



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

Eglė Juozapavičiūtė

AEROZOLIO DALELIŲ KONCENTRACIJOS KITIMAS
DAUGIABUČIUOSE PASTATUOSE: FAKTORIŲ STATISTINIS
CHARAKTERIZAVIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

lekt. dr. Tadas Prasauskas

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

AEROZOLIO DALELIŲ KONCENTRACIJOS KITIMAS
DAUGIABUČIUOSE PASTATUOSE: FAKTORIŲ STATISTINIS
CHARAKTERIZAVIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Aplinkosaugos inžinerija (kodas 621H17001)

Vadovas

lekt. dr. Tadas Prasauskas

2017.06.01

Recenzentas

doc. dr. Inga Stasiulaitienė

2017.06.01

Projektą atliko

Eglė Juozapavičiūtė

2017.06.01

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Cheminės technologijos

(Fakultetas)

Eglė Juozapavičiūtė

(Studento vardas, pavardė)

Aplinkosaugos inžinerija, 621H17001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Aerolio dalelių koncentracijos kitimas daugiabučiuose pastatuose: faktorių statistinis charakterizavimas“

AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. birželio 1 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Eglės Juozapavičiūtės**, baigiamasis projektas tema „Aerolio dalelių koncentracijos kitimas daugiabučiuose pastatuose: faktorių statistinis charakterizavimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir 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)

Juozapavičiūtė, Eglė. *Aerolio dalelių koncentracijos kitimas daugiabučiuose pastatuose: faktorių statistinis charakterizavimas*. Magistro baigiamasis projektas / vadovas lekt. dr. Tadas Prasauskas; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: bendroji inžinerija, technologijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: *oro tarša, patalpų oro kokybė, aerolio dalelės, pastatų renovacija, daugiabučiai pastatai*.

Kaunas, 2017. 59 p.

SANTRAUKA

Aplinkos ore visuomet yra tam tikrų priemaišų, kurių kiekį lemia daugelis priežasčių. Toks oras, patekęs į patalpų vidų, dar pasipildo įvairiomis priemaišomis, kurias išskiria patalpoje esantys įprasti teršalų šaltiniai: statybinės medžiagos, pelėsiniai grybeliai, buitinė technika ir chemija, įvairūs namų apyvokos reikmenys, gyvūnai.

Siekiant nustatyti teigiamą energijos vartojimo efektyvumo poveikį pastatams ir surasti išsamius pastatų vertinimo kriterijus buvo atliktas projektas „INSULAtE“. Penkerių metų trukmės projekto metu (2010–2015 m.) buvo vertinami pastatai Suomijoje ir Lietuvoje – jų vidaus aplinkos kokybė, t.y. parametrai, turintys įtakos sveikatai. Tyrimui parinkti daugiabučiai pastatai, kuriuos planuota renovuoti projekto metu: 46 daugiabučiai pastatai (241 butas) Suomijoje ir 20 daugiabučių pastatų (96 butų) Lietuvoje.

Išanalizavus turimus duomenis apie taršą aerolio dalelėmis daugiabučiuose pastatuose buvo atlikti statistiniai skaičiavimai įvertinant pagrindinius faktorius: aerolio dalelių koncentracijų kitimas laike prieš renovaciją ir po jos, aerolio dalelių vidus/išorė santykis, aerolio dalelių koncentracijos mažėjimo greitis, foninės (naktinės) ir dienos koncentracijos, skirtingų aerolio dalelių frakcijų santykinis įvertinimas bei mažiausių ir didžiausių aerolio dalelių koncentracijų nustatymas. Šie faktoriai suskirstė pastatus ir butus į pasirinktas kategorijas remiantis aerolio dalelių koncentracijomis patalpų ore ir išorės aplinkoje.

Atlikus aerolio dalelių koncentracijų kitimo daugiabučiuose pastatuose statistinę analizę buvo nustatyta, jog dienos aerolio dalelių koncentracijos mažėjimo greičiai 0,34 ($AD_{2,5}$) Lietuvoje ir 0,56 ($AD_{2,5}$) Suomijoje) buvo mažesni po pastato atnaujinimo. Šiems pokyčiams daugiausiai įtakos galėjo turėti pastato atitvarų užsandarinimas bei tokiu būdu sąlygotas išorės aerolio dalelių poveikio sumažėjimas.

Tyrimo metu pateiktos rekomendacijos, pagal kurias pagrindinis visuomenės susirūpinimas dėl sveikos patalpų oro kokybės užtikrinimo atnaujintuose pastatuose turi būti pasiektas mažinant teršalų emisijas (vengiant aerolio šaltinių patalpose) bei užtikrinant tinkamą ventiliaciją (kontroliuojamas tinkamai filtruoto išorės oro tiekimas į patalpas).

Juozapavičiūtė, Eglė. *Variation of Aerosol Particles Concentration in Multi-family Buildings: Statistical Characterization of Factors*: Master's thesis in Environmental Engineering / supervisor lect. dr. Tadas Prasauskas. The Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Research area and field: general engineering, technological sciences.

Key words: *air pollution, indoor air quality, aerosol particles, multi-family buildings, buildings renovation.*

Kaunas, 2017. 59 p.

SUMMARY

Clean air in the living environment is very important for the public health. Indoor air quality is particularly important for vulnerable groups of population, such as infants, children, and elderly people who are suffering respiratory or allergic diseases. Nowadays a number of scientific studies that emphasize the significant effects of indoor air pollutants on the human health is carried out. Various indoor air pollutants are responsible for exacerbate respiratory diseases, allergies, intoxication and certain types of cancer.

The study was researched in a framework of INSULAtE (“Improving energy efficiency of housing stock: impacts on indoor environmental quality and public health in Europe”) project. Aim of this work was to select comparative parameters and indicators for demonstration of the effects of building refurbishment on indoor air quality: aerosol particles temporal variation before and after renovation, aerosol particles concentration decay rate, indoor/outdoor (I/O) particle concentration ratio, aerosol particle background (night-time) and day-time concentration, minimum and maximum aerosol particles concentration and aerosol particles fraction ratio.

The case studies were performed in 46 multi-family buildings (241 apartments) from Finland and 20 buildings (96 apartments) from Lithuania. Both $PM_{2.5}$ and PM_{10} levels measured in all apartments in Finland were within recommended limits. Although outdoor PM values were substantially higher, which indicates good filtration of outdoor pollutants. At the same time, indoor pollution sources or activity emitting particles was also low.

The median distribution of aerosol concentration decay rates in Lithuanian apartments was 0.34 ($PM_{2.5}$), in Finland – 0.56 ($PM_{2.5}$), which indicates that the activities of inhabitants are most likely contributing to the indoor air quality in at least half of apartments. This may be caused due to a variety of activities, including cooking, dusting, vacuuming, intensive walking, etc. Although the change is not statistically significant, this could indicate that indoor sources of coarse particles may have more influence after retrofits in some cases.

TURINYS

IVADAS.....	10
1. LITERATŪROS APŽVALGA	12
1.1. Pagrindinės aerolio dalelių charakteristikos	12
1.1.1. Aplinkos oro tarša aerolio dalelėmis.....	12
1.1.2. Patalpų oro tarša aerolio dalelėmis.....	13
1.1.3. Aerolio dalelių poveikis žmogaus organizmui.....	15
1.1.4. Veiksniai, įtakojantys aerolio dalelių kitimus	17
1.2. Daugiabučių gyvenamųjų pastatų būklė Lietuvoje ir Suomijoje	17
1.3. Ventiliacijos įtaka aerolio dalelių koncentracijos kitimui patalpose	19
1.4. Aerolio dalelių koncentracijų kitimai erdvėje	21
1.4.1. Tarša aerolio dalelėmis nerenovuoatų pastatų patalpose	21
1.4.2. Tarša aerolio dalelėmis renovuoatų pastatų patalpose	22
1.4.3. Tarša aerolio dalelėmis išorėje ir poveikis žmogaus respiracinei sistemai	23
1.5. Apibendrinimas	24
2. METODINĖ DALIS.....	26
2.1. Tyrimo planas.....	26
2.2. Tyrimo metodika	27
2.2.1. Faktorių charakterizavimas	27
2.2.2. Renovacijos lygmenų įvertinimas	29
2.3. Duomenų analizė.....	30
3. REZULTATAI	33
3.1. Aerolio dalelių koncentracijos Lietuvoje ir Suomijoje prieš ir po pastatų renovaciją	33
3.2. Aerolio dalelių mažiausių ir didžiausių koncentracijų įvertinimas	36
3.3. Aerolio dalelių koncentracijos laike mažėjimo greičio įvertinimas	39
3.4. Aerolio dalelių Vidus/Išorė santykio įvertinimas	43
3.5. Aerolio dalelių naktinių (foninių) koncentracijų daugiabučių patalpose įvertinimas	46
3.6. Aerolio dalelių dieninių koncentracijų daugiabučių patalpose įvertinimas.....	48
3.7. Skirtingų aerolio dalelių frakcijų dydžių įvertinimas	51
4. REKOMENDACIJOS	53
4.1. Patalpų oro kokybės gerinimas.....	53
4.2. Oro kokybės valdymo strategijos	54
IŠVADOS	55
LITERATŪRA.....	56

LENTELĖS

Lentelė 1. Aerozolio dalelių koncentracijų aplinkoje reikalavimai.....	14
Lentelė 2. Minimali pastato šiluminė varža tarp konstrukcijų	18
Lentelė 3. Aerozolio dalelių koncentracijų lygių palyginimas su panašių tyrimų rezultatais užsienyje.....	25
Lentelė 4. Pagrindiniai aerozolio dalelių koncentracijų parametrai prieš ir po renovacijos Lietuvoje ir Suomijoje.....	34
Lentelė 5. Mažiausių ir didžiausių aerozolio dalelių koncentracijų parametrai	37
Lentelė 6. Aerozolio dalelių koncentracijos mažėjimo greičių pagrindiniai parametrai Lietuvoje ir Suomijoje.....	39
Lentelė 7. Pagrindinės minimalių ir maksimalių AD _{2,5} koncentracijų dalelių mažėjimo greičių charakteristikos.....	41
Lentelė 8. Pagrindiniai aerozolio dalelių vidus/išorė santykių parametrai.....	44
Lentelė 9. Pagrindiniai foniniai aerozolio dalelių koncentracijų parametrai.....	46
Lentelė 10. Pagrindiniai dieninių aerozolio dalelių koncentracijų parametų dydžiai prieš renovaciją ir po jos	49
Lentelė 11. Skirtingų dalelių frakcijos dydžių koncentracijų palyginimas	51

PAVEIKSLAI

Paveikslas 1. Pagrindinės aerolio dalelių dydžių charakteristikos	13
Paveikslas 2. Aktyvūs ir pasyvūs patalpų taršos šaltiniai	14
Paveikslas 3. Aerolio dalelių poveikis sveikatai	15
Paveikslas 4. Dalelių nusėdimas įvairiose kvėpavimo trakto vietose	16
Paveikslas 5. Santykinis mirtingumo rizikos įvertinimas įvairiose pasaulio šalyse	16
Paveikslas 6. Oro judėjimas natūralaus vėdinimo metu.....	19
Paveikslas 7. Oro judėjimas esant mechaninei ventiliacijai	20
Paveikslas 8. Aerolio dalelių koncentracijos pasiskirstymas skirtingose patalpose	22
Paveikslas 9. Vietos ir regionai, kuriuose susitelkę analizuojami pastatai	26
Paveikslas 10. Koncentracijos mažėjimo greičio įvertinimo pavyzdys	28
Paveikslas 11. Pasiskirstymas pagal atliktos renovacijos darbus Lietuvoje bei Suomijoje	29
Paveikslas 12. Dviejų nepriklausomų parametrų palyginimas naudojantis Statistica 7 programine įranga.....	32
Paveikslas 13. Mann-Whitney U testo parinkimo principas.....	32
Paveikslas 14. Aerolio dalelių koncentracijos kitimai Lietuvoje pagal renovacijos lygius	35
Paveikslas 15. Aerolio dalelių koncentracijos kitimai Suomijoje pagal renovacijos lygius	35
Paveikslas 16. Aerolio dalelių minimalių reikšmių palyginimas abiejose šalyse	38
Paveikslas 17. Aerolio dalelių maksimalių reikšmių palyginimas abiejose šalyse.....	38
Paveikslas 18. Aerolio dalelių koncentracijos mažėjimo greitis Lietuvoje.....	40
Paveikslas 19. Aerolio dalelių koncentracijos mažėjimo greitis Suomijoje.....	40
Paveikslas 20. Aerolio dalelių mažėjimo greičių parametrai Lietuvoje.....	42
Paveikslas 21. Aerolio dalelių mažėjimo greičių parametrai Suomijoje.....	42
Paveikslas 22. Patalpų ir išorės aplinkos maksimalių AD _{2,5} santykių išsidėstymas pagal atliktos renovacijos lygmenis Lietuvoje	45
Paveikslas 23. Patalpų ir išorės aplinkos maksimalių AD _{2,5} santykių išsidėstymas pagal atliktos renovacijos lygmenis Suomijoje	45
Paveikslas 24. Pagrindiniai foninių koncentracijų parametrai Lietuvoje.....	47
Paveikslas 25. Pagrindiniai foninių koncentracijų parametrai Suomijoje	47
Paveikslas 26. Dienos AD _{2,5} koncentracijų dydžiai Lietuvoje pagal renovacijos lygius.....	49
Paveikslas 27. Dienos AD ₁₀ koncentracijų dydžiai Suomijoje pagal renovacijos lygius	50
Paveikslas 28. Skirtingų frakcijų koncentracijų pasiskirstymas Lietuvoje.....	52
Paveikslas 29. Skirtingų frakcijų koncentracijų pasiskirstymas Suomijoje.....	52

SANTRUMPOS

AD – aerozolio dalelės;

AD_{2,5} – aerozolio dalelės, kurių dydis yra mažesnis nei 2,5 μm;

AD₁₀ – aerozolio dalelės, kurių dydis yra mažesnis nei 10 μm;

ES – Europos Sąjunga;

PSO – Pasaulio sveikatos organizacija;

MG – mažėjimo greitis;

V/I – vidus/išorė santykis.

IVADAS

Klimato kaita yra viena iš aktualiausių aplinkosaugoje nagrinėjamų problemų pasaulyje. Norint sušvelninti jos sukeltus padarinius reikia nacionalinių ir tarptautinių pastangų. Atliktais tyrimais įvertinta, jog vienas iš didžiausių potencialų sumažinančių šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekius yra randamas statybų sektoriuje, nes jame gyvenamieji pastatai sunaudoja apie 27 % energijos. Europos Sąjungoje pagrindiniai įstatymai, kuriais siekiama pagerinti naujų ir esamų pastatų energijos vartojimo efektyvumą yra Energijos vartojimo efektyvumo direktyva ir Pastatų energinio naudingumo direktyva [1].

