ (Electrical Low Pressure Impactor, Dekati, Suomija). SMPS Nanoscan prietaisas registruoja daleles 13 frakcijų 0,01-0,3  $\mu\text{m}$  dydžio intervale. ELPI+ prietaisas registruoja daleles 14 frakcijų 0,01-10  $\mu\text{m}$  dydžio intervale.

### 2.2.3 Oro apykaitos nustatymas kameroje

Oro apykaita buvo nustatoma naudojant CO<sub>2</sub> bandomųjų dujų metodą. Vykdamas oro apykaitos nustatymą į bandymų kamerą buvo leidžiamos CO<sub>2</sub> dujos iki 5000 ppm koncentracijos. Vėliau tiekimas buvo nutraukiamas ir stebimas koncentracijos mažėjimas. Koncentracija buvo matuojama TSI IAQ-Calc modelio 7545 (TSI) patalpų oro kokybės matavimo prietaisu. Oro apykaitai apskaičiuoti buvo naudojama eksponentinė koncentracijos mažėjimo priklausomybė:

$$C_t = C_0 e^{-Kt}$$

čia  $t$  – laiko tarpas nuo matavimų pradžios;

$C_0$  ir  $C_t$  - atitinkamai pradinė ir momentinė dujų koncentracija;

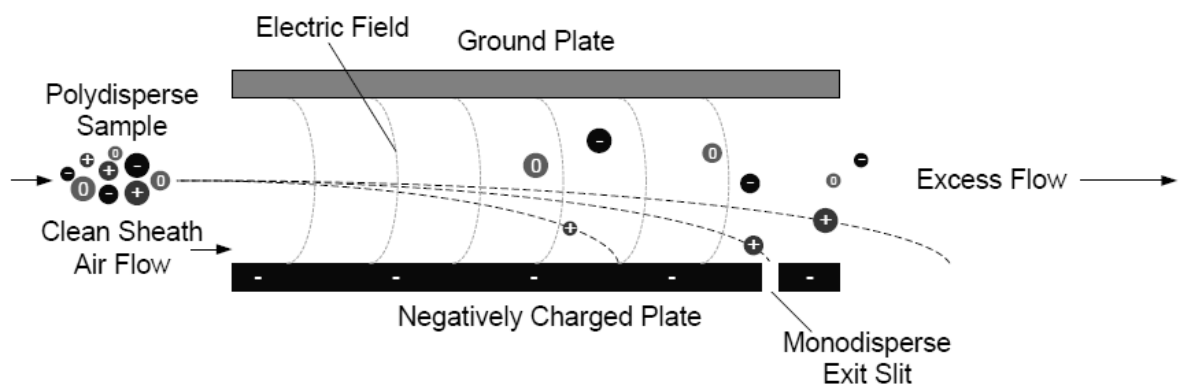
$K$  – oro apykaitos koeficientas, 1/val.

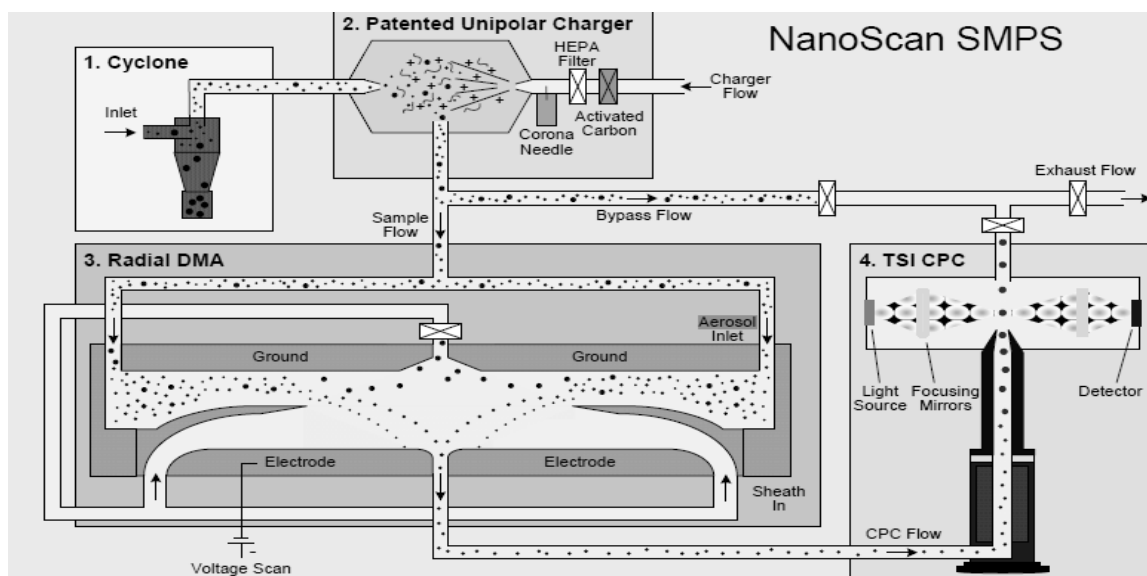
### 2.3. KD matavimas realiu laiku

Kietųjų dalelių koncentracijos buvo matuojamos naudojantis keliais matavimų prietaisais. Šiame skyriuje pateikiami naudotų matavimo prietaisų apibūdinimai, jų apibendrinimas pateikiamas 6 lentelėje.

**Nanodalelių skaitiklis (Nanoscan SMPS Nanoparticle sizer).** Prietaisas leido atlikti realaus laiko kietųjų dalelių koncentracijų matavimus ir kaupti gautus duomenis. SMPS naudoja izopropanolio pagrindu veikiančią kondensacinę dalelių skaitiklį ir radialinį diferencialinį dalelių analizatorių. Nanodalelių dydis apėmė 10 - 420 nm dydžio daleles, suskirstytas į 13 frakcijų.

SMPS turi du matavimo režimus: SCAN - realaus laiko dydžio pasiskirstymo ir SINGLE - vieno dydžio koncentracijos. Matavimo laikas dalelių dydžio pasiskirstymui yra 60 s, o vienam dydžiui - 1s. Didžiausia išmatuojama koncentracija SMPS yra 1000000 dalelių/cm<sup>3</sup>. Pagal gamintojo aprašą SMPS prietaisas yra skirtas identifikuoti itin smulkių dalelių (UFP) koncentracijas [31].