Pagrindinės Europos Sąjungoje (ES) keliamos energetinės problemos yra saugumas, klimato kaita, energijos tiekimo patikimumas, energetinė nepriklausomybė. ES numatė tikslą iki 2020 m. energijos suvartojimą ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį sumažinti 20 %, daugiausia didinant energinių sistemų efektyvumą [2]. Optimalus pastatų aprūpinimo energija sprendimas būtų svarus indėlis siekiant šių tikslų. Beje, šie tikslai būtų pasiekiami tik tuomet, jei naujai statomi ir modernizuojami pastatai būtų atnaujinami grindžiant darnios energetikos principais [3].

Jos įgyvendinamos nacionalinėje politikoje ir programose, kurių tikslas dažniausiai yra sumažinti energijos suvartojimą pastatų sektoriuje. Energijos vartojimo efektyvumo pagerinimas taip pat gali daryti įtaką vidaus aplinkos kokybei ir gyventojų sveikatai bei gerovei [1]. Juk Pasaulio sveikatos organizacijos (PSO) duomenimis žmogus daugiau nei 80 procentų savo laiko praleidžia uždaroje patalpoje, iš jo apie 60 procentų – gyvenamosiose [4]. Vidaus patalpų oro kokybė kasmet tampa aktualesne problema, nuo kurios priklauso žmonių sveikata ir komfortas [1].

Aplinkos ore visuomet yra tam tikrų priemaišų, kurių kiekį lemia daugelis priežasčių. Toks oras, patekęs į patalpų vidų, dar pasipildo įvairiomis priemaišomis, kurias išskiria patalpoje esantys įprasti teršalų šaltiniai: statybinės medžiagos, pelėsiniai grybeliai, buitinė technika ir chemija, įvairūs namų apyvokos reikmenys, gyvūnai. Pats žmogus kasdien teršia savo gyvenamąją aplinką paprasčiausia ir įprasta savo veikla – naudodamas parfumeriją, gamindamas maistą ir tiesiog fiziologiškai iškvėpdamas anglies dvideginį [5].

Siekiant nustatyti teigiamą energijos vartojimo efektyvumo poveikį pastatams ir surasti išsamius pastatų vertinimo kriterijus buvo atliktas projektas „INSULAtE“. Penkerių metų trukmės projekto metu (2010–2015 m.) buvo vertinami pastatai Suomijoje ir Lietuvoje – jų vidaus aplinkos kokybė, t.y. parametrai, turintys įtakos sveikatai. Didžioji dalis vertintų pastatų – daugiabučiai, pastatyti 1960–1980 m., kuriuose, siekiant sumažinti šildymo sąnaudas, buvo atliekama renovacija.

Tyrimui parinkti daugiabučiai pastatai, kuriuos planuota renovuoti projekto metu. Suomijoje projekto pradžioje buvo įvertinti 46 daugiabučiai (241 butas). Iš jų 39 pastatai buvo renovuoti, o likę buvo kontroliniai – nerenovuoti. Didžioji dalis pastatų yra Tamperės ir Kuopijo srityse. Daugelyje šių pastatų buvo įrengtas mechaninis ištraukiamasis vėdinimas.

Lietuvoje projekto pradžioje buvo įvertinta 20 daugiabučių (96 butai). Iš jų renovuota 15 pastatų, likę buvo kontroliniai – nerenovuoti. Didžioji dalis pastatų yra Kauno rajone. Tiriamuosiuose bei kontroliniuose pastatuose vyravo natūrali vėdinimo sistema su vietine ištraukiamąja ventiliacija virtuvėse ir vonios kambariuose.

Remiantis anksčiau minėtomis tezėmis, šio **darbo tikslas** yra atlikti pasirinktų faktorių, turinčių didžiausią įtaką patalpų oro kokybei aerozolio dalelėmis, charakterizavimą bei statistinį įvertinimą.

Darbo aktualumas:

1. Patalpų oro kokybė yra vienas iš svarbiausių veiksnių, įtakančių patalpų mikroklimatą;
2. Aerozolio dalelės yra vienos iš esminių oro teršalų ir yra susijusios su neigiamu poveikiu žmonių sveikatai;
3. Pastatų renovacijos bei eksploatacijos metu į gyvenamąją aplinką patekusios aerozolio dalelės įtakoja patalpų oro kokybę, todėl svarbu nustatyti šios taršos pobūdį.

Darbo objektas – faktoriai, charakterizuojantys aerozolio dalelių koncentracijos kitimus daugiabučiuose pastatuose.

Darbo uždaviniai:

1. Susisteminti „INSULAtE“ projekto metu gautus duomenis įvertinant aerozolio dalelių koncentracijas;
2. Atlikti pirminę aprašomąją aerozolio dalelių koncentracijų kitimo laike ir erdvėje analizę prieš ir po daugiabučių renovaciją Lietuvoje ir Suomijoje;
3. Parinkti faktorius, kurie geriausiai identifikuoja aerozolio dalelių kitimus daugiabučiuose pastatuose;
4. Charakterizuoti pasirinktų faktorių skirtumus tarp dviejų valstybių atsižvelgiant į statistinės analizės duomenis;
5. Atlikus išsamią statistinę pasirinktų faktorių analizę įvertinti aerozolio dalelių poveikį aplinkos oro kokybei.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Pagrindinės aerolio dalelių charakteristikos

1.1.1. Aplinkos oro tarša aerolio dalelėmis

Aplinkos oro teršalais laikomos medžiagos, kurioms patekus į atmosferą pakinta įprasta oro sudėtis. Pakitus oro sudėčiai atsiranda tokios problemos kaip aplinkos rūgštėjimas, ozono sluoksnio sumažėjimas, radionuklidų plitimas, klimato kaita, augmenijos degradacija, žalingas poveikis žmonėms, dažnai sukeliantis kvėpavimo ir kitokio pobūdžio ligas [6], [7], [8].

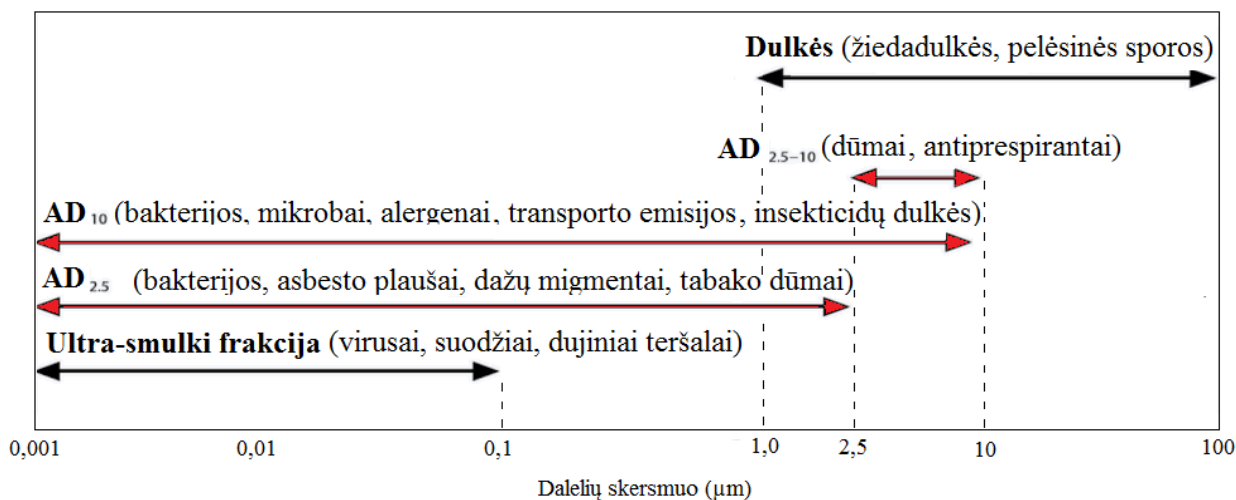
Aerolio dalelės (AD) – tai ore esančių dalelių ir skysčio lašelių (aerolio) mišinys, kurio sudėtyje gali būti įvairūs komponentai – rūgštys, sulfatai, nitratai, organiniai junginiai, metalai, dirvožemio dalelės, dulkės, suodžiai ir kt. Į orą išmetamos aerolio dalelės labai skiriasi savo fizine ir chemine sudėtimi, skirtingi yra dalelių dydžiai ir išmetimo šaltiniai. AD₁₀ dalelės – kurių dydis ore yra mažesnis nei 10 μm. AD_{2,5} dalelės – kurių dydis yra mažesnis nei 2,5 μm. AD₁₀ ir AD_{2,5} į orą išmetami iš šių pagrindinių šaltinių [2], [9]:

- deginant kurą (transportas, energijos gavyba, pramonė);
- tarpusavyje reaguojant kitiems teršalams (sieros dioksidui, azoto oksidams ir amoniakui, kurie suformuoja kietus sulfatus ir nitratus, bei lakiuosius organinius junginius. Jiems oksiduojantis susidaro organiniai aeroliai).

PSO rekomenduoja 20 μg/m³ naudoti kaip orientacinę ribinę vertę metiniam AD₁₀ vidurkiui vertinti. Aplinkos oro užterštumo normose nustatytos tokios AD_{2,5} koncentracijai vertinti taikomos ribinės vertės:

- vidutinė metinė (40 μg/m³);
- vidutinė 24 valandų (50 μg/m³), o 24 valandų (paros) vidurkio ribinė vertė neturi būti viršyta daugiau nei 35 dienas per kalendorinius metus [10], [11].

ES oro kokybės teisės aktai dažniausiai nustato tikslus arba tam tikrų medžiagų koncentracijų ribines vertes, tačiau šalims paliekama teisė pačioms spręsti, kaip jos sieks nustatytų tikslų. Kai kurios šalys ėmėsi daug veiksmingų priemonių oro taršos problemoms spręsti, kitos taikė mažiau priemonių arba jų taikomos priemonės pasirodė esančios ne tokios veiksmingos [11]. Iš dalies tai gali būti susiję su nevienodais kontrolės laipsniais ir vykdymo užtikrinimo gebėjimais šalyse [12]. Paveiksle 1 pateikiamos pagrindinės aerolio dalelių dydžių charakteristikos.



Paveikslas 1. Pagrindinės aerozolio dalelių dydžių charakteristikos [10]

Aerozolio dalelių poveikis miestuose vis dar didelis. Palyginus su sugriežtintomis PSO rekomendacijomis seka, jog daugiau kaip 80 proc. ES miestų gyventojų patiria ypatingai didelės AD₁₀ koncentracijos poveikį [10]. Tam tikroje teritorijoje arba iš tam tikrų šaltinių išmetamų teršalų kiekio sumažinimas savaime nelemia mažesnės teršalų koncentracijos [13], [14].

1.1.2. Patalpų oro tarša aerozolio dalelėmis

Pastatas yra atvira sistema – į jį iš aplinkos nuolat patenka oras, vanduo, žmogui reikalingi daiktai, maistas, energija. Oras, vanduo, kitos medžiagos, atliekos, pašalinamos iš namo į aplinką. Į pastatą patenkantis užterštas oras gali įtakoti vidaus patalpų mikroklimatą ir sveikos darbo aplinkos kūrimą [15].

Oras miestų gatvėse yra užterštas automobilių išmetamosiomis dujomis ir į atmosferą per kaminus patenkančiomis gamybos atliekomis bei kitais teršalais, tačiau pastaruoju metu atlikti tyrimai rodo, jog patalpų oras didžiuosiuose miestuose gali būti kur kas labiau užterštas nei oras lauke [16]. Kiti tyrimai rodo, jog didžiąją laiko dalį (apie 80–90 proc.) žmonės praleidžia patalpose [17]. Taigi, patalpos teršalų poveikis žmogaus sveikatai gali būti didesnis nei lauko oro taršos. Iš dalies patalpų oro taršą lemia naujos statybas reglamentuojančios normos, skirtos energijai taupyti ir reikalaujančios izoliuoti patalpas nuo išorinės aplinkos. Laikantis šių normų yra statomi nauji namai ir atnaujinami seni, tačiau nesutvarkius ventiliacinės sistemos – šiuo požiūriu daug problemų sukelia senosios statybos pastatai – uždarų patalpų ore kaupiasi įvairūs teršalai, kenksmingos žmogaus sveikatai medžiagos. Taip pat daugeliui tenka susidurti su pasirinkimu tarp plastikinių ir medinių langų.

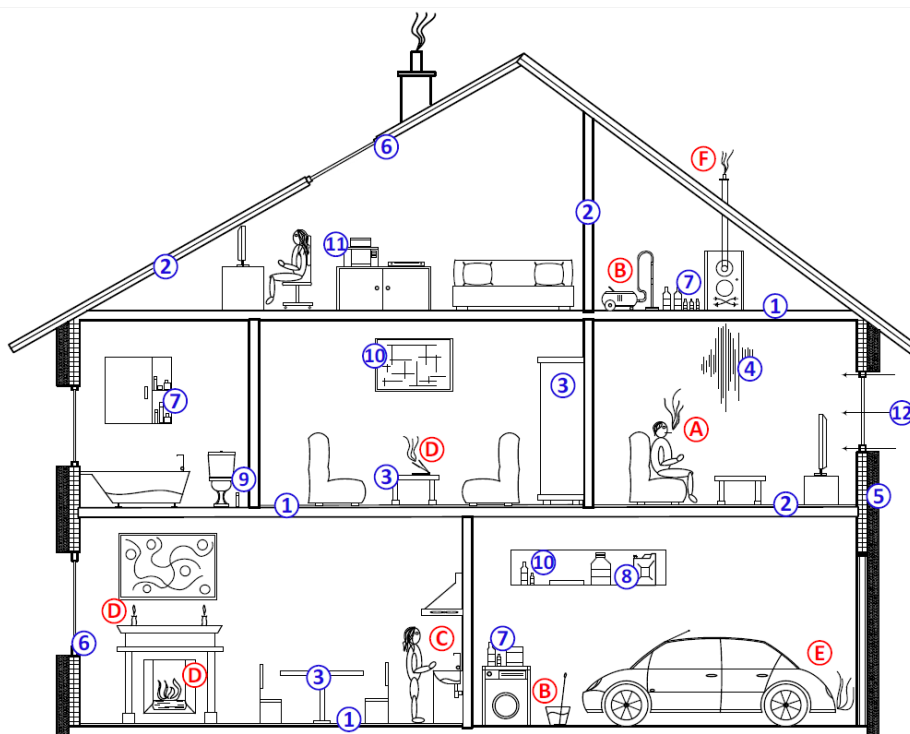
Paplitus sandariems šiuolaikiniams langams, oro kaita gyvenamosiose patalpose sumažėjo [18]. Orleidės namuose yra būtinos, jei nėra jokios kitos ventiliacijos. Nuodingų junginių šaltiniu

gali tapti ir statybai, apdailai ar baldams panaudotos medžiagos [11]. Lentelėje 1 pateikiami PSO, nacionaliniai Suomijos bei Lietuvos ir Europos Sąjungos nustatyti reikalavimai aerozolio dalelių koncentracijoms aplinkoje [5].

Lentelė 1. Aerozolio dalelių koncentracijų ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) aplinkoje reikalavimai

Parametras	PSO	ES	Nacionaliniai lygiai	
			Suomija	Lietuva
AD _{2,5}	25 (24 val.)	25 (m.)	–	40 (24 val.)
AD ₁₀	50 (24 val.)	50 (24 val.); 40 (m.)	50 (24 val.)	50 (24 val.)

2 paveiksle pateikiami pagrindiniai patalpų taršos šaltiniai. Pastarieji skirstomi į pasyviuosius ir aktyviuosius [4].



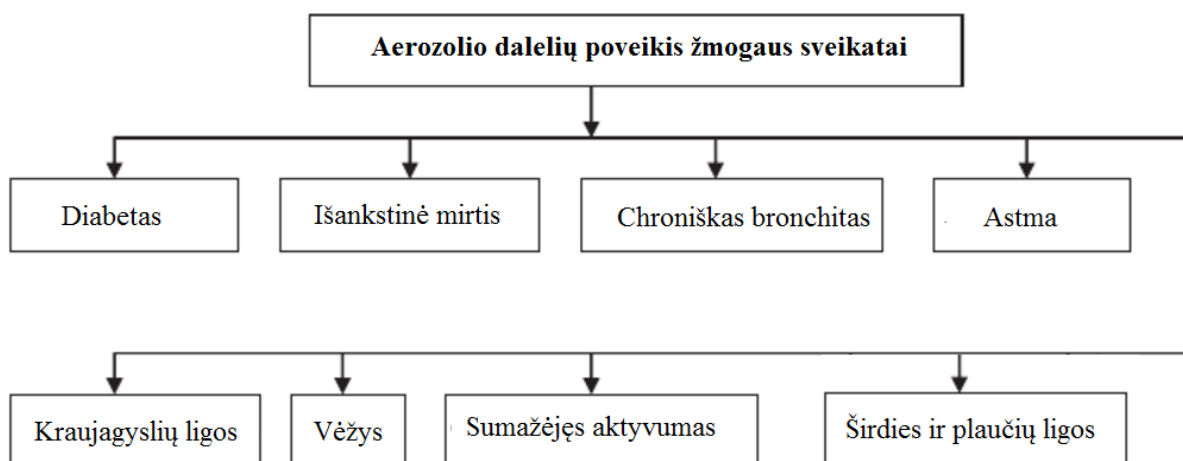
Paveikslas 2. Aktyvūs ir pasyvūs patalpų taršos šaltiniai [4]

Aktyvūs taršos šaltiniai [4]: A – tabako rūkymas, B – namų ruošos darbai, C – maisto ruošą, D – deginimo procesai, E – transporto emisijos, F – mechaninė ventiliacija. Pasyvūs taršos šaltiniai; 1 – grindys, 2 – impregnuotas medienos gaminiai, 3 – medienos baldai, 4 – sienų danga, 5 – šiluminės izoliacijos medžiagos, 6 – konstrukcijų hermetiškumas, 7 – namų ūkio cheminės medžiagos, 8 – degūs, lakūs skysčiai, 9 – oro gaivikliai, 10 – laisvalaikio įrankiai, 11 – darbinė įranga, 12 – natūrali ventiliacija.

1.1.3. Aerosolio dalelių poveikis žmogaus organizmui

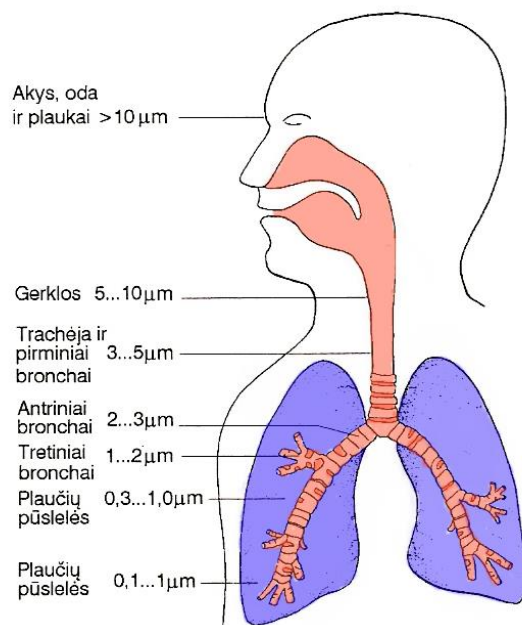
Suaugusiam žmogui per dieną reikia maždaug 20 m^3 oro. Todėl kvėpavimui skirto oro kokybei ir skiriamas didelis dėmesys [19], [20], [21]. Dauguma mokslinių tyrimų sieja aerosolio dalelių poveikį su astmos paūmėjimais, kvėpavimo sistemos ligomis (kosulys ar apsunkintas kvėpavimas), chroniniais bronchitais, plaučių funkcijos susilpnėjimu, akių dirginimu [22], [23]. Aerosolio dalelių poveikiui jautriausi vaikai ir asmenys sergantys kvėpavimo sistemos ligomis. Įvairūs mikroorganizmai, pernešami per aerosolio daleles, gali sukelti infekcinius susirgimus [24], [25].

Moksliniai tyrimai, vykdyti siekiant ištirti blogos patalpų oro kokybės įtaką sveikatai, kaip didžiausią problemą nurodo blogą patalpų oro kokybę dėl atviros ugnies krosnių ir nesandarių kietą kurą deginančių įrenginių patalpose. PSO nurodo, kad vidutiniškai apie 1,5 proc. metinių mirčių nuo plaučių vėžio yra susiję su kancerogenais iš patalpų oro taršos [26], [27], [28].



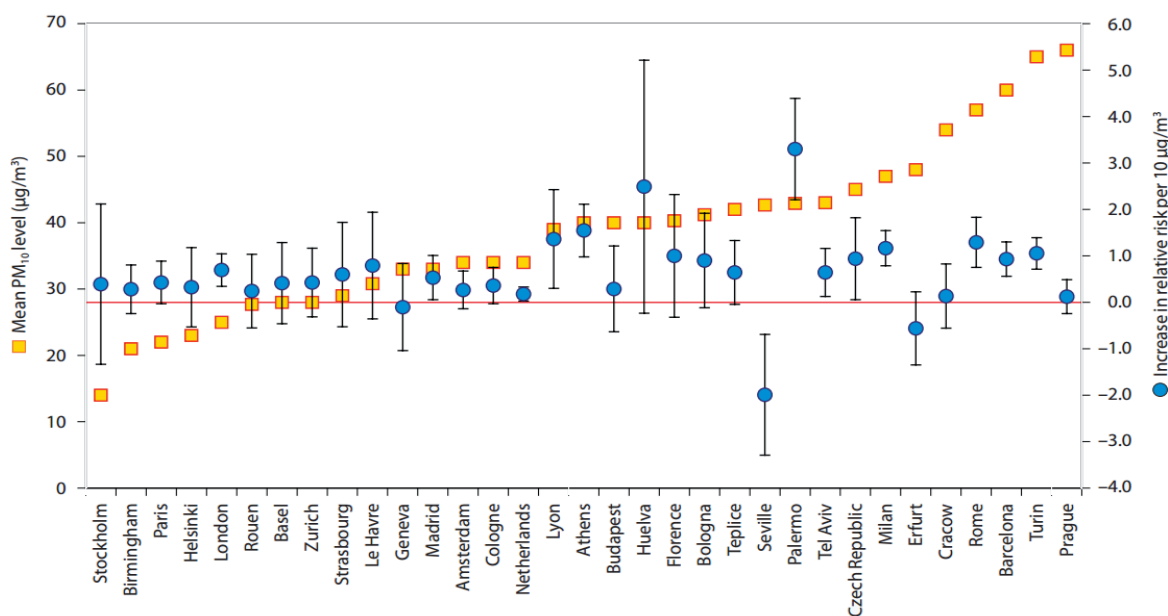
Paveikslas 3. Aerosolio dalelių poveikis sveikatai [29]

Ore esantys teršalai kvėpavimo metu patenka į organizmą ir jame kaupiasi. Todėl svarbu pabrėžti, jog aplinkos ore esančios aerosolio dalelės į žmogaus organizmą gali patekti per odą ar akių gleivinę, tačiau didžiausia jų dalis patenka per kvėpavimo sistemą (paveikslas 4) [30].



Paveikslas 4. Dalelių nusėdimas įvairiose kvėpavimo trakto vietose priklausomai nuo dalelių dydžio [24]

Pagal naujausius PSO (2011 m.) duomenis netinkamos būsto sąlygos sukelia daugiau nei 100 000 mirčių Europos regione per metus ir sukelia arba yra susijusios su daugeliu ligų ir sužeidimų, įskaitant kvėpavimo takų, nervų sistemos, kraujotakos sistemos ligas ir vėžį (paveikslas 5).



Paveikslas 5. Santykinis mirtingumo rizikos įvertinimas įvairiose pasaulio šalyse priklausomai nuo AD₁₀ [22]

1.1.4. Veiksniai, įtakojantys aerozolio dalelių kitimus

Visi fizikiniai ir cheminiai pokyčiai, kurie veikia į atmosferą patekusias aerozolio daleles, susiję su masės pernešimu į ar iš dalelės. Taip yra dėl apsikeitimo molekulėmis tarp dalelės ir jos aplinkos arba tarp dalelių. Į šiuos procesus įeina kondensacija ir garavimas, lietaus lašų formavimasis, koaguliacija (dalelių sukibimas tarpusavyje), taip pat cheminės reakcijos, absorbcija ir adsorbcija [31]. Kondensacija – lašo augimas, kai daugiau molekulių atvyksta prie dalelės paviršiaus, nei jį palieka. Didžiausią reikšmę tam turi augimo greitis, kuris priklauso nuo pradinio dalelės skersmens. Svarbu tai, kad dalelių, mažesnių už vidutinį laisvąjį kelią, o didesnių – yra atvirkščiai proporcingas, tai reiškia, kuo didesnis lašas, tuo lėčiau auga [32]. Koaguliacija yra aerozolio dalelių augimas, susiduriant dalelėms tarp savęs. Priklausomai nuo jų sukėlusią jėgų, gali būti šiluminė arba kinematinė koaguliacija. Pirmu atveju susidūrimai kyla dėl Brauno judėjimo, antruoju – dėl išorinių jėgų poveikio. Šiluminė koaguliacija nuo difuzijos skiriasi, nes tai vienos krypties procesas ir vyksta tik su dalelėmis, ne su molekulėmis.

Cheminės reakcijos vyksta dalelių paviršiuje ir gali paveikti atmosferos dujų chemiją, ją sudarančių dalelių savybes, taip pat ir poveikį klimatui bei žmonių sveikatai. Jų svarbą lemia tai, kad aerozolio dalelės pasižymi dideliu paviršiaus ploto ir tūrio santykiu. Atsirandantis poveikis klimatui gali būti tiek teigiamas, tiek neigiamas [33]. Reakcijų metu susidaro aktyvios molekulės, kurios gali prisidėti prie ozono sluoksnio nykimo, ir atvirkščiai, joms chemiškai pasenus, jų reaktyvumas sumažės, o galimybė dalyvauti debesų susidaryme – padidės [32].

1.2. Daugiabučių gyvenamųjų pastatų būklė Lietuvoje ir Suomijoje

Lietuvoje didžiausia gyventojų dalis gyvena įvairių tipų daugiabučiuose namuose. Šiuo metu mūsų šalyje yra apie 30 tūkst. daugiabučių, kuriuos būtina modernizuoti [34]. Prastos būsto sąlygos yra ne vien Lietuvoje. Europoje apie 70 % gyvenamųjų pastatų yra daugiau kaip 30 metų, o iš jų apie 35 % daugiau nei 50 metų [35]. Jų kokybė yra labai prasta ir reikalauja skubios modernizacijos [36].

Iki 1996 m. būsto atnaujinimo ir priežiūros projektai beveik nebuvo įgyvendinami. Nuo 1996 m. pradėjus įgyvendinti Energijos taupymo/ būsto eksperimentinį projektą, LR Aplinkos ministerijos duomenimis Lietuvoje dalinai buvo atnaujinta apie 700 daugiabučių gyvenamųjų namų. Tačiau didelė dalis daugiabučių modernizacijos dar laukia. Todėl gerinant pastatų būklę sumažėtų ir energijos suvartojimas.

ES gyvenamųjų pastatų sektorius atsakingas už maždaug 22 % visos suvartojamos energijos [37]. Didžioji dalis tipinių daugiabučių turi ir savo konstrukcijos tipui būdingų defektų, gadinančių bendrą pastato eksploatacinę būklę, sukeliančių kitų nuostolių, trumpinančių likusią pastatų gyvavimo trukmę. Nemaža dalis stambiaplokščių pastatų (ypač senesni) gyventojams kelia problemų dėl tarpplokštinių sandūrų pratekėjimo. Dėl nesandarumo plokščių sandūrose sienos dažnai įdrėksta, o žiemos metu kartais ir peršąla. Dėl to pažeidžiama vidaus patalpų apdaila, dar labiau padidėja sienų šilumos laidumas, o tuo pačiu, ir šilumos nuostoliai, blogėja patalpų mikroklimatas [36].

Lietuvos Respublikos Vyriausybė išsikėlė tikslą iki 2020 m. modernizuoti 70% daugiabučių namų, kuriems statybos leidimai buvo išduoti iki 1993 m. Europos Sąjunga kelia valstybėms narėms uždavinį, kad nuo 2020 m. visi naujai statomi pastatai būtų beveik nulinės energijos. Tačiau šie pastatai darys poveikį tik ilgalaikėje perspektyvoje [38].