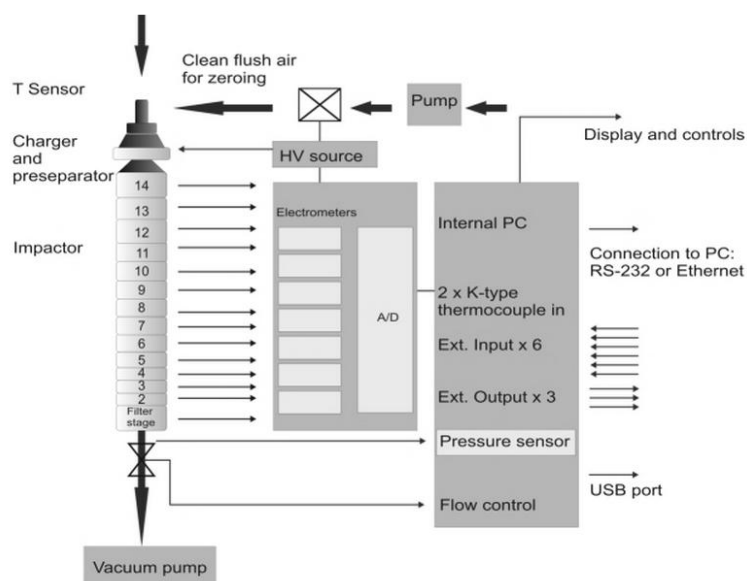




**15 pav.** Skiriamojo mobilumo analizatoriaus (DMA) veikimo principas ir SMPS įrenginio veikimo schema (Nanoscan SMPS Nanoparticle sizer 3910, TSI, JAV) [31]

**ELPI+ (Elektrinis žemo slėgio impaktorius)** matuoja dalelių dydžio pasiskirstymą realiu laiku 14 skirtingų frakcijų.

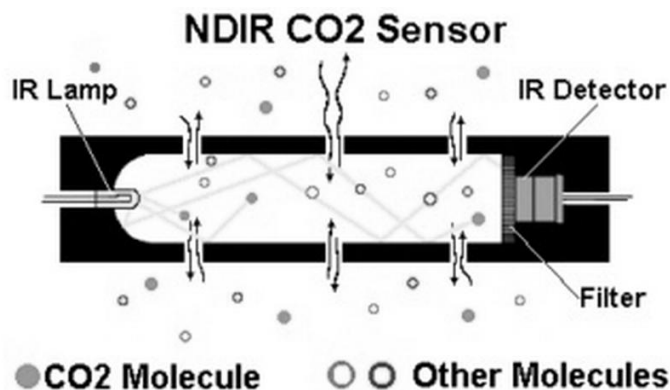
Matavimo principas pagrįstas dalelių įelektrinimu ir dalelių identifikavimu jautrių elektrinių sensorių pagalba. Siurbiamos dalelės pirmiausia yra įelektrinamos vainikinio išlydžio, vėliau patenka į 14 pakopų impaktorių, kuriame yra surenkamos pagal dydį. Galiausiai pagal elektros krūvį jautrių elektrinių jutiklių pagalba išmatuojamas dalelių dydis ir kiekis. Išmatuotas elektrinis signalas yra proporcingas dalelių dydžiui ir skaitinei koncentracijai. Matuojamų dalelių dydis - nuo 0,02 iki 10  $\mu\text{m}$  [32].



**16 pav.** ELPI+ prietaiso principinė veikimo schema (DEKATI, Suomija) [32].

**CO<sub>2</sub> matuoklis TSI IAQ-Calc 7545** yra patalpų oro kokybės parametrų matavimo prietaisas, vienu metu matuojantis ir registruojantis kelių parametrų duomenis.

Matuojami junginiai - CO, CO<sub>2</sub>, temperatūra, santykinė drėgmė ir rasos taško temperatūra. Duomenys gali būti peržiūrėti ekrane arba atsisiunčiami. Statistiniai įverčiai rodo vidutines, didžiausias ir mažiausias reikšmes, ir įrašytų mėginių skaičių. Naudojant įrašytus duomenis buvo nustatinėjama patalpos oro apykaita, kiti patalpų oro kokybės parametrai [33].



**17 pav.** CO<sub>2</sub> matuoklio TSI IAQ-Calc 7545 principinė veikimo schema, (TSI, JAV) [33]

**8 lentelė.** Tirtų gyvenamųjų patalpų oro kokybės parametrų apibendrinimas.

Indikatorius	Matavimo vienetai	Matavimo intervalas, s	Matavimo prietaisas	Nustatymo metodas
<b>Dujiniai junginiai</b>				
CO <sub>2</sub>	ppm	120/10	IQM-60 Aeroqual / IAQ-Calc 7545	Nedispersinis infraraudonųjų spindulių jutiklis
CO	ppm	120/10	IQM-60 Aeroqual / IAQ-Calc 7545	Elektrocheminis dujų jutiklis
<b>Kietosios dalelės</b>				
Labai mažo dydžio (0,01-0,4 μm) KD	#/cm <sup>3</sup>	60	Nanoscan SMPS	SMPS naudoja izopropanolio pagrindu veikiančią kondensacinę dalelių skaitiklį ir radialinį diferencialinį dalelių analizatorių
Įv. dydžio (0,3-10 μm) KD	#/cm <sup>3</sup>	5	ELPI+	Jautrių elektrinių sensorių naudojimas įelektrintų dalelių nustatymui

## 2.4. Duomenų apdorojimas

Gauti duomenys buvo apdorojami MS Excel, SigmaPlot 11.0 ir Modde 7 programomis.

Duomenų analizei bus apskaičiuoti kietųjų dalelių pašalinimo efektyvumą apibūdinantys parametrai. Kietųjų dalelių sumažėjimo koeficientas apskaičiuotas iš pirmo laipsnio regresijos lygties:

$$C_t = C_0 e^{-Kt}, 1/h \quad (1)$$

čia  $t$  – laiko tarpas nuo matavimų pradžios;

$C_0$  ir  $C_t$  - atitinkamai pradinė ir momentinė teršalo koncentracija po 1 val.;

$K$  – teršalo sumažėjimo koeficientas,  $1/val.$

Teršalų pašalinimo efektyvumas buvo apskaičiuotas sekančiais:

$$E_t = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100, \text{ proc.} \quad (2)$$

čia  $C_0$  – pradinė teršalo koncentracija;

$C_t$  - teršalo koncentracija po 1 val.;

Švaraus oro patiekimo koeficientas (angl. Clean Air Delivery Rate - CADR) – tai pagrindinis oro valymo prietaisų (turinčių elektrinį ventiliatorių) efektyvumo matas. Tai yra prasiurbto valymo oro kiekis per laiko vienetą. Pagal šį rodiklį galime palyginti įvairius oro valymo prietaisus. Jis apskaičiuojamas sekančiais (Ginestet, 2012):

$$CADR = V(K_t - K_n) \quad (3)$$

čia  $V$  – bandymų kameros tūris,  $m^3$ ;

$K_t$  – teršalų sumažėjimo koeficientas,  $1/val.$ ;

$K_n$  – tuščio bandymo (be oro apykaitos ir valymo įrenginio) teršalų sumažėjimo koeficientas,  $1/val.$ ;



### 3. TYRIMO REZULTATAI

#### 3.1 Oro valymo prietaisų efektyvumo tyrimas

##### 3.1.1. Prietaisų veikimo apibūdinimas

Tyrimų metu buvo pasižiūrėti ir išmatuoti prietaisų veikimo parametrai.