Pagal anksčiau minėtus renovuojamų pastatų kriterijus ir pastatų energinio naudingumo direktyvą yra nustatyti reikalavimai mažiausioms šiluminėms varžoms (lentelė 2). Tarp atitinkamų pastato konstrukcijų elementų [5].

Vienas paprasčiausių būdų energijos vartojimo efektyvumo – pastato atnaujinimo metu atliekamas išorinių sienų šiltinimas. Taip pat atnaujinami namo fasadai, kurie pailgina pastato sienų ir kitų konstrukcijų eksploataavimo laiką. Tinkamai apšiltinus fasadus, patalpose pakyla oro temperatūra.

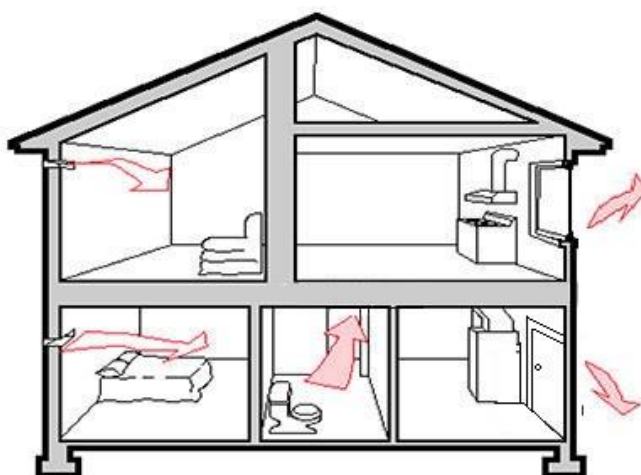
Lentelė 2. Minimali pastato šiluminė varža tarp konstrukcijų [5]

Pastato struktūros dalis	Pastato trukmei tenkantis minimalus šiluminės varžos kiekis, W/(m ² ·K)								
	<1969	1969>	1976>	1978>	1985>	2003>	2008>	2010>	2012>
Išorinė siena	0,81	0,81	0,40	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Pamatai	0,47	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Stogas	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09
Durys	2,2	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0
Langai	2,8	2,8	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0

1.3. Ventiliacijos įtaka aerozolio dalelių koncentracijos kitimui patalpose

PSO pabrėžia, kad vėdinimo reikalavimų nustatymas šalyje yra svarbus siekiant užtikrinti gerą patalpų oro kokybę. Gyvenamosiose patalpose oras turėtų keistis ne mažiau kaip 3 kartus per valandą. Kadangi Lietuvoje dauguma pastatų nėra hermetiški, oras dėl temperatūrų bei slėgių skirtumo sienose bei per plyšius natūraliai keičiasi 1 kartą per valandą [26].

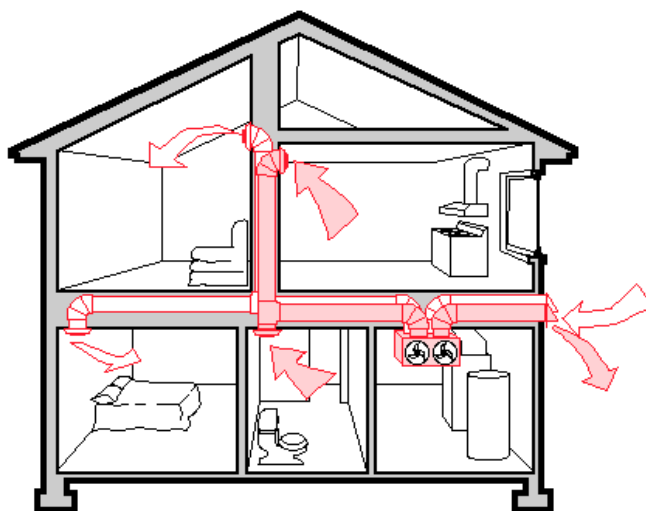
Pagal tai, kas sukelia oro judėjimą, vėdinimas gali būti natūralus ir mechaninis. Daugumoje Lietuvos gyvenamųjų namų yra vėdinami vidinėse sienose esančiais natūralios traukos kanalais (paveikslas 6).



Paveikslas 6. Oro judėjimas natūralaus vėdinimo metu [39]

Natūralus vėdinimas vyksta veikiant gravitacijos ir dinaminėms jėgoms. Natūralus vėdinimas nereikalauja energijos sąnaudų, galima iš patalpos pašalinti didelį kiekį užteršto oro bei perteklinės šilumos. Šio vėdinimo trūkumas yra jo efektyvumo priklausomybė nuo išorės oro temperatūros, vėjo stiprumo bei krypties, ir tai, kad negalima reguliuoti į pastatą patenkančio oro parametrų. O mechaninio vėdinimo metu oro cirkuliaciją sukelia ventiliatoriai (paveikslas 7). Tiekimo vieta ir greitis turi būti parinkti taip, kad nesukeltų skersvėjų. Oro judėjimas patalpose būtinas, nes jei žmogus nejunta nors menkiausio oro judėjimo ar slėgio į audinius skirtumo, jam tvanku, blogėja savijauta ir darbingumas. Oro judėjimo greitis patalpose turėtų būti iki 0,3 m/s, tai sąlygoja aplinkinio oro kaitą ir galimybę kvėpuoti švaresniu nei iškvėpiamu oru [17].

Tam, kad žmogus gerai jaustųsi ir kvėpuotų grynu oru, jam reikia apie 20 m³ oro per valandą. Atsižvelgiant į tai, kad bent kartą per valandą oras natūraliai pakinta, tai optimalus kiekis žmogui, valandą būnančiam patalpoje, yra 25 m³.



Paveikslas 7. Oro judėjimas esant mechaninei ventiliacijai [39]

Mechaninio vėdinimo sistemų privalumas, lyginant su natūraliu, yra tai, kad išorės orą galima tiekti į bet kokią patalpos vietą, jį valyti nuo priemaišų, šildyti, taip pat pašalinti orą iš reikiamos patalpos vietos. Tiekiamo oro kokybė nepriklauso nuo išorės meteorologinių sąlygų. Šių sistemų trūkumas tas, kad jų įrengimas ir eksploatacija yra brangūs. Natūrali ir mechaninė vėdinimo sistemos negali palaikyti visų reikiamų ar norimų mikroklimato parametrų bei sukurti komfortabilių aplinkos sąlygų [39]. Šiam tikslui yra naudojami oro kondicionavimo įrenginiai – kondicionieriai. Jie gali sukurti ir automatiškai palaikyti patalpoje norimą mikroklimatą [5].

Pastato sandarumas ir ventiliacijos efektyvumas yra svarbūs parametrai, įtakojantys aerolio dalelių poveikio lygius bei patekimo kelius į gyvenamąją aplinką. Pastato užsandarinimas gali įvairiai įtakoti (tiek neigiamai, tiek ir teigiamai) teršalų koncentracijas patalpose, todėl yra būtina įvertinti kaip šis rodiklis kinta po atliktų pastato atnaujinimo darbų. Ventiliacijos efektyvumas patalpose gali smarkiai kisti laiko bėgyje, ypač natūraliai vėdinamuose būstuose, dėl ventiliacijos varomųjų jėgų (vidaus/išorės temperatūros skirtumo, bei vėjo sudaromo slėgio). Gyventojų elgsenos įtaka taip pat gali būti labai svarbus veiksnys ventiliacijos efektyvumo vertinime (pvz. langų atidarymo dažnis priklausomai sezoniškumo). Gerai izoliuotame pastate be vėdinimo arba su nepakankamu vėdinimu nuolat būnantys žmonės dažnai skundžiasi neaiškios kilmės negalavimais, todėl toks reiškinys pavadintas „nesveiko pastato sindromu“ [11].

Daugelyje gyvenamųjų pastatų ir patalpų numatytos oro vėdinimo sistemos yra nepakankamos. Pradėjus naudoti modernias technologijas statybose, kurios taupydamos šilumą, tuo pačiu padaro namus hermetiškais, nepraleidžiančiais oro iš lauko. Taip pat moksliniais tyrimais patvirtinta, jog nepakankamai patalpų oras yra kenksmingesnis už atmosferos orą [4].

1.4. Aerozolio dalelių koncentracijų kitimai erdvėje

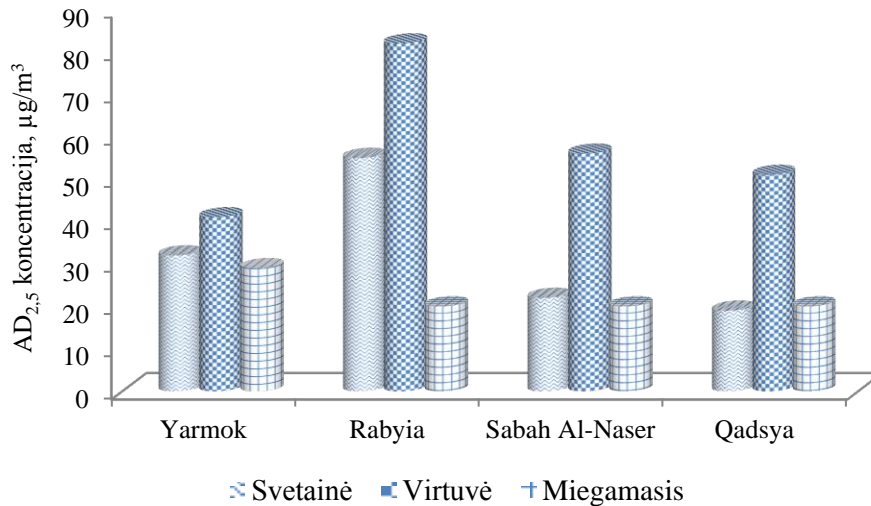
1.4.1. Tarša aerozolio dalelėmis nerenovuoatų pastatų patalpose

Atliktas mokslinis tyrimas siekiant nustatyti aerozolio dalelių koncentracijos kitimus skirtinguose nerenovuoatuose pastatuose. Tyrimas buvo atliktas Kuveito mieste. Kuveite klimatas yra karštas ir sausas, temperatūra kinta nuo 40°C iki 50°C ne mažiau kaip 6 mėnesius per metus.

Tyrimo metodika pagrįsta naudojant aerozolio dalelių monitorių. Prietaisas matavo aerozolio dalelių koncentraciją patalpose. Šis instrumentas pagrįstas šviesos sklaidos technologija atliekant matavimus realiam laike. Aptikimo diapazonas yra nuo 0,001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ iki 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, taip pat aukšta rezoliucija, siekianti 0,001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dalelių dydžio diapazonas yra nuo 0,1 μm iki 10 μm . Oras nuolat įtraukiamas pro įsiurbiamąją vidinę angą taip suformuojant nenutrūkstamą aerozolio dalelių srautą. Kameros viduje yra šviesos lazerio šaltinis skirtas iliuminuoti aerozolio tam tikrą srautą ir taip šviesa išsisklaido jame. Kai kuri išsisklaidžiusi šviesa yra surenkama ir sutelkiama ant fotodetektoriaus esant 90°C. Šviesa yra paverčiama įtampa. Aerozolio dalelių masės koncentracija yra proporcinga išsklaidytos šviesos skaičiui ir generuojamai įtampai. [40].

Aerozolio dalelių ($\text{AD}_{2,5}$) koncentracijos keturių gyvenamųjų patalpų ore virtuvių kambariuose kito nuo 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ iki 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ir buvo gerokai aukštesnės nei Aplinkos apsaugos agentūros nustatyta paros norma t.y. 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Didžiausia $\text{AD}_{2,5}$ koncentracija buvo nustatyta Rabiya virtuvėje (8 paveikslas). Šiuose namuose buvo nuolatos gaminamas riebus maistas, buvo generuojamos dujos ir aerozolio dalelių teršalai. Mažiausios $\text{AD}_{2,5}$ koncentracijos buvo pastebimos miegamuosiuose kambariuose, išskyrus Yarmok namuose (paveikslas 8). Pastarosios reikšmės buvo mažesnės nei PSO rekomendacijose t.y. 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per 24 val. laikotarpį.

$\text{AD}_{2,5}$ kito nuo 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ iki 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, vidurkis 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Keturiuose iš dešimties namuose gyveno nuolat rūkantys asmenys. Šiose patalpose $\text{AD}_{2,5}$ koncentracija siekė vidutiniškai 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o vidutinė $\text{AD}_{2,5}$ koncentracija nerūkančių asmenų patalpose buvo ženkliai mažesnė ir lygi 37,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nustatyta, kad 73% išmatuotų koncentracijų verčių yra kenksmingos jautrioms visuomenės grupėms, o atitinkamai 27% yra žalingi vidutinio jautrumo žmonių grupėms [40].



Paveikslas 8. Aerozolio dalelių koncentracijos pasiskirstymas skirtingose patalpose [40]

Patalpų oro kokybė ir jose išsiskiriantys teršalai, tokie kaip $AD_{2,5}$ turi didelę įtaką žmonių sveikatai. Nustatyta, kad tai priklauso nuo patalpoje vykstančių veiksmų: rūkymo, maisto ruošimo, aktyvi veikla, kaitinimas. Ištirta, kad Kuveito mieste esančių patalpų oras yra labai užterštas. Tokios aukštos $AD_{2,5}$ koncentracijos gali būti sukeltos tiek dėl išorinių, tiek vidinių aplinkos veiksnių. Dauguma namų yra arti intensyvių miesto gatvių, taip pat įtakos gali turėti oro kondicionierių filtrų patvarumas, jų kokybė.

1.4.2. Tarša aerozolio dalelėmis renovuotų pastatų patalpose

Aerozolio dalelių kiekiai yra vertinami renovuotų daugiabučių namų patalpose. Tyrimas atliktas birželio – rugpjūčio mėnesių laikotarpyje Aleksandrijos mieste, Egipte [40]. Visi gyvenamieji pastatai yra įsikūrę 100 m nuo pagrindinių kelių, kuriuose eismas yra intensyvus. Tyrimo metodika pagrįsta aerozolio dalelių surinkimu ant 37 mm skersmens „Whatman“ stiklo pluošto filtrų. Be patalpų ėminių, buvo imamas vienas lygiagretus lauko oro mėginys palyginimui.

Aerozolio dalelių kiekiai patalpose kito nuo $96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $351 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o lauko aplinkoje nuo $91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iki $381 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tik septyniose vietose aerozolio dalelių koncentracija buvo viršijama pagal rekomenduojamą Egipto aplinkosaugos įstatymą aerozolio dalelių paros normai ($2230 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Vidutinė lauko – išorės santykio vertė lygi 1,08. Reikšminga koreliacija buvo nustatyta tarp vidurkio patalpose ir lauko aerozolio dalelių koncentracijų ($p=0,007$). Atlikto tyrimo metu pastebėta, kad didesnės aerozolio dalelių koncentracijos priklauso nuo patalpose vykdomos

veiklos. Taip pat buvo atsižvelgiama į kambarių dydį, gyventojų skaičių, maisto ruošos dažnumą.