Kiekvienas prietaisas buvo testuojamas dviem režimais: minimaliu ir didesniu. Veikimo lygiai parenkami taip, kad vieno lygio našumai tarpusavyje būtų panašūs, ir kad prietaisai veiktų kiek įmanoma panašesnėmis darbo sąlygomis. Gamintojo pateikiami techniniai prietaisų parametrai pateikiami 9 lentelėje.

**9 lentelė.** Oro valymo prietaisų techniniai parametrai.

Įren- ginys	Darbiniai režimai	Našumas, m <sup>3</sup> /h	Triukšmo lygis, dBA	Vardinis galingumas, W
#1	Minimalus	40	27-31	35
	Maksimalus	142	50-54	100
#2	Minimalus	130	39	10
	Vidutinis	210	47	16
#3	Minimalus	84	19	5,3
	Vidutinis	270	40	22

10 lentelėje pateikiami realiomis sąlygomis išbandytų oro valymo prietaisų veikimo parametrai.

**Prietaisas nr.1** orą paima iš galo ir išleidžia pro viršų. Reikalauja daug elektros energijos oro valymui. Išleidžiamo oro debitas palyginus su kitais prietaisais yra mažiausias. Išmatuotos CADR vertės yra mažiausios. Palyginus su gamintojo parametrais minimaliu lygiu išmatuotas CADR yra toks pat, bet maksimaliu režimu – žymiai mažesnis.

**Prietaisas nr.2** orą paima iš priekio ir šonų ir išleidžia pro viršų. Apskritai tai - efektyviausiai oro valymui energiją panaudojantis prietaisas. Palyginti didelio našumo elektrinis ventiliatorius. Išmatuotos CADR vertės yra mažesnės negu nurodytos gamintojo.

**Prietaisas nr.3** orą paima iš galo ir išleidžia pro viršų. Jo veikimas reikalauja mažai energijos abiem darbiniais režimais, be to jo išleidžiamo oro debitas ir CADR maksimaliu lygiu yra didžiausias. Apskaičiuotos CADR vertės skiriasi nedaug, paklaidos ribose.

**10 lentelė.** Išbandytų oro valymo prietaisų elektros energijos sunaudojimas, oro debitas ir 11,5-610 nm dydžio dalelių CADR vidurkiai.

Įrenginys	Darbiniai režimai	Elektros		CADR vidurkiai ( $\text{m}^3\text{h}^{-1}$ )
		energijos sunaudojimas, (W)	Našumas, ( $\text{m}^3\text{h}^{-1}$ )	
#1	Minimalus	34,7	69±2,5	46±14
	Maksimalus	109,1	197±5,8	82±15
#2	Minimalus	9,6	176±5,3	112±16
	Vidutinis	15,5	264±7,8	180±27
#3	Minimalus	6,2	102±3,7	97±20
	Vidutinis	22,8	300±9,2	256±21

### 3.1.2. Prietaisų dalelių šalinimo tyrimas

Nustatyti tikrąjį oro valymo prietaisų veikimo efektyvumą prietaisai kameroje buvo tiriami be oro apykaitos. Aerosolio dalelių koncentracija buvo matuojama su ELPI+ prietaisu, dalelių dydžio intervale 0,02 – 10  $\mu\text{m}$ .

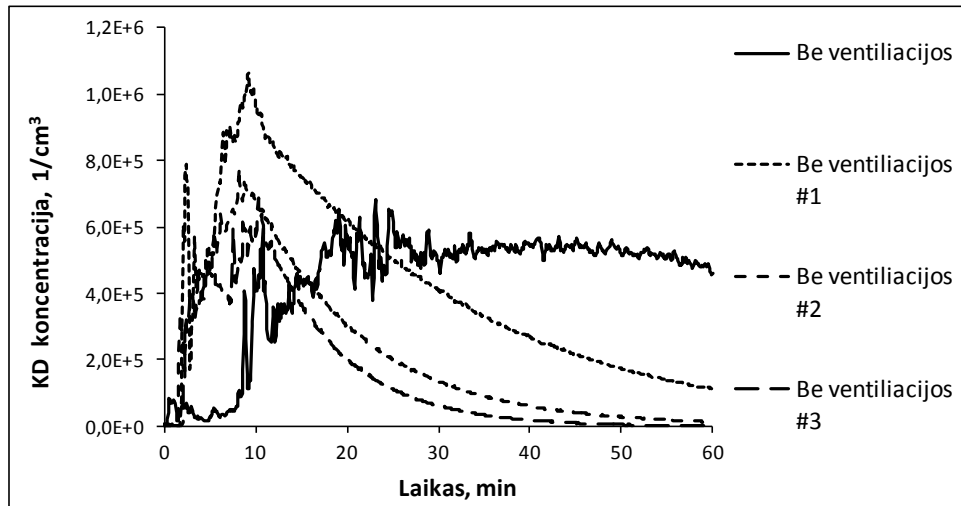
**Bandymo eiga.** Uždegus cigaretę tuo pačiu metu buvo įjungiamas ir valymo prietaisas. Cigaretė degė 9 – 11 min., dalelių koncentracijos kitimas buvo stebimas 1,5 val. Po to bandymas buvo nutraukiamas, valymo prietaisas išjungiamas, kamera pravėdinama ir pasiruošiama sekančiam bandymui su kitu prietaisu.

Rezultatų palyginimui tokiomis pačiomis sąlygomis buvo atliekamas ir tuščias bandymas be oro valymo prietaisų.

18 pav. pateikiama aerosolio dalelių koncentracijų kitimo kreivės 1 val. nuo bandymo pradžios. Dalelių koncentracijos naudojant prietaisus maksimalią vertę pasiekdavo po 8 - 10 min. ir po to pradėdavo mažėti. Naudojant prietaisą nr.1 koncentracija pakilo iki  $1,06 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$ , nr.2 – iki  $7,78 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ . Mažiausiai koncentracija pakilo veikiant 3-iajam prietaisui (iki  $6,85 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ ).

Tuščiojo bandymo metu koncentracijos didėjimas vyko 23 min, ir pasiekė  $6,83 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$  koncentraciją.

Oro valymo prietaisai veikdami vieni be ventiliacijos sukėlė oro srautų judėjimą ir maišymąsi. Pastebėta, kad veikiant valymo prietaisams greičiau buvo pasiekta maksimali aerosolio koncentracija, kuri ir mažėti pradėjo greičiau lyginant su tuščiu bandymu.



**18 pav.** KD koncentracijų kitimo dinamika be ventilacijos.

Dalelių koncentracijos veikiant prietaisams rodė eksponentinį mažėjimą. Apskaičiuoti dalelių mažėjimo parametrai pateikiami 11 lentelėje. Dalelių koncentracijos mažėjimą lėmė prietaiso ventiliatoriaus galingumas. Dalelės oro valymo prietaisų pagalba buvo šalinamos žymiai greičiau. Tą rodo dalelių koncentracijos sumažėjimo koeficientas  $K$  (1/val.) (1 formulė) bei efektyvumai (%) (2 formulė). Tuščiojo bandymo metu dalelių koncentracija mažėjo labai lėtai: koeficientas  $K= 0,6$  1/val., efektyvumas  $E= 46,3$  %. Veikiant valymo prietaisams koeficientas  $K$  ir efektyvumas  $E$  atitinkamai buvo didesni: nuo 4,3 iki 15 kartų, ir nuo 2,0 iki 2,2 karto.