Atlikus tyrimą pastebėta, kad kai kurie parametrai koreliuoja su padidėjusia AD koncentracija mažose patalpose ($p=0,01$) su gyvenančių asmenų skaičiumi ($p=0,01$). Nustatytas statistiškai reikšmingas poveikis aerolio dalelių koncentracijos padidėjimui ir vaikų skaičiui patalpoje ($p=0,01$) pagrindžiant, jog jaunesnių asmenų didesnis fizinis aktyvumas, lyginant su vyresniais.

Atlikto tyrimo rezultatai atskleidė, jog aerolio dalelių koncentracijos patalpose yra dažnai didesnės nei lauko ore. Buvo nustatyta, kad aerolio dalelių koncentracija lauko ore buvo viršyta pagal oro kokybės standartą ($230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per 24val). Iš 21 gyvenamųjų patalpų, 15 parodė didesnę aerolio dalelių koncentracijos vidurkį patalpoje nei lauko aplinkoje. Lauko ir vidutinė patalpų aerolio koncentracijos turi reikšmingą skirtumą. Jei šis santykis didesnis negu 1, tai nurodo reikšmingą įtaką įskaitant tokius šaltinius kaip rūkymas, maisto ruošą, valymas [40].

1.4.3. Tarša aerolio dalelėmis išorėje ir poveikis žmogaus respiracinei sistemai

Aerolio dalelių koncentracijos buvo tiriamos vasaros periodo metu Pekino mieste, Kinijoje. Buvo pasirinkta 20 kvėpavimo takų ligų, kurios pasireiškė Pekino mieste tarp vietinių gyventojų nurodytų metų periodo metu. Remiantis tyrimo duomenimis, buvo atlikta geografinių informacinių sistemų erdvinė interpoliacija taikant universalų krigingo (UK) modelį [41]. Šis metodas skirtas generuoti rastrines paviršiaus koncentracijas penkiems dalelių dydžiams. Priežastis, kodėl universalus krigingas buvo pasirinktas kaip interpoliacijos priemonė, buvo ta, jog vidurkio prognozuojamoji vertė yra konstanta.

Atlikto tyrimo metu 2008m. buvo koduojami duomenys dėl žmonių kvėpavimo sistemos ligų ir vietovės, kuriame jis gyvena. Šiame laikotarpyje iš viso nustatyta daugiau nei 100 minėtųjų susirgimų. Geografinių ir bendruomenės kvėpavimo takų ligų atvaizdavimo duomenimis, 11 asmenų iš 100 gyvenamųjų gyventojų susirgimų (plaučių ligos, astmos paūmėjimai) yra nagrinėjamoje vietovėje. Pagal koncentracijos pokyčius nuo 2008 iki 2009 metų, nustatyta, jog pietvakarinėje miesto dalyje vidutinės aerolio koncentracijos kito pagal frakcijų dydį: $AD_{0,3}$, $AD_{0,5}$, $AD_{1,0}$, $AD_{3,0}$ ir $AD_{5,0}$ yra $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $15.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $36.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ir $27.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, atitinkamai.

Pateikiami rezultatai, kuriuose nustatyta, kad nustatytas $AD_{3,0} \mu\text{m}$ turi stiprią įtaką kvėpavimo takų ligų atsiradimui nagrinėtame regione [42]. Šio tyrimo rezultatai sutampa ir su JAV Aplinkos apsaugos agentūros pripažintu kritiniu aerolio dalelių $2,5\mu\text{m}$ dydžiu, įtakojančiu sveikatos problemų priežastingumą [43].

1.5. Apibendrinimas

Literatūros apžvalgoje analizuoti aerozolio dalelių koncentracijos kitimai renovuotų daugiabučių, nerenovuotų daugiabučių pastatuose bei aplinkos ore, aptartos daugiabučių situacijos bei renovacijų prognozės Lietuvoje. Apibendrinti pagrindiniai aerozolio dalelių šaltiniai aplinkos ir patalpų ore bei jų poveikis žmogaus organizmui. Nustatyta, jog patalpų oro kokybė yra labai sudėtingas ir kompleksinis reiškinys, todėl yra sunkiai kontroliuojamas. Svarbiausias patalpų oro kokybės valdymo tikslas turėtų būti sutelktas į tinkamo mikroklimato užtikrinimą, t.y. mažiau užterštą patalpų orą.

Patalpų oro kokybė yra vienas iš pagrindinių parametru, įtakančių patalpų mikroklimatą ir žmonių gerbūvį. Nagrinėjamų aerozolio dalelių šaltiniai patalpose skirstomi į pasyviuosius ir aktyviuosius. Pastarųjų kategorijai priskiriami: deginimo procesai, transporto emisijos, mechaninė ventiliacija ir kiti. Pasyvieji taršos šaltiniai – grindys, namų ūkio cheminės medžiagos, sienų danga, natūrali ventiliacija ir kiti.

Pastaraisiais metais energetikos politikoje vis daugiau dėmesio kreipiama į energijos vartojimo mažinimą pastatuose. Europos Sąjunga kelia valstybėms narėms tikslą, kad nuo 2020 m. visi naujai statomi pastatai būtų beveik „nulinės“ energijos. Tačiau šie pastatai, numatomi, jog darys poveikį tik ilgalaikėje perspektyvoje. Tuo tarpu esamų, energetiškai neefektyvių, pastatų problema tebeturi lemiamą vaidmenį. Šiuo metu pastato renovacijos periodiškumas vertinamas vadovaujantis pirmiausia ekonominiais, kartais pastato fizinio nusidėvėjimo kriterijais.

Atlikus literatūros analizę nustatyta, jog didžiausią įtaką žmogaus organizmui turi $AD_{2,5}$. Minėtoji dalelių dydžio frakcija turi neigiamą poveikį žmonių sveikatai, nes nulemia ne tik nežymius sveikatos sutrikimus: viršutinių kvėpavimo takų ligos, dusimas, kosulys, bet ir astmos priepuolių paūmėjimai, priešlaikinė mirtis, įvairios širdies ir kraujagyslių ligos. Atlikus išsamią literatūros analizę nustatyti pagrindiniai aerozolio dalelių koncentracijos lygiai įvairiose pasaulio šalyse (lentelė 3) lyginant su „INSULAtE“ projekto $AD_{2,5}$ ir AD_{10} analizės duomenimis Lietuvoje bei Suomijoje. Palyginamosios analizės metu nustatyta, jog esminiai skirtumai lemiantys aukštas aerozolio dalelių koncentracijas įvairiose pasaulio šalyse yra: geografinė šalies padėtis, meteorologiniai parametrai, analizuojamų objektų būklė, namų ūkio veikla bei kt.

Sunku kontroliuoti išorės aerozolio daleles miesto aplinkoje, kur transporto tarša ir kuro deginimo emisijos yra plačiai paplitusios. Padidėjęs pastato atitvaro sandarumas padeda sumažinti išorės aerozolio dalelių patekimą į gyvenamąsias patalpas. Tačiau ši priemonė gali sumažinti ir natūralią ventiliaciją bei sulėtinti dalelių koncentracijos mažėjimo greitį patalpose.

Lentelė 3. Aerozolio dalelių koncentracijų ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) lygių palyginimas su panašių tyrimų rezultatais užsienyje

Nuorodos	AD frakcija	Vidurkis AD_{vidus}	Vidurkis $AD_{\text{išorė}}$	V/I santykis	Vietovė	Miestas, šalis
Massey D., 2013 [46]	$AD_{2,5}$	129,84±40,08	134,19±85,45	0,96	Individualūs gyvenamieji pastatai	Agra, Indija
	AD_{10}	123,35±45,65	145,23±23,45	0,84		
Mainka A., 2015 [47]	$AD_{2,5}$	66,72±29,02	51,22±17,87	1,21	Daugiabučiai gyvenamieji pastatai	Silezija, Lenkija
	AD_{10}	103,86±37,15	63,63±20,16	1,63		
Cao J., 2012 [48]	$AD_{2,5}$	73,5±23,3	79,4±19,8	0,93	Daugiabučiai gyvenamieji pastatai	Guangzhou, Kinija
	$AD_{2,5}$	135,6±64,0	141,0±68,1	0,96		
Mahmaud M., 2011 [40]	$AD_{2,5-10}$	246	201	1,21	Daugiabučiai gyvenamieji pastatai	Aleksandrija, Egiptas
Goitchi I., 2002 [49]	$AD_{2,5}$	35,6±29,4	37,3±27,4	0,94	Daugiabučiai gyvenamieji pastatai	Atėnai, Graikija
Jones T., 2000 [19]	AD_1	9,9±3,3	8,3±4,1	1,19	Daugiabučiai gyvenamieji pastatai	Birminhamas, Anglija
	$AD_{2,5}$	8,84±5,05	17,75±9,92	0,52	Daugiabučiai gyvenamieji pastatai	Kaunas, Lietuva
„INSULAtE“ projektas	AD_{10}	20,18±15,41	26,77±11,35	0,76		
	$AD_{2,5}$	5,78±2,34	21,12±12,32	0,85	Daugiabučiai gyvenamieji pastatai	Tampere ir kt., Suomija
AD_{10}	7,72±6,17	13,91±8,96	0,91			

2. METODINĖ DALIS

2.1. Tyrimo planas

Daugiabučiai pastatai, kuriuose buvo planuojami renovacijos darbai, buvo pasirenkami tyrimams vertinti. Tyrimo plotas įtraukė kelis regionus Suomijoje (Tamperė, Kuopijas, Helsinkis, Imatra, Hamelinos regionas ir kiti.) ir Lietuvoje (Kauno regionas). Geografinis pastatų išsidėstymas pagal nurodytus regionus pavaizduotas 9 paveiksle. Pagrindiniai kriterijai, kuriais remiantis buvo pasirenkami daugiabučiai pastatai – planuojamos modifikacijos, kurios susijusios su pastato energijos efektyvumu ir pastato renovacijos užbaigimo laikotarpiu, t.y iki 2015 metų. Matavimai tų pastatų, kurie buvo įtraukti į tyrimų procesą, buvo atliekami nuolat ir prasidėjo 2011m. gruodžio mėnesį.

Tyrimo metu Lietuvoje buvo įvertinta 20 daugiabučiai (96 butai). Iš jų renovuota 15 pastatų, likę buvo kontroliniai – nerenovuoti. Tiriamuosiuose bei kontroliniuose pastatuose vyravo natūrali vėdinimo sistema su vietine ištraukiamąja ventiliacija virtuvėse ir vonios kambariuose. Suomijoje buvo pasirinkti 46 daugiabučiai (241 butai). Iš jų 39 pastatai buvo renovuoti, o likę buvo kontroliniai – nerenovuoti. Daugelyje šių pastatų buvo įrengtas mechaninis ištraukiamasis vėdinimas (< 10 proc. buvo įrengtas natūralus vėdinimas).



Paveikslas 9. Vietos ir regionai, kuriuose susitelkę analizuojami pastatai

„INSULAtE“ projekto metu visuose tirtuose daugiabučiuose pastatuose buvo atliekami standartiniai atnaujinimo darbai: pilnas fasado šiltinimas, šildymo ir karšto vandens sistemų pertvarkymas, ventiliacijos ir rekuperacijos sistemų pertvarkymas, stogo šiltinimas (kai kuriais atvejais ant stogo buvo įrengti saulės kolektoriai), butų ir kitų bendro naudojimo patalpų langų keitimas į mažesnio šilumos pralaidumo langus, balkonų stiklinimas, laiptinių lauko durų keitimas ir kt.

Siekiant užtikrinti vienodas aerozolio dalelių matavimo sąlygas prieš ir po pastato atnaujinimo, dalelių matavimo prietaisai buvo lokalizuoti identiškose pastato vietose. Aerozolio dalelių koncentracijų matavimai buvo atlikti praėjus minimaliam pusės metų laikotarpiui po pastato atnaujinimo darbų pabaigos.

2.2. Tyrimo metodika

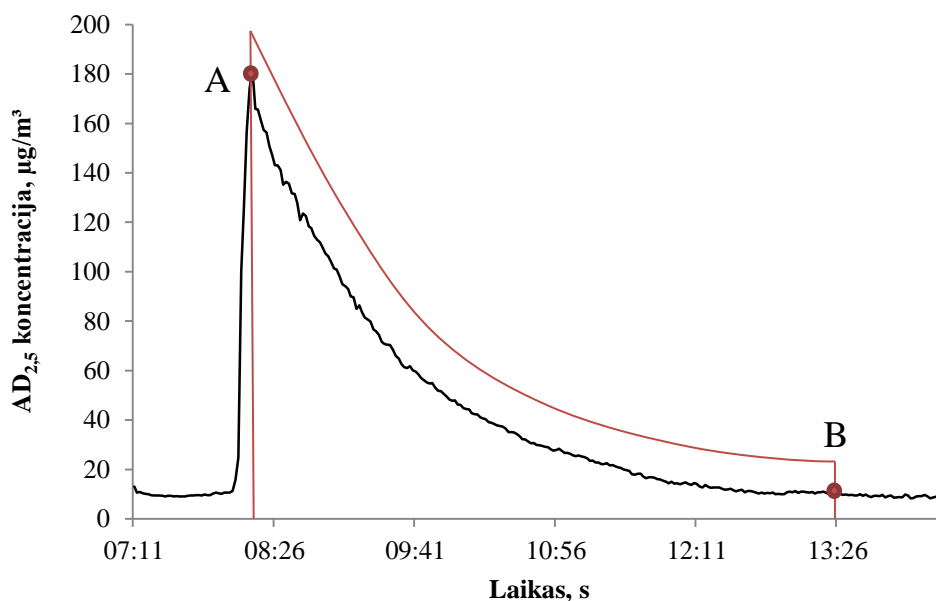
2.2.1. Faktorių charakterizavimas

Aerozolio dalelių koncentracijos ir dalelių dydžio pasiskirstymo duomenys buvo imami nepertraukiamai 24 valandas kas 1 min. Siekiant įvertinti koncentracijų kitimus buvo įvertinami šie faktoriai:

- Aerozolio dalelių ($AD_{2,5}$ ir AD_{10}) koncentracijų kitimas laike prieš renovaciją ir po jos;
- Mažiausių ir didžiausių aerozolio dalelių koncentracijų įvertinimas;
- Aerozolio dalelių ($AD_{2,5}$) koncentracijos mažėjimo greitis;
- Aerozolio dalelių ($AD_{2,5}$ ir AD_{10}) koncentracijos vidus ir išorė santykio įvertinimas;
- Aerozolio dalelių foninės (naktinės) ir dieninės koncentracijos;
- Skirtingų aerozolio dalelių frakcijų santykio ($AD_{2,5}/AD_{10}$) įvertinimas.

Įvertinant aerozolio dalelių skirtingų frakcijų koncentracijų vidurkius prieš renovaciją ir po jos, buvo pasirenkamos ne tik visos koncentracijų vertės abiejose šalyse, tačiau papildomai apskaičiuojamos po dešimt mažiausių ir didžiausių koncentracijų vidurkių pagal renovacijos lygius. Pagal šią metodiką yra įvertinami statistiškai reikšmingi skirtumai tarp minėtų kintamųjų.

Aerozolio dalelių koncentracijos mažėjimo greitis apibrėžia kokia teršalų procentinė dalis išsisklaido vienos valandos laikotarpyje. Šis parametras apibrėžia, jog aerozolio dalelės daugiausia išsisklaido dėl sukkelto vėdinimo ar nusėdimo ant paviršių. Taip siekiama įvertinti laiko tarpą, kuomet pasiekama didžiausia tokia atitinkamos frakcijos koncentracija ir momentą, kai šios frakcijos reikšmės įgyja pastovias reikšmes (kurių neįtakoja aplinkos veiksniai). Paveiksle 10 preliminariai pavaizduotas tokių koncentracijų laike įvertinimo pavyzdys (raudona linija). Skirtingais atvejais toks laikotarpis gali trukti nuo kelių sekundžių iki kelių valandų.



Paveikslas 10. Koncentracijos mažėjimo greičio įvertinimo pavyzdys

Remiantis šiais parametrais siekiama įvertinti patalpų oro kokybę. Vidaus ir išorės (V/I) santykis parodo dydį, kuris gaunamas palyginant vidaus patalpų aerozolio dalelių koncentracijas su išorės aplinkos aerozolio dalelių koncentracijomis. Jeigu šis santykis žymiai mažesnis už 1 (t.y. $V/I \ll 1$) vadinasi, nėra aerozolio dalelių šaltinių vidaus patalpoje ir vidaus patalpų oro kokybė yra veikiama išoriniu (lauko) oru. Tuo atveju, kai $0.5 < V/I < 1$, patalpų aerozolio dalelių koncentracijų šaltiniai yra atpažįstami, tačiau nėra paplitę ar dominuojantys nurodytoje aplinkoje. Jeigu $V/I > 1$, vadinasi yra stiprios taršos šaltiniai patalpoje, darantys įtaką patalpų oro kokybei.

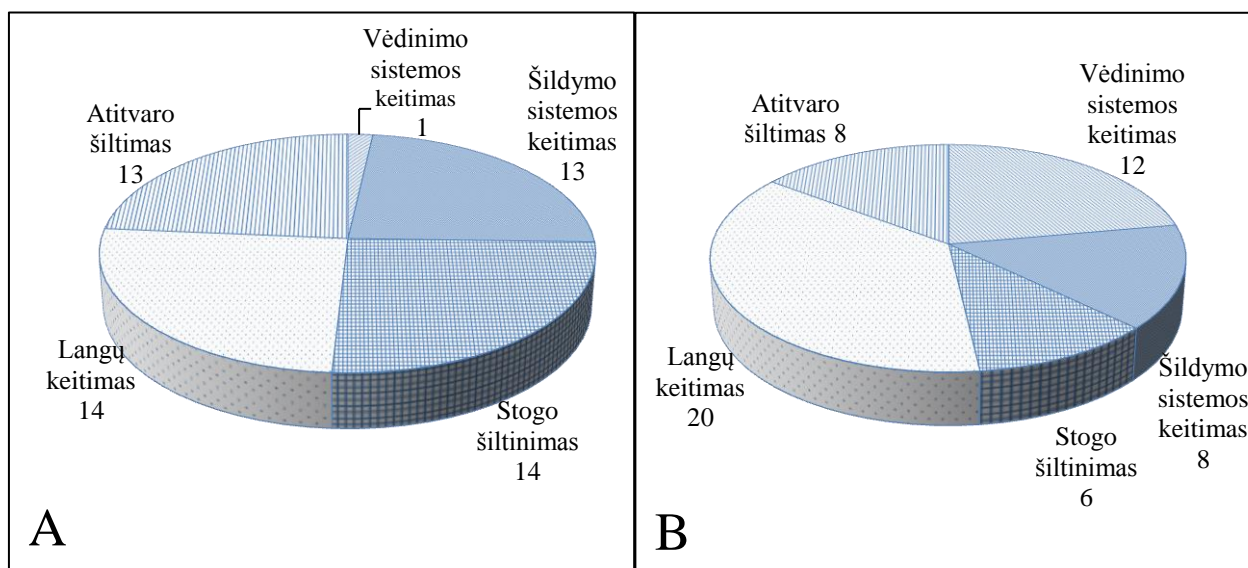
Nakties laikotarpio (foninės) aerozolio dalelių koncentracijos buvo identifikuojamos atsižvelgiant, jog taršos šaltiniai daugiausia sklinda iš lauko aplinkos arba patalpose įrengtų prietaisų (pvz. oro drėkintuvai). Analizuojant fonines koncentracijas buvo apibrėžtas nakties laikotarpis nuo 23.00val. vakaro iki 6.00val. ryto. Atitinkamai dienos periodas laikytinas nuo 6.00val. ryto iki 23.00val. vakaro.

AD_{2,5} ir AD₁₀ koncentracijų santykis parodo dalelių pasiskirstymą pagal dydį. AD₁₀ koncentracijos padidėjimus patalpoje gali įtakoti mechaniniai sukėlėjai (pvz. dulkių siurbimas), o mažesnės AD_{2,5} gali būti susiformavę iš šiluminių šaltinių ar cheminių reakcijų metu su dujiniais teršalais.

2.2.2. Renovacijos lygmenų įvertinimas

Pastatai buvo suskirstyti pagal renovacijos lygius (0-2): Nulinis lygmuo priskiriamas tuomet, kai pastatas yra kontrolinis ir jame renovacija nėra atliekama. Pirmasis lygmuo atitinka renovuotą pastatą iš dalies, kai atnaujintos atskiros sistemos, pavyzdžiui, apšvietimo, šildymo ir vėdinimo įranga, arba keičiami langai. Antrasis lygmuo priskiriamas tuomet, kai pastatai kapitaliai renovuoti ir atnaujinimas apima visas efektyvaus energijos naudojimo priemones, vienu metu pagerinant kelias sistemas.

Suomijoje 29 pastatams atliktas atskirų sistemų atnaujinimas, o 9–iems atlikta visa apimanti renovacija. Po renovacijos energijos sąnaudos juose sumažėjo vidutiniškai 21 %. Lietuvoje dviejuose pastatuose atliktas atskirų sistemų atnaujinimas, o 13–ai pastatų buvo atlikta kapitalinė renovacija. Pastarosios grupės 12–oje daugiabučių, kuriuose buvo įrengta centralizuota šildymo sistema, energijos sąnaudų sumažėjimas kito nuo 30 iki 60 % (paveikslas 11).



Paveikslas 11. Pasiskirstymas pagal atliktos renovacijos darbus Lietuvoje (A) bei Suomijoje (B)

[44]

Dviejuose iš šių pastatų buvo įrengti saulės kolektoriai, karštam vandeniui ruošti. Trijuose pastatuose buvo įrengta individuali šildymo sistema, kuriuose energijos sunaudojimas sumažėjo apytiksliai 40 %. Iš dalies renovuotuose pastatuose pastebėtas 10 % energijos suvartojimo sumažėjimas [1].

2.3. Duomenų analizė

Statistinę patalpų oro kokybę įtakančių veiksnių duomenų analizė buvo atlikta pasitelkiant StatSoft „Statistica 7“ (duomenų analizės programinė įranga), Microsoft Office Excel (elektroninė duomenų skaičiuoklė) ir GUI „Origin 9“ (mokslinės grafikos ir duomenų analizės programinė įranga). Tyrimų metu apskaičiuoti šie pagrindiniai parametrai: mediana, geometrinis vidurkis, standartinis nuokrypis, aerozolio dalelių mažėjimo greitis bei kiti.

Tyrimo metu iš gautųjų aerozolio dalelių koncentracijų duomenų apskaičiuojamas vidurkis (x_{vid}) formule (1):

$$x_{vid} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Čia: n – imties elementų skaičius, kai duotoji imtis susideda iš elementų x_1, x_2, \dots, x_n .

Taip pat aktualu įvertinti standartinio nuokrypio (s) reikšmes, jos apskaičiuojamos pagal 2 ir 3 formules.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{vid})^2} \quad (2)$$

Čia: n – imties elementų skaičius;

x_{vid} – aerozolio dalelių koncentracijų vidurkis.

Tad kvadratinis nuokrypis iš imties dispersijos s^2 apskaičiuojamas formule (3):

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{vid})^2 \quad (3)$$

Aerozolio dalelių koncentracijos mažėjimo greitis (MG) apibūdina aerozolio dalelių koncentracijos padidėjimo maksimalią reikšmę tam tikru laiko momentu (t.y kreivės piko maksimalios reikšmės natūrinis logaritmas) $\ln(x_{max})$ ir reikšmę, po kurios koncentracijos išlieka sąlyginai pastovios $\ln(x_{past})$, apskaičiuojamas 4 formule:

$$MG = \frac{\ln x_{max} - \ln x_{past}}{t} \quad (4)$$

Čia t – laiko tarpas tarp piko maksimalios ir pastovios reikšmių, išreikštas valandomis.

Vidaus aplinkos kokybė vertinta: atliekant matavimus, lyginant rezultatus su reglamentais ir rekomendacijomis, bei stebint galimus pasikeitimus prieš ir po daugiabučių renovaciją. Jeigu

buvo įmanoma, vertinimas prieš ir po renovacijos kiekviename pastate buvo atliekamas tuo pačiu metų laiku.

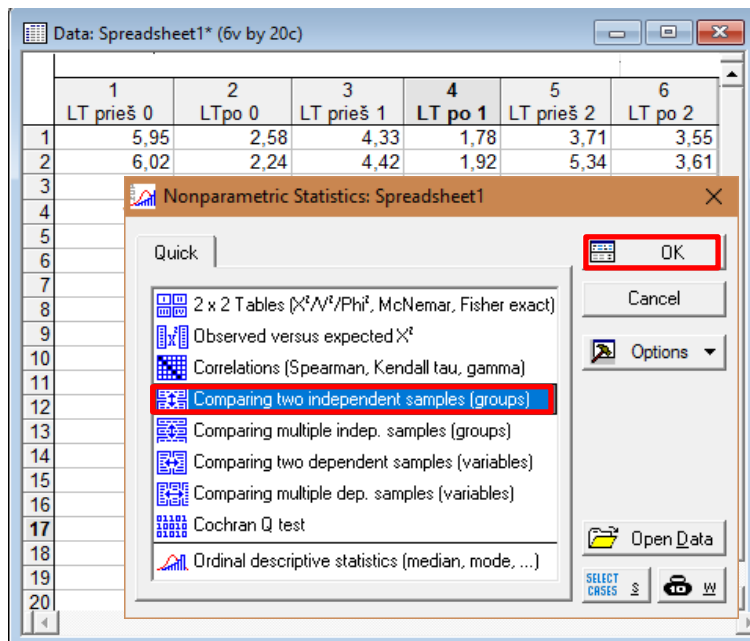
Tyrimo metu Lietuvoje tirtuose pastatuose vidutinė oro apykaitos vertė po renovacijos buvo sąlyginai mažesnė 0,32 (val^{-1}) nei prieš renovaciją 0,38 (val^{-1}). Kontroliniuose pastatuose vidutinė oro apykaitos vertė po daugiabučių renovacijos taip pat buvo mažesnė, todėl bent dalis šių skirtumų gali būti priskirti laikiniams veiksniams.

Suomijoje tiriamuosiuose pastatuose, kuriuose buvo įrengtas mechaninis vėdinimas, vidutinė oro apykaita po renovacijos buvo didesnė 0,48 (val^{-1}) nei prieš renovaciją 0,45 (val^{-1}), o tais atvejais, kai vėdinimas buvo natūralus, vidutinė oro apykaitos vertė prieš renovaciją ir po jos buvo įvertinta kaip nepakitusi.

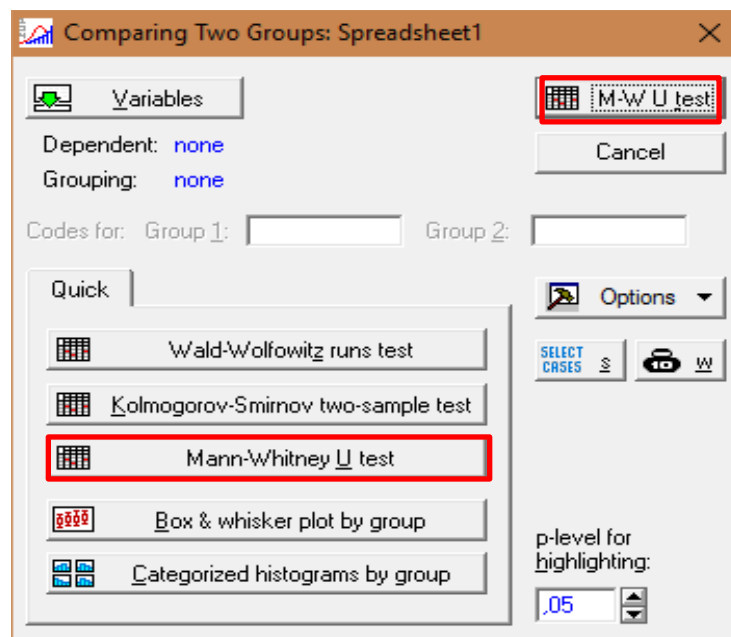
Analizei tarp skirstinių buvo atliekamas Mann-Whitney testas, kuris taikomas kaip dviejų nepriklausomų imčių neparametrinio palyginimo testas. Mann-Whitney testo esmę sudaro: jungtiniai abiejų imčių duomenys, gauti testuojant tuo pačiu testu, išdėstomi pagal rangus. Tada kiekvienos imties rangai (gauti ranguojant jungtinius duomenis) sumuojami atskirai. Jeigu teisinga nulinė hipotezė, t. y. kintamųjų skirstiniai vienodi, rangai bus pasiskirstę tarp grupių atsitiktiniu būdu.