**11 lentelė.** Oro valymo prietaisų testavimo parametrai be ventilacijos.

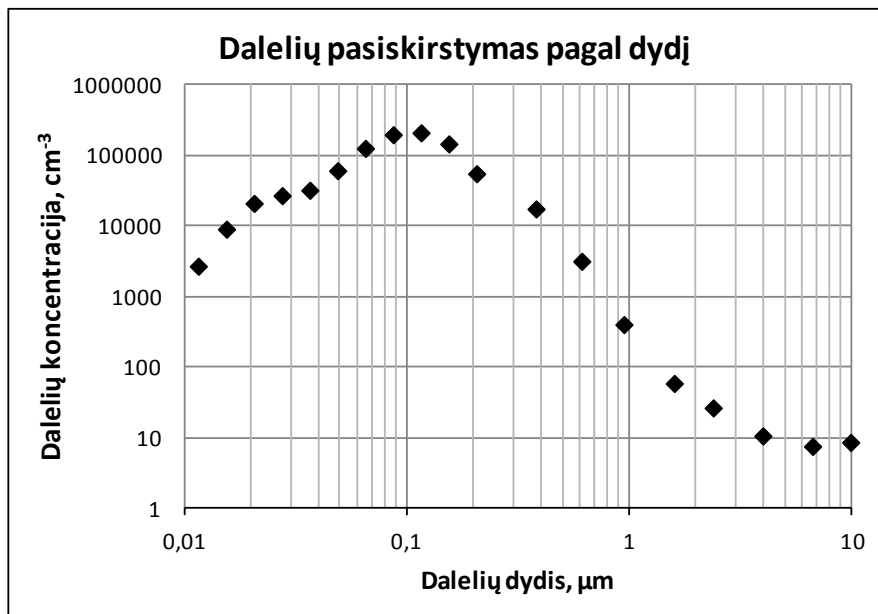
	Be ventilacijos	Be ventilacijos, #1 (3 lygiu)	Be ventilacijos, #2 (2 lygiu)	Be ventilacijos, #3 (2 lygiu)
$K$ , 1/val.	0,6	2,6	4,8	9,0
$E(t)$ , %	46,3	92,8	98,8	99,99
CADR, $m^3$ /val.	-	73,1	150,7	304,9

Aerolio daleles efektyviausiai šalino prietaisas nr.3. Jo švaraus oro patiekimo koeficientas CADR (3 formulė) buvo didžiausias (304,9  $m^3$ /val.). Bet tai yra mažesnė vertė lyginant su Batterman et al. (2005) tyrimu, kuriame gauta CADR= 374  $m^3$ /val. oro valymo prietaisui, naudojančiam HEPA filtrą. Valymo prietaisų nr.2 ir nr.1 CADR vertės siekė atitinkamai 150,7 ir 73,1  $m^3$ /val.

Prietaisas nr.3 dalelių šalinimui naudoja HEPA filtrą (7 lentelė) ir jo ventiliatoriaus galingumas yra didžiausias. Prietaisas nr.2 dalelių šalinimui naudoja elektrostatinį filtrą, o prietaiso nr.1 technologija tinkamesnė lakiųjų organinių junginių šalinimui, nes kietųjų dalelių šalinimui yra naudojamas tik mikrofiltras.

### 3.1.3. Dalelių pasiskirstymas pagal dydį

Aerozolio dalelių dydis buvo nustatinėjamas naudojantis SMPS ir ELPI+ prietaisų duomenimis. Apjungus šių prietaisų matavimų duomenis dalelių koncentracija buvo išmatuota 19 frakcijų 0,01 – 10  $\mu\text{m}$  dydžio intervale. Dalelių koncentracija buvo matuojama be valymo prietaisų esant minimaliai oro apykaitai. Dalelių pasiskirstymas pagal dydį pavaizduotas 19 pav.



19 pav. Aerozolio dalelių dydžio pasiskirstymas.

Cigaretės deginimo metu susidaro labai daug smulkių frakcijų dalelių. Dalelių dydis vyravo nuo 0,02 iki 0,3  $\mu\text{m}$  ir didesnės. Daugiausia susidarė 0,1  $\mu\text{m}$  dydžio dalelių.

## 3.2. Oro valymo prietaisų ir ventiliacijos įtakos oro kokybei gerinti tyrimas

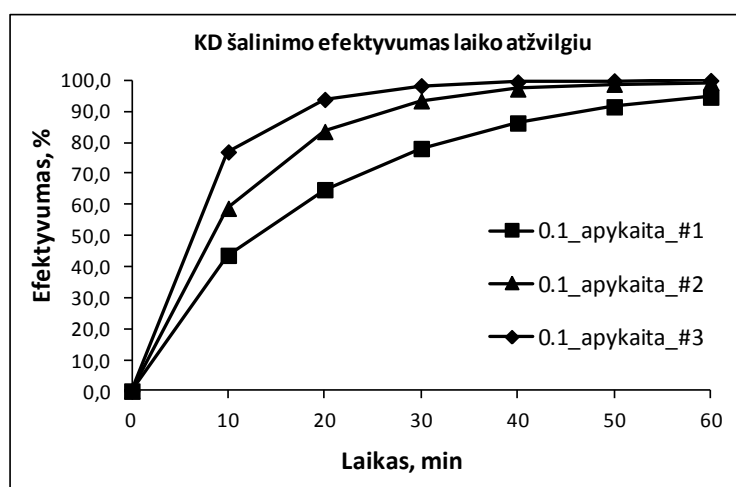
Tyrimo metu testuojami oro valymo prietaisai buvo testuojami kartu su skirtingų lygių oro apykaitomis.

**Bandymo eiga.** Nustatoma reikalinga oro apykaita. Cigaretė uždegama dujiniu degikliu ir tuo pačiu metu įjungiamas oro valymo prietaisas. Cigaretė sudega per 9 – 11 min., bandymas trunka 1,5 val. Po bandymo prietaisas yra išjungiamas, kamera išvėdinama, oro valymo prietaisas pakeičiamas kitu. Ventiliacija keičiama atlikus 3 bandymus su skirtingais valymo prietaisais.

Aerolio dalelės buvo matuojamos SMPS ir ELPI+ matavimo prietaisais skirtinguose dalelių pasiskirstymo ribose. SMPS duomenų analizei buvo imami 11 frakcijų (0,01 – 0,2  $\mu\text{m}$ ) dalelių koncentracijų duomenys, ELPI+ tik 8 didesnių frakcijų, 0,3 – 10  $\mu\text{m}$  dalelių koncentracijų duomenys.

Dalelių šalinimo efektyvumai suskaičiuoti pagal 2 formulę.

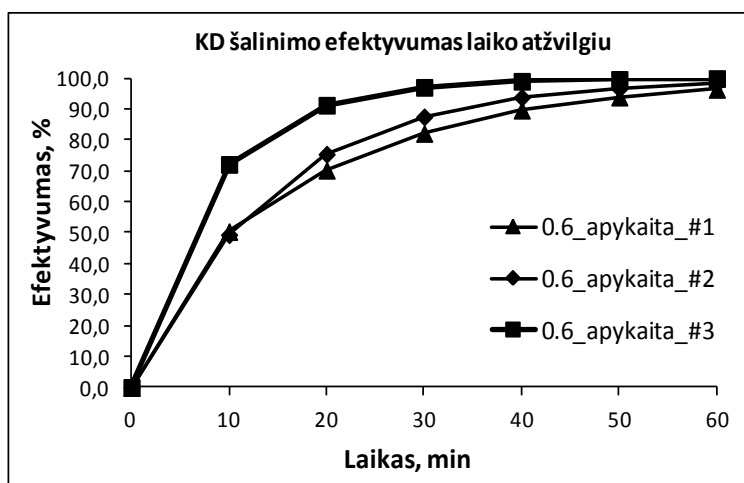
20 pav. pavaizduotas 0,3 – 10  $\mu\text{m}$  dalelių šalinimo efektyvumų prie 0.1  $l/val.$  oro apykaitos kitimai 1 val. laiko tarpe kas 10 min. nuo aukščiausios koncentracijos.



**20 pav.** Aerolio dalelių (0,3–10  $\mu\text{m}$ ) šalinimo efektyvumai prie 0.1  $l/val.$  apykaitos.

Po pirmųjų 10 min. didžiausią efektyvumą pasiekė #3 valymo prietaisas, mažiausią – #1 prietaisas. Efektyvumai atitinkamai siekė 77,0 ir 43,6 proc. Po 20 min. didžiausios ir mažiausios efektyvumų vertės siekė atitinkamai 93,9 ir 64,8 proc. Po 30 min. didžiausias efektyvumas siekė 98,3, o mažiausias – 78,1 proc. Po 40 min. didžiausia ir mažiausia vertė buvo atitinkamai 99,5 ir 86,3 proc. Po 50 min. efektyvumai buvo pasiekę >90 %: #1 – 91,5 %, #2 – 98,8 %, #3 – 99,86 %; Galutiniame taške didžiausia ir mažiausia efektyvumo vertė yra atitinkamai 99,97 ir 94,6 proc. Valymo prietaisai 90 proc. šalinimą pasiekė skirtingai: #1 – 47,0 min, #2 – 26,5 min, #3 – 17,5 min.

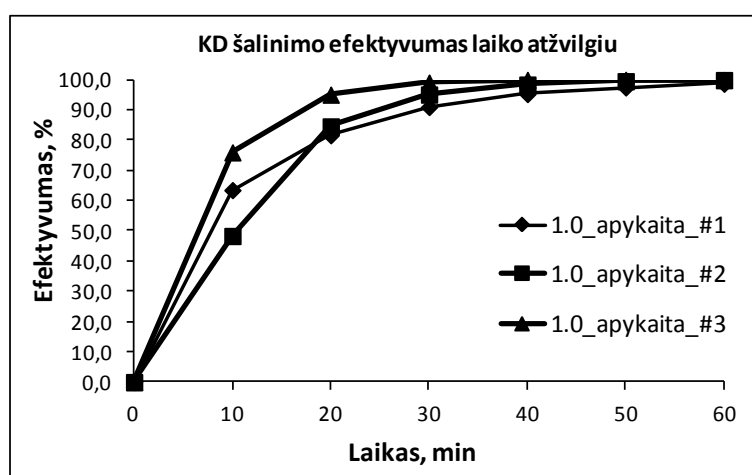
21 pav. pavaizduotas 0,3 – 10  $\mu\text{m}$  dalelių šalinimo efektyvumų prie 0.6  $l/val.$  oro apykaitos kitimai 1 val. laiko tarpe kas 10 min. nuo aukščiausios koncentracijos.



**21 pav.** Aerozolio dalelių (0,3–10 µm) šalinimo efektyvumai prie 0.6 l/val. apykaitos.

Po pirmųjų 10 min. didžiausią efektyvumą pasiekė #3 valymo prietaisas, mažiausią – #2 prietaisas. Efektyvumai atitinkamai siekė 77,2 ir 49,4 proc. Po 20 min. didžiausios ir mažiausios efektyvumų vertės siekė atitinkamai 91,3 ir 70,3 proc. Po 30 min. didžiausias efektyvumas siekė 97,1, o mažiausias – 82,2 proc. Po 40 min. didžiausia ir mažiausia vertė buvo atitinkamai 99,1 ir 89,7 proc. Po 50 min. efektyvumai buvo pasiekę >90 %: #1 – 93,9 %, #2 – 96,7 %, #3 – 99,66 %; Galutiniame taške didžiausia ir mažiausia efektyvumo vertė yra atitinkamai 99,94 ir 96,4 proc. Valymo prietaisai 90 proc. šalinimą pasiekė: #1 – per 41,0 min, #2 – per 34,5 min, #3 – per 19,0 min.

22 pav. pavaizduotas 0,3 – 10 µm dydžio dalelių šalinimo efektyvumų prie 1.0 l/val. oro apykaitos kitimai 1 val. laiko tarpe nuo aukščiausios koncentracijos.

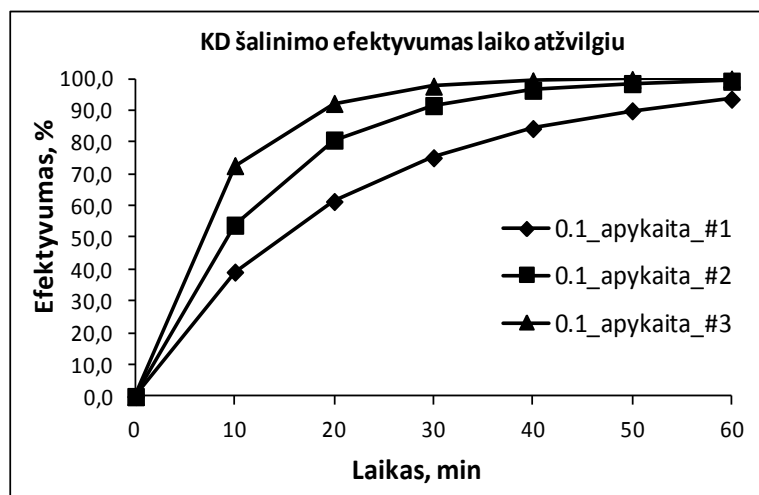


**22 pav.** Aerozolio dalelių (0,3–10 µm) šalinimo efektyvumai prie 1.0 l/val. apykaitos.

Po pirmųjų 10 min. didžiausią efektyvumą pasiekė #3 valymo prietaisas, mažiausią – #2 prietaisas. Efektyvumai atitinkamai siekė 76,0 ir 48,3 proc. Po 20 min. didžiausios ir mažiausios efektyvumų vertės siekė atitinkamai 95,1 ir 81,7 proc. Po 30 min. didžiausias efektyvumas siekė 99,1,

o mažiausias – 91,0 proc. Po 40 min. buvo pasiektas >95,0 proc. efektyvumas. Valymo prietaisai 90 proc. šalinimą pasiekė: #1 – per 29,0 min, #2 – per 25,0 min, #3 – per 17,5 min.