Statistiškai reikšmingas skirtumas tarp analizės duomenų, (toliau – p vertė) gali turėti skaitinę reikšmę nuo 0 iki 1.0. Tai yra statistinis vienetas, skirtas įvertinti statistinį išvados stiprumą. P vertė yra tikimybė, jog stebimas efekto dydis yra atsitiktinis. Kuo mažesnė p reikšmė – tuo mažesnė tikimybė, jog rodomas efektas yra atsitiktinis. Jeigu $p=0,01$ reiškia, kad yra 1% tikimybė, jog rodomas rezultatas yra klaidingai teigiamas. Jeigu $p < 0,05$, rezultatas laikomas neatsitiktiniu ir statistiškai reikšmingu. Minėtosios vertės pasirinkimas priklauso nuo tyrimo tipo. Žemos p reikšmės gali būti pasiektos, kai tarp dviejų tiriamųjų grupių egzistuoja išties didelis skirtumas [45].

Žemiau pateiktuose paveiksluose 12 ir 13 atvaizduojami parametrai, kurių pasekoje yra apskaičiuojami statistiškai reikšmingi skirtumai tarp skirstinių naudojantis StatSoft „Statistica 7“ programine įranga.



Paveikslas 12. Dviejų nepriklausomų parametru palyginimas naudojantis Statistica 7 programine įranga



Paveikslas 13. Mann-Whitney U testo parinkimo principas

Kiekvienos imties rangų sumos pagrindu skaičiuojama Mann-Whitney kriterijaus statistika, kuria remiantis priimamas sprendimas dėl statistinės hipotezės ar kintamųjų skirstiniai yra vienodi, ar tokie nėra. Daroma išvada, kad yra statistiškai reikšmingas skirtumas, kai p vertė mažesnė už 0,05 ir atvirkščiai, kai p vertė didesnė – statistiškai reikšmingo skirtumo nėra.

3. REZULTATAI

3.1 Aerozolio dalelių koncentracijos Lietuvoje ir Suomijoje prieš ir po pastatų renovaciją

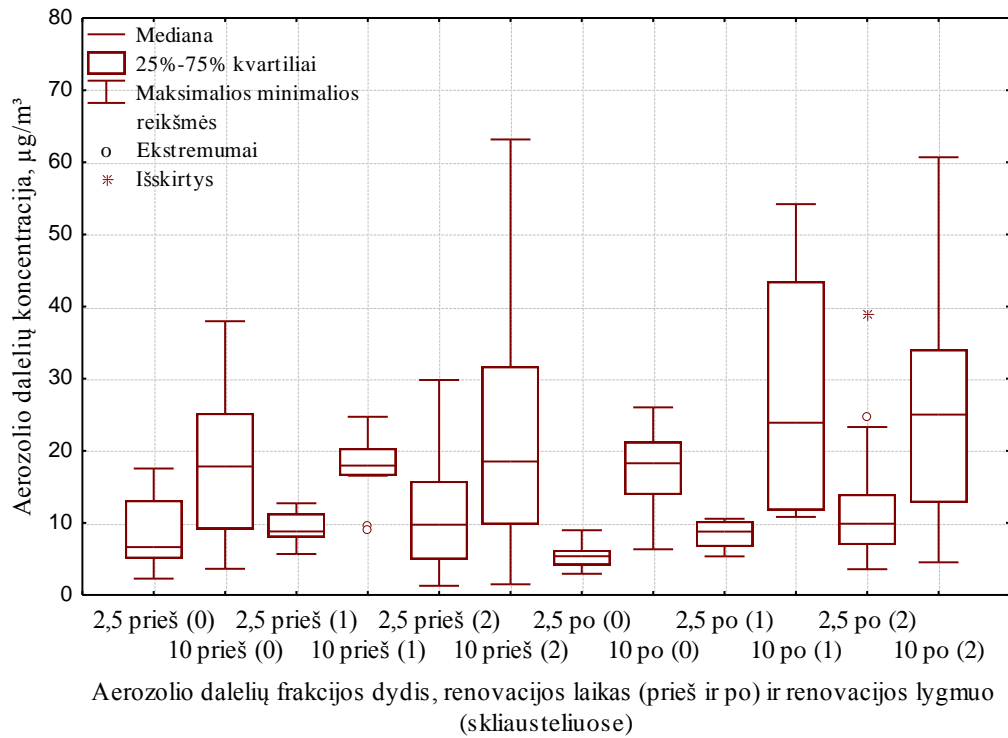
Atlikus analizę buvo įvertinta skirtingų dydžių aerozolio dalelių koncentracijos patalpose (AD_{vidus}) bei išorės aplinkoje ($AD_{\text{išorė}}$). Nustatyta, jog skirtingų dalelių dydžio frakcijos tiek lauko tiek patalpų ore neviršija rekomenduotinių koncentracijų verčių. Taip pat nustatyta, jog nėra statistiškai reikšmingo skirtumo tarp $AD_{2,5}$ ir AD_{10} . Lentelėje 4 pateikiama informacija apie pagrindinius aerozolio dalelių koncentracijų parametrus prieš renovaciją Lietuvoje bei Suomijoje.

Nustatytos santykinai mažesnės AD_{10} dalelių koncentracijos po renovacijos išorės aplinkoje lyginant su tos pačios frakcijos koncentracijomis prieš renovaciją Lietuvoje. $AD_{2,5_vidus_prieš}$ bei $AD_{2,5_vidus_po}$ vidutinės koncentracijos išliko pastovios, tačiau $AD_{10_vidus_prieš}$ bei $AD_{10_vidus_po}$ koncentracijų vidurkiai ženkliai padidėjo. Tam įtakos galėjo turėti individuali veikla patalpose, oro mainai tarp aplinkos ir išorės dažnai vėdinant kambarius ar pan. Lentelėje 4 pateikiami aerozolio dalelių koncentracijų parametrai prieš ir po renovacijos Lietuvoje ir Suomijoje.

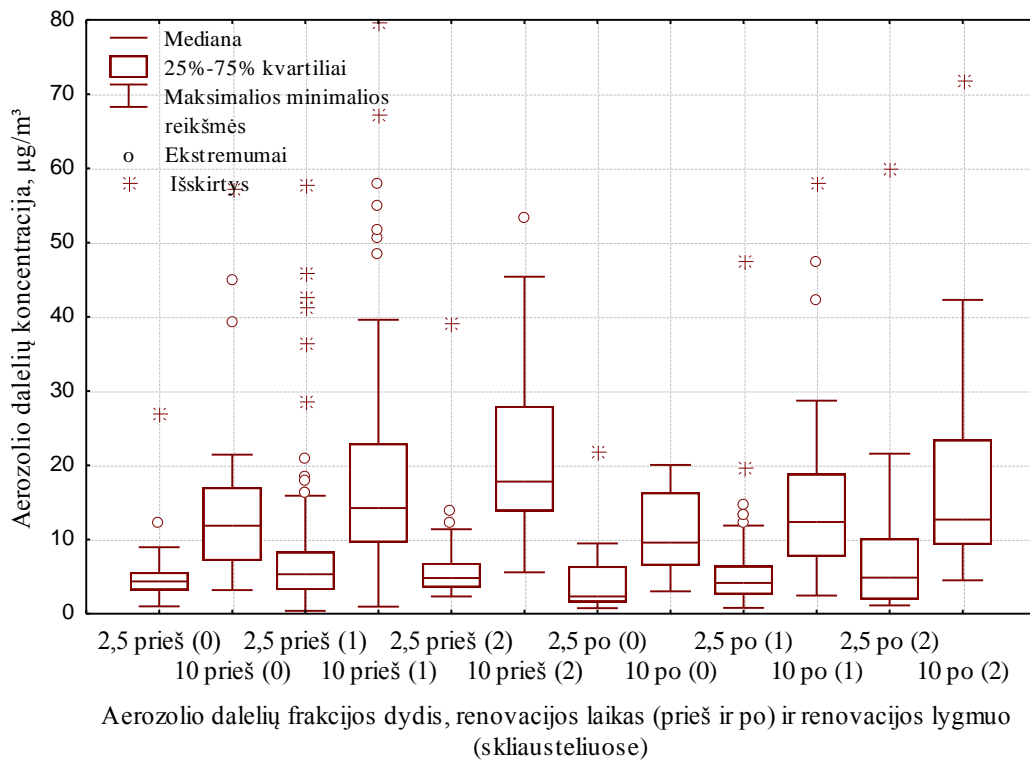
Įvertinant aerozolio dalelių koncentracijas Suomijoje nustatyta, jog yra statistiškai reikšmingas skirtumas tarp AD_{10} koncentracijos verčių prieš renovaciją jų patalpose bei AD_{10} po jos (p vertė lygi 0,01). Lyginant šiuos duomenis su Lietuvoje gautais tyrimo rezultatais, statiškai reikšmingas skirtumas neužfiksuotas (p vertė lygi 0,06). Tam įtakos galėjo turėti sąlyginai aukštos AD_{10} koncentracijų vertės patalpose prieš renovaciją (taip pat daugeliu atveju – ir po renovacijos). Lietuvoje AD_{10} koncentracijų vidurkis prieš renovaciją išliko mažesnis (35%) lyginant su šios frakcijos dalelių koncentracijomis po renovacijos. Tam įtakos galėjo turėti individuali namų veikla ar išorės aplinkos įtaka.

Lentelė 4. Pagrindiniai aerozolio dalelių koncentracijų ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) parametrai prieš ir po renovacijos Lietuvoje ir Suomijoje

LIETUVA						
Parametras	Vidurkis	Standartinis nuokrypis	Mediana	5,0 procentilis	95,0 procentilis	p vertė
AD _{2,5} _vidus_prieš	12,44	14,71	9,17	2,81	26,95	0,07
AD _{2,5} _vidus_po	12,75	14,50	9,87	4,52	23,70	
AD _{2,5} _išorė_prieš	21,01	15,80	18,11	2,98	48,93	0,05
AD _{2,5} _išorė_po	19,76	6,88	20,48	9,83	29,61	
AD ₁₀ _vidus_prieš	22,44	19,76	18,50	6,67	47,59	0,06
AD ₁₀ _vidus_po	30,44	25,75	24,79	7,99	77,35	
AD ₁₀ _išorė_prieš	34,26	33,78	25,99	5,05	81,94	0,14
AD ₁₀ _išorė_po	30,06	15,24	29,18	13,97	46,28	
SUOMIJA						
AD _{2,5} _vidus_prieš	8,34	14,65	5,25	1,89	22,44	0,09
AD _{2,5} _vidus_po	8,46	17,71	4,29	1,40	18,39	
AD _{2,5} _išorė_prieš	8,26	7,55	6,02	1,85	21,00	0,05
AD _{2,5} _išorė_po	6,92	6,10	5,47	1,12	1,12	
AD ₁₀ _vidus_prieš	21,95	27,25	14,56	5,62	53,60	0,01
AD ₁₀ _vidus_po	17,81	21,12	12,37	4,64	45,80	
AD ₁₀ _išorė_prieš	22,96	21,96	16,68	4,22	70,91	0,12
AD ₁₀ _išorė_po	19,33	21,52	13,23	2,52	10,38	



Paveikslas 14. Aerosolio dalelių koncentracijos kitimai Lietuvoje pagal renovacijos lygius



Paveikslas 15. Aerosolio dalelių koncentracijos kitimai Suomijoje pagal renovacijos lygius

Įvertinus gautus tyrimo rezultatus nustatyta, jog didžiausias koncentracijų verčių intervalas užfiksuotas $\text{AD}_{2,5}$ frakcijai: nuo 1 iki $118 \mu\text{g}/\text{m}^3$ prieš renovaciją ir nuo 3 iki $108 \mu\text{g}/\text{m}^3$

po renovacijos. Nors ir daugeliui šių pastatų atlikta pilna renovacija, tačiau minėtiems dydžiams statistiškai reikšmingas skirtumas nerastas (p vertė 0,07).

Suomijoje nustatyta, jog didžiausias koncentracijų verčių intervalas užfiksuotas AD₁₀ frakcijai patalpose: nuo 2 iki 210 µg/m³ prieš renovaciją ir po atliktos dalinės renovacijos 2 iki 110 µg/m³. Šios koncentracijų vertės yra statistiškai reikšmingos (p vertė 0,01). Tokiems pokyčiams įtakos galėjo turėti mechaninės ventiliacijos įrengimas pastatuose.

3.2. Aerosolio dalelių mažiausių ir didžiausių koncentracijų įvertinimas

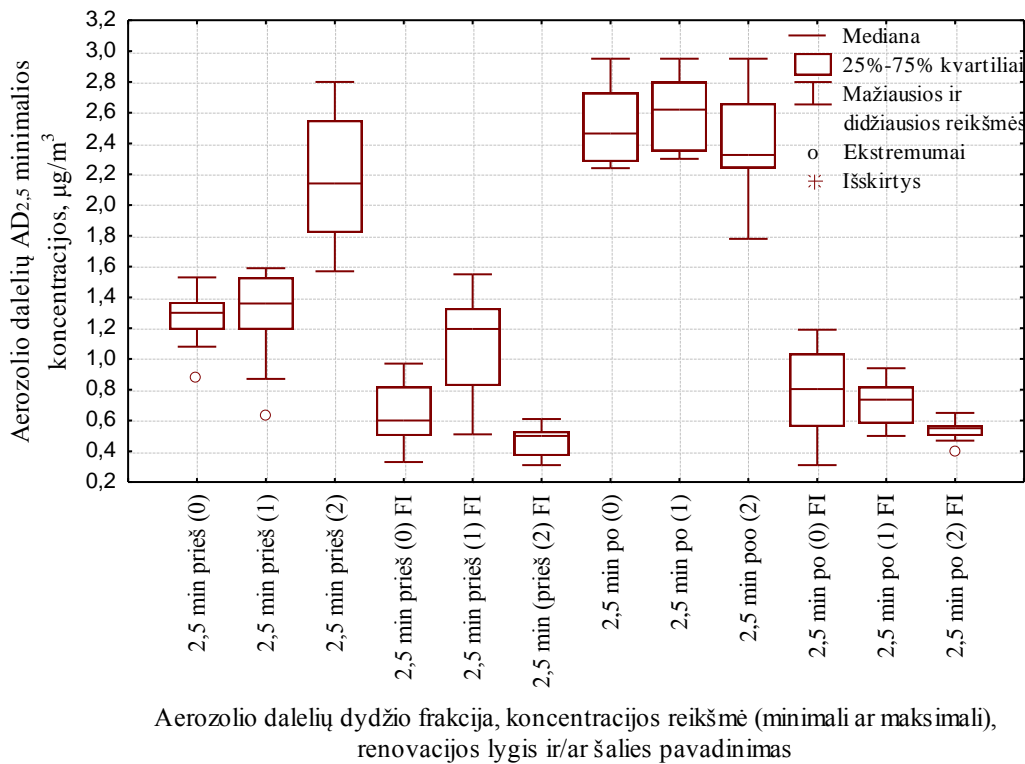
Įvertinant AD_{2,5} ir AD₁₀ mažiausias ir didžiausias reikšmes, buvo paimamos po dešimt šių frakcijų verčių iš visos imties. Šiuo atžvilgiu buvo siekiama palyginti ir išanalizuoti dalelių pasiskirstymą prieš renovaciją ir po jos. Statistinė analizė buvo atliekama naudojant neparametrinį „Mann–Whitney“ testą. Jo metu nustatyta, jog yra statistiškai reikšmingas skirtumas (0,01) tarp minimalių ir maksimalių reikšmių Lietuvoje.