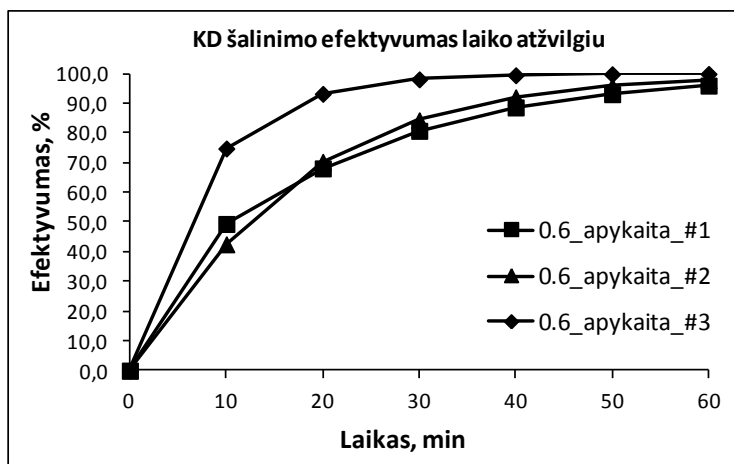
23 pav. pavaizduotas 0,01 – 0,2  $\mu\text{m}$  dydžio dalelių šalinimo efektyvumų prie 0.1 l/val. oro apykaitos kitimai 1 val. laiko tarpe.



23 pav. Aerosolio dalelių (0,01-0,2  $\mu\text{m}$ ) šalinimo efektyvumai prie 0.1 l/val. apykaitos.

Po pirmųjų 10 min. didžiausią efektyvumą pasiekė #3 valymo prietaisas, mažiausią – #1 prietaisas. Efektyvumai atitinkamai siekė 72,7 ir 39,2 proc. Po 20 min. didžiausios ir mažiausios efektyvumų vertės siekė atitinkamai 92,3 ir 61,4 proc. Po 30 min. didžiausias efektyvumas siekė 97,7, o mažiausias – 75,2 proc. Po 40 min. didžiausia ir mažiausia vertė buvo atitinkamai 99,4 ir 84,3 proc. Po 50 min. valymo prietaisai turi tokius šalinimo efektyvumus: #1 – 89,9 %, #2 – 98,5 %, #3 – 99,8 %; Galutiniame taške didžiausia ir mažiausia efektyvumo vertė yra atitinkamai 99,9 ir 93,6 proc. Valymo prietaisai 90 proc. šalinimą pasiekė tokius laikus: #1 – 50,0 min, #2 – 29,0 min, #3 – 19,0 min.

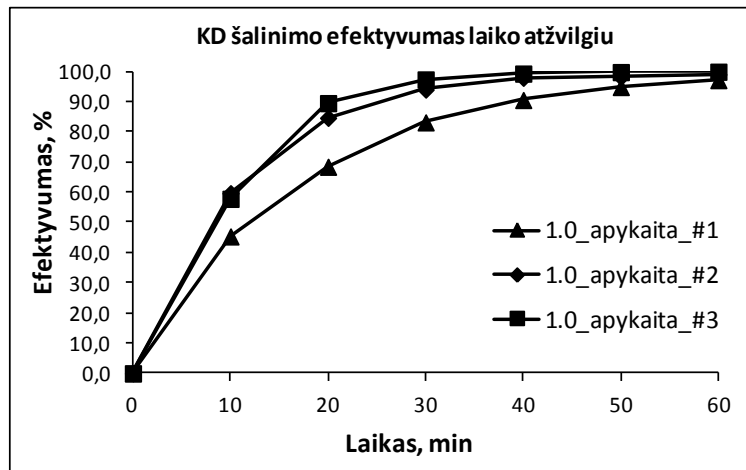
24 pav. pavaizduotas 0,01 – 0,2  $\mu\text{m}$  dydžio dalelių šalinimo efektyvumų prie 0.6 l/val. oro apykaitos kitimai 1 val. laiko tarpe.



24 pav. Aerosolio dalelių (0,01-0,2  $\mu\text{m}$ ) šalinimo efektyvumai prie 0.6 l/val. apykaitos.

Po pirmųjų 10 min. didžiausią efektyvumą pasiekė #3 valymo prietaisas, mažiausią – #2 prietaisas. Efektyvumai atitinkamai siekė 74,8 ir 42,5 proc. Po 20 min. didžiausios ir mažiausios efektyvumų vertės siekė atitinkamai 93,2 ir 68,1 proc. Po 30 min. didžiausias efektyvumas siekė 98,1, o mažiausias – 80,8 proc. Po 40 min. didžiausia ir mažiausia vertė buvo atitinkamai 99,5 ir 88,7 proc. Po 50 min. visi valymo prietaisai turi >90 % šalelių šalinimo efektyvumą: #1 – 93,1 %, #2 – 95,8 %, #3 – 99,85 %. Galutiniame taške didžiausia ir mažiausia efektyvumo vertė yra atitinkamai 99,95 ir 96,0 proc. Valymo prietaisai 90 proc. šalinimą pasiekė: #1 – per 43,5 min, #2 – per 37,5 min, #3 – per 18,0 min.

25 pav. pavaizduotas 0,01 – 0,2  $\mu\text{m}$  dydžio dalelių šalinimo efektyvumų prie 1.0  $l/val.$  oro apykaitos kitimai 1 val. laiko tarpe.



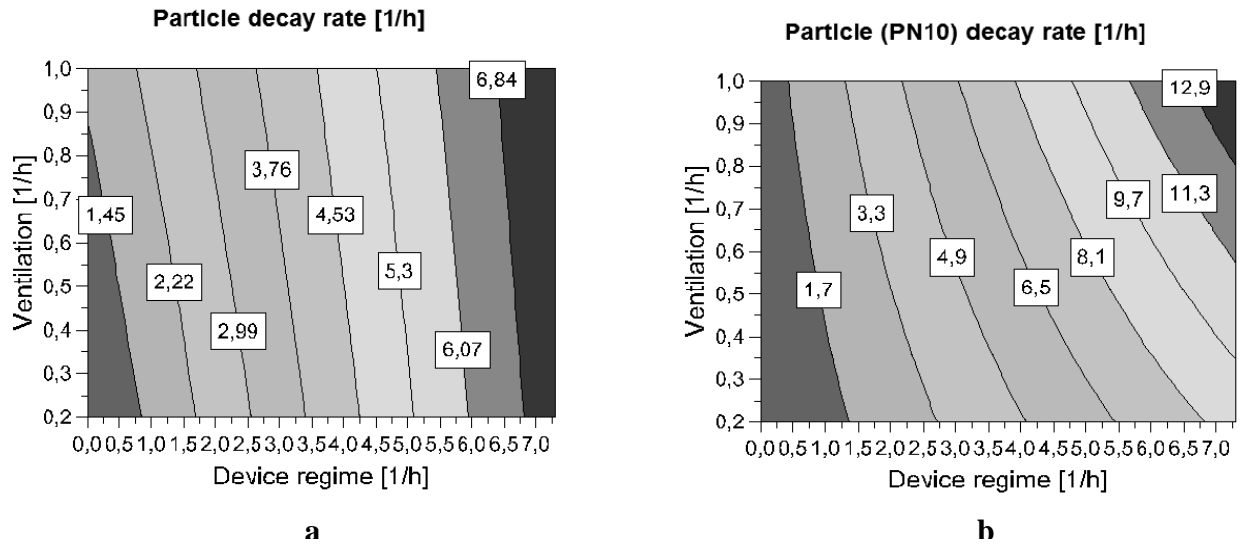
**25 pav.** Aerosolio dalelių (0,01-0,2  $\mu\text{m}$ ) šalinimo efektyvumai prie 1.0  $l/val.$  apykaitos.

Po pirmųjų 10 min. didžiausią efektyvumą pasiekė #2 valymo prietaisas, mažiausią – #1 prietaisas. Efektyvumai atitinkamai siekė 59,7 ir 45,4 proc. Po 20 min. didžiausios ir mažiausios efektyvumų vertės siekė atitinkamai 89,5 ir 68,5 proc. Po 30 min. didžiausias efektyvumas siekė 97,4, o mažiausias – 83,2 proc. Po 40 min. buvo pasiektas >90,0 proc. efektyvumas: #1 – 90,6 %, #2 – 97,9 %, #3 – 99,3 %. Valymo prietaisai 90 proc. šalinimą pasiekė: #1 – per 39,4 min, #2 – per 26,0 min, #3 – per 20,5 min.

Veikiant oro valymo prietaisams valandos bėgyje buvo gauti 93 - 99,9 proc. šalinimo efektyvumai. Po 10, 20 min. geriausiai daleles šalino prietaisas nr.3. Per pirmąsias 20 min. jam veikiant valymo efektyvumai vyravo nuo 89,5 iki 95,1 proc. Cheng et al. (1998) savo tyrime prie esant 1.0  $l/val.$  oro apykaitai gavo 80 % valymo efektyvumą didesnėms dalelėms. Itin smulkių dalelių pašalinimo laikas yra keliomis minutėmis ilgesnis negu stambesniųjų dalelių. Panašius rezultatus gavo Lee at al. (2004). Savo darbe 30 min laikotarpyje gavo 97 ir 95 proc. šalinimo efektyvumus 0,1 ir 1  $\mu\text{m}$  dydžio dalelėms.



Nustatyti dviejų faktorių įtaką dalelių šalinimui ir patalpų oro rezultatai buvo apdoroti su Modde 7 programa. Abiejų faktorių kitimo intervalai atididėti ant kontūro ašių ir buvo lyginami (26 pav.). Nustatyta, kad ventiliacijos poveikis dalelių šalinimui yra mažas, ir dalelių koncentracijos mažėjimą labiausiai veikė oro valymo prietaisai. Jų režimo pokytis atitinka kelis kartus didesnę ventiliacijos režimo pokytį.



**26 pav.** Ventiliacijos ir prietaisų poveikis teršalų mažėjimo koeficientui  $K$  (1/h): a) aerosolio dalelėms (SMPS); b) aerosolio dalelėms dalelėms (ELPI+);

## 4. IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Atlikus mokslinės literatūros analizę nustatyta, kad patalpų oro valymo įrenginių efektyvumo tyrimai vykdomi įvairaus dydžio standartizuotose nerūdijančio plieno kamerose. Yra surinkta mažai duomenų apie oro valymo įrenginių efektyvumo tyrimus esant realioms sąlygoms (realiuose kambariuose, namuose). Kietų dalelių generavimui buvo pasirinktas cigarečių deginimas, kurio metu išsiskiria labai daug skirtingo dydžio aerozolio dalelių.

2. Buvo parengta patalpų oro valymo įrenginių efektyvumo tyrimo metodika esant realioms sąlygoms. Testuoti trijų gamintojų patalpų oro valymo įrenginiai, įrenginiuose teršalų pašalinimui panaudotos skirtingos technologijos. Valymo įrenginiams dirbant maksimaliu režimu nustatyta, kad po 30 min  $KD_{(0,01-0,3)}$  ir  $KD_{(0,3-10)}$  pašalinimo efektyvumai yra atitinkamai lygūs: #1 - 75,2 ir 78,1 %; #2 – 91,6 ir 93,4 %; #3 - 97,7 ir 98,3 %. Nustatyta, kad efektyviausiai kietąsias daleles šalino prietaisas nr.3.

3. Atlikus palyginamąją analizę nustatyta, kad kietų dalelių pašalinimo iš patalpų oro efektyvumą labiau įtakoja ne ventiliacija, o oro valymo įrenginiai. Keičiama kambario oro apykaitos norma turėjo nedidelę įtaką kietų dalelių skaitinės koncentracijos mažėjimo greičiui patalpoje. Buvo nustatyta, kad patalpų oro valymo įrenginiai galėtų būti efektyviai pritaikyti patalpų oro kokybės valdymo sistemai, nes jiems veikiant net ir labai didelės kietų dalelių koncentracijos patalpų ore po 15 - 30 min gali būti sumažinamos daugiau kaip 90 %.

## LITERATŪRA

1. Fernandes E. de O., Gustafsson H., Crump D., Silva G. V., Madureira J., Martins A. (2008). *Co-ordination Action on Indoor Air Quality and Health Effects, WP3 Final Report, Characterisation of spaces and sources.*
2. Jones A. P. (1999). *Indoor air quality and health.* Atmospheric Environment 33 4535 – 4564.
3. Bone A., Murray V., Myers I., Dengel A., Crump D. (2010). *Will drivers for home energy efficiency harm occupant health?* Royal Society for Public Health 2010 SAGE Publications ISSN 1757-9139.
4. Crump D., Dengel A., Swainson M. (2009). *Indoor air quality in highly energy efficient homes – a review.* Published by IHS BRE Press on behalf of the NHBC Foundation.
5. Bekö, G., Fadeyi, M.O., Clausen, G., Weschler, C.J. (2009). *Sensory pollution from bagtype fiberglass ventilation filters: conventional filter compared with filters containing various amounts of activated carbon.* Building and Environment 44, p. 2114 - 2120.
6. Metts, T.A., Batterman, S.A. (2006). *Effect of VOC loading on the ozone removal efficiency of activated carbon filters.* Chemosphere 62, p. 34 - 44.
7. Parmar, S.S., Grosjean, D. (1991). *Sorbent removal of air pollutants from museum display cases.* Environment International 17, p. 39-50.
8. Ellis, W.D., Tometz, P.V. (1972). *Room-temperature catalytic decomposition of ozone.* Atmospheric Environment 6, p. 707.
9. Kwong, C.W., Chao, C.Y.H., Hui, K.S., Wan, M.P. (2008b). *Catalytic ozonation of toluene using zeolite and MCM-41 materials.* Environmental Science & Technology 42, p.8504 - 8509.
10. Obee, T.N., Brown, R.T. (1995). *TiO<sub>2</sub> photocatalysis for indoor air applications effects of humidity and trace contaminant levels on the oxidation rates of formaldehyde, toluene, and 1,3-butadiene.* Environmental Science & Technology 29, p. 1223 - 1231.
11. Ao, C.H., Lee, S.C., Mak, C.L., Chan, L.Y. (2003). *Photodegradation of volatile organic compounds (VOCs) and NO for indoor air purification using TiO<sub>2</sub>: promotion versus inhibition effect of NO.* Applied Catalysis B e Environmental 42, p. 119 - 129.
12. Hodgson, A.T., Destailats, H., Sullivan, D.P., Fisk, W.J. (2007). *Performance of ultraviolet photocatalytic oxidation for indoor air cleaning applications.* Indoor Air 17, p. 305-316.
13. Muggli, D.S., McCue, J.T., Falconer, J.L. (1998). *Mechanism of the photocatalytic oxidation of ethanol on TiO<sub>2</sub>.* Journal of Catalysis 173, p. 470-483.
14. Mo, J.H., Zhang, Y.P., Xu, Q.J., Zhu, Y.F., Lamson, J.J., Zhao, R.Y. (2009). *Determination and risk assessment of by-products resulting from photocatalytic oxidation of toluene.* Applied Catalysis B e Environmental 89, p. 570 - 576.
15. Park, J.H., Byeon, J.H., Yoon, K.Y., Hwang, J. (2008). *Lab-scale test of a ventilation system including a dielectric barrier discharger and UV-photocatalyst filters for simultaneous removal of gaseous and particulate contaminants.* Indoor Air 18, p. 44 - 50.
16. Van Durme, J., Dewulf, J., Sysmans, W., Leys, C., Van Langenhove, H. (2007). *Efficient toluene abatement in indoor air by a plasma catalytic hybrid system.* Applied Catalysis B e Environmental 74, p. 161 - 169.
17. Van Durme, J., Dewulf, J., Demeestere, K., Leys, C., Van Langenhove, H. (2009). *Postplasma catalytic technology for the removal of toluene from indoor air: effect of humidity.* Applied Catalysis B: Environmental 87, p. 78 - 83.
18. Zhang et al. (2011). *Can commonly-used fan-driven air cleaning technologies improve indoor air quality A literature review.* Atmospheric environment 45 p. (4329-4343).
19. Daisey, J.M., and A.T. Hodgson (1989). *Initial efficiencies of air cleaners for the removal of nitrogen dioxide and volatile organic compounds.* Atmos. Environ. 23, p. 1885–1892
20. Ginestet A. (2012). *Development and evaluation of a new test method for portable air cleaners.* Contributed report.

21. ANSI / Aham AC-1 standartinis testavimo metodas aerozolių šalinimui (JAV, 2002). Peržiūrėta 2015-04-30, adresu: <https://www.aham.org/index.php?ht=action/.../i/13886>
22. Shaughnessy, R. J., Sextro R. G. (2007). *What Is an Effective Portable Air Cleaning Device? A Review. Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 3, p. 169–181.
23. Fisk, W.J., D. Faulkner, J. Palonen, and O. Seppanen (2002). *Performance and costs of particle air filtration technologies*. *Indoor Air* 12, p. 223 – 234.
24. Thatcher, T.L., A.C. Lai, R. Moreno-Jackson, R.G. Sextro, and W.W. Nazaroff (2002). *Effects of room furnishings and air speed on particle deposition rates indoors*. *Atmos. Environ.* 36, p. 1811–1819.
25. Xu, M., M. Nematollahi, R.G. Sextro, A.J. Gadgil, W.W. Nazaroff (1994). *Deposition of tobacco smoke particles in a low ventilation room*. *Aerosol Sci. Technol.* 20:194–206.
26. Barn P. (2010). *Residential Air Cleaner Use to Improve Indoor Air Quality and Health: A Review of the Evidence*. National Collaborating Centre for Environmental Health
27. Waring M. (2008). *Ultrafine particle removal and generation by portable air cleaners*. *Atmospheric environment* 42 p. (5003-5014).
28. Zepter oro valymo prietaiso aprašymas.  
Peržiūrėta 2015-04-23, adresu:  
<http://www.zepter.com/MainMenu/Products/HomeCare/Therapy-Air/TherapyAir.aspx>
29. Daikin oro valymo prietaiso aprašymas.  
Peržiūrėta 2015-04-23, adresu:  
<http://www.frigotrade.hu/webshop/letoltesek/Daikin%20legtszito%20MC70LVM%20service%20manual%20%287,2%20MB%29%20.pdf>
30. Sharp oro valymo prietaiso aprašymas.  
Peržiūrėta 2015-04-23, adresu: <http://sharp.com.my/pci/manual/AP%20manual/kca40e-kca50e-kca60e.pdf>
31. NanoScan SMPS nanoparticle sizer model 3910 expanding nanoparticle measurement capabilities.  
Peržiūrėta 2015-05-29, adresu:  
[http://www.tsi.com/uploadedFiles/\\_Site\\_Root/Products/Literature/Spec\\_Sheets/NanoScan%20SMPS%203910\\_5001411.pdf](http://www.tsi.com/uploadedFiles/_Site_Root/Products/Literature/Spec_Sheets/NanoScan%20SMPS%203910_5001411.pdf)
32. ELPI+ (DEKATI, Suomija). Peržiūrėta 2015-05-29, adresu:  
<http://dekati.com/products/Fine%20Particle%20Measurement/ELPI+%E2%84%A2>
33. TSI IAQ-Calc 7545 principinė veikimo schema, (TSI, JAV). Peržiūrėta 2015-05-29, adresu:  
<http://www.tsi.com/iaq-calc-indoor-air-quality-meters-7545/>
34. Battermann. S, Godwin. C, Jia. C (2005). *Long Duration Tests of Room Air Filters in Cigarette Smokers' Homes*. *Environ. Sci. Technol.* 2005, 39, p. 7260-7268.
35. Cheng, Y. S. et. al (1998). *Efficiency of a Portable Indoor Air Cleaner in Removing Pollens and Fungal Spores*. *Aerosol Science and Technology* 29, p. 92-101.
36. Lee, B.U., Yermakov, M., Grinshpun, S.A., 2004. Removal of fine and ultra fine particles from indoor air environments by the unipolar ion emission. *Atmospheric Environment* 38, p. 4815-4823.
37. Kowalski, W., (2009). *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection*. Springer.