Didžiausių analizei atrinktų koncentracijų vertės Lietuvoje kito: prieš renovaciją AD_{2,5} nuo 17 iki 119 µg/m³, AD₁₀ nuo 33 iki 147 µg/m³, o po renovacijos AD_{2,5} kito nuo 13 iki 108 µg/m³ bei AD₁₀ nuo 37 iki 139 µg/m³. Įvertinant didžiausias koncentracijas Suomijoje, nustatyta: prieš renovaciją AD_{2,5} nuo 16 iki 156 µg/m³, AD₁₀ nuo 45 iki 210 µg/m³, o po renovacijos AD_{2,5} kito nuo 11 iki 106 µg/m³ bei AD₁₀ nuo 25 iki 164 µg/m³.

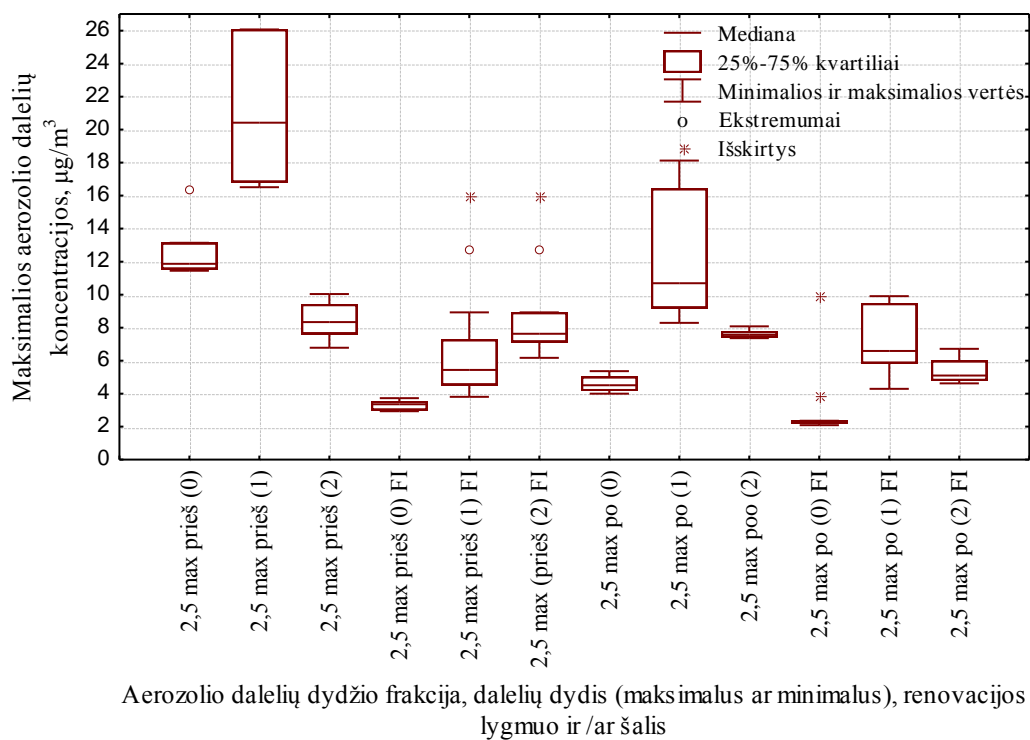
Maži frakcijų santykiai identifikuoja smulkiųjų aerosolio dalelių generavimo šaltinių nebuvimą arba stipresnį stambesnių dalelių šaltinių generavimą patalpose. Tuo pačiu metu didesnis frakcijų santykis nustato smulkiųjų aerosolio dalelių generavimo veiklas, daugiausiai terminius procesus patalpose (t.y. maisto kepimas, žvakių deginimas, rūkymas) arba transporto sukeltos taršos aerosolio dalelėmis patekimą į gyvenamąją aplinką.

Lentelė 5. Mažiausių ir didžiausių aerozolio dalelių koncentracijų ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) parametrai

LIETUVA						
Parametras	Vidurkis	Standartinis nuokrypis	Mediana	5,0 procentilis	95,0 procentilis	p vertė
AD _{2,5_min_prieš}	2,91	0,83	3,02	1,55	3,97	0,00
AD _{2,5_min_po}	4,68	0,80	4,64	3,36	5,54	
AD _{10_min_prieš}	6,17	2,03	6,75	2,88	8,19	0,02
AD _{10_min_po}	9,12	2,10	10,01	5,71	11,26	
AD _{2,5_max_prieš}	30,25	25,74	24,10	17,90	60,91	0,23
AD _{2,5_max_po}	36,67	47,12	17,20	13,97	132,02	
AD _{10_max_prieš}	52,46	30,32	40,32	33,44	99,64	0,11
AD _{10_max_po}	67,14	41,81	50,81	37,41	142,77	
SUOMIJA						
AD _{2,5_min_prieš}	1,73	0,45	1,85	0,99	2,30	0,49
AD _{2,5_min_po}	40,42	35,95	32,67	16,14	92,62	
AD _{10_min_prieš}	4,61	1,74	5,40	1,69	6,30	0,52
AD _{10_min_po}	87,42	56,33	57,52	47,34	193,76	
AD _{2,5_max_prieš}	1,32	0,25	1,40	0,77	1,52	0,39
AD _{2,5_max_po}	28,43	27,88	14,90	11,63	78,78	
AD _{10_max_prieš}	4,28	0,89	4,64	2,81	5,13	0,45
AD _{10_max_po}	60,95	40,45	44,81	27,26	131,00	



Paveikslas 16. Aerolio dalelių minimalių reikšmių palyginimas pagal renovacijos lygius abiejose šalyse



Paveikslas 17. Aerolio dalelių minimalių reikšmių palyginimas abiejose šalyse su renovacijos lygiais

Mažiausios analizei atrinktos koncentracijų vertės Lietuvoje: prieš renovaciją $AD_{2,5}$ nuo 1 iki $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, AD_{10} nuo 8 iki $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o po renovacijos $AD_{2,5}$ kito nuo 2 iki $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei AD_{10} nuo 4 iki $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Įvertinant mažiausias koncentracijas Suomijoje, nustatyta: prieš renovaciją $AD_{2,5}$ nuo 1 iki $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, AD_{10} nuo 1 iki $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o po renovacijos $AD_{2,5}$ kito nuo 0,5 iki $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei AD_{10} nuo 2 iki $5,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Didžiausios koncentracijų vertėms abejoms dalelių frakcijoms įtakos galėjo turėti ilgesnis dalelių išbuvimo ir reakcijos laikas uždaroje patalpose dėl sandaresnio pastato atitvaro, bei kai kuriais atvejais dėl didesnės išorės oro taršos įtakos, taip pat patalpų vėdinimu žiemos periodo laiku dėl padidėjusios patalpų temperatūros po pastato atnaujinimo.

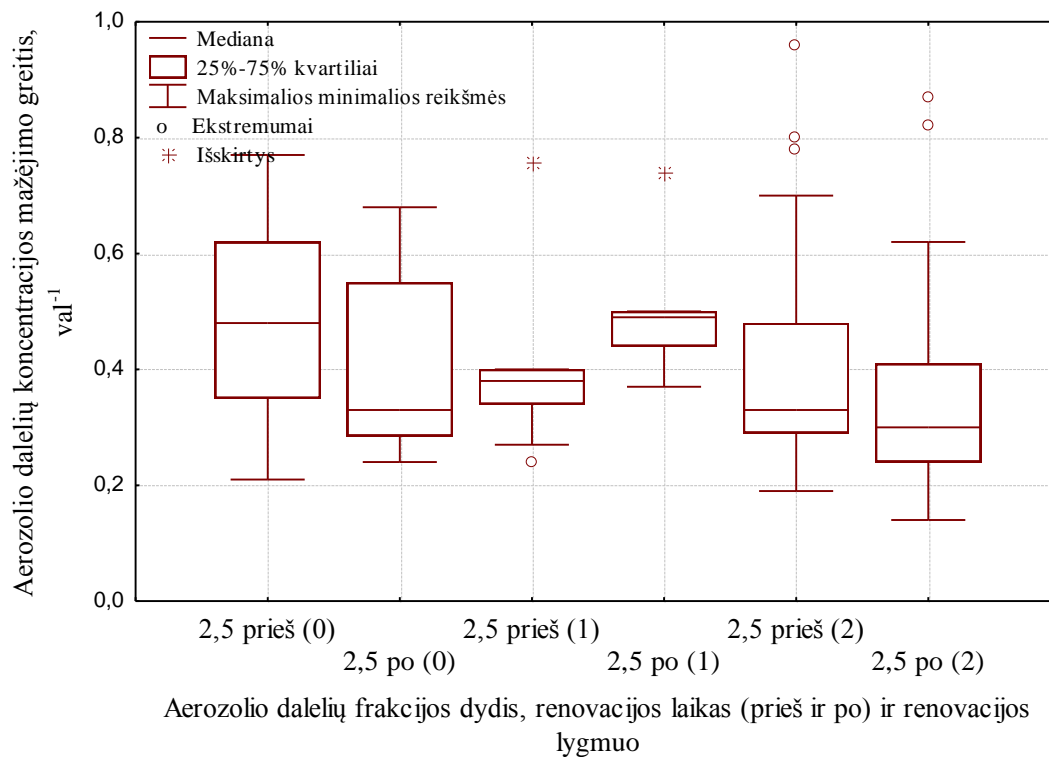
Įvertinus šias aerozolio dalelių koncentracijų vertes nustatyta, jog yra statistiškai reikšmingas skirtumas minimalių $AD_{2,5}$ koncentracijos verčių prieš renovaciją Lietuvoje ir po renovacijos (p vertė lygi 0,00). Tai pat statiškai reikšmingas skirtumas rastas AD_{10} frakcijos minimalių koncentracijų verčių prieš ir po atliktos renovacijos (p vertė lygi 0,02).

3.3. Aerozolio dalelių koncentracijos laike mažėjimo greičio įvertinimas

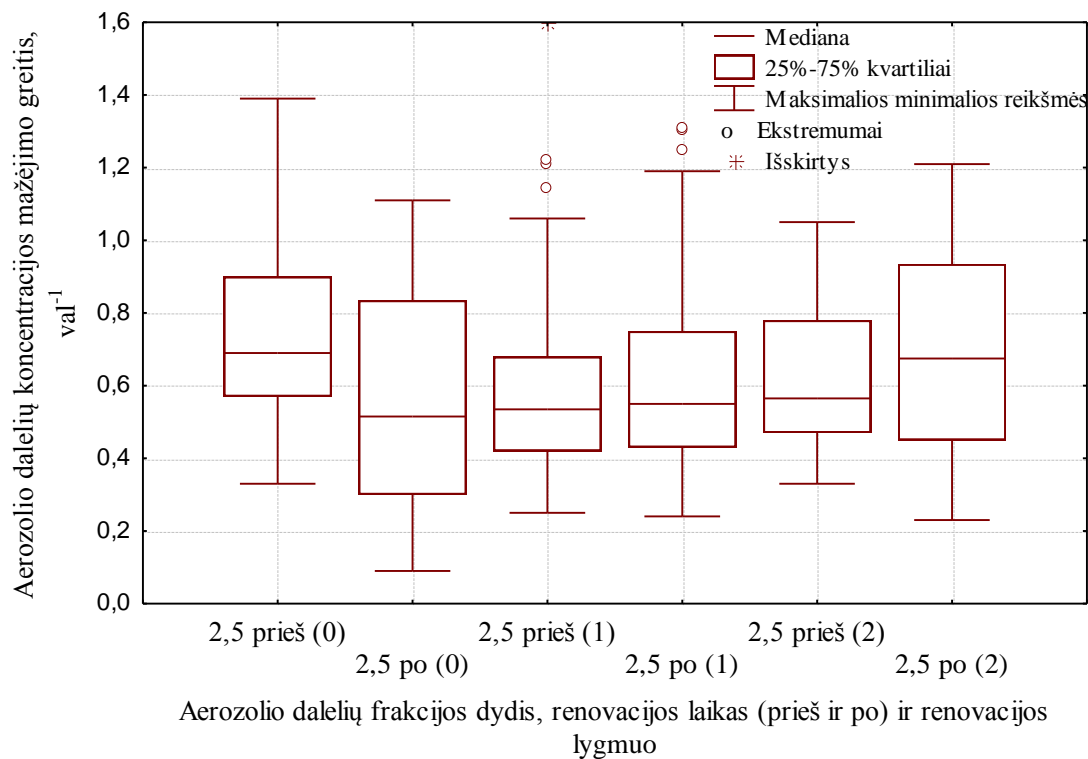
Rezultatams įvertinti buvo pasirenkami mažiausi ir didžiausi dalelių mažėjimo greičiai abiejose šalyse, įvertinant duomenis prieš renovaciją ir po jos, tuose pačiuose butuose (paveikslas 18). Iš dešimties minimalių Lietuvoje atrinktų butų, nustatyta, jog 80% šių butų buvo atlikta pilna renovacija. Lyginant su Suomijos atrinktais duomenimis, mažiausi dalelių mažėjimo greičiai užfiksuoti visuose dalinės renovacijos butuose. Manoma, jog aerozolio dalelių koncentracijos greitis yra vienas iš reprezentatyviausių veiksnių, kuris įvertina pastatų atnaujinimo įtaką patalpų aerozolio dalelių koncentracijoms [4].

Lentelė 6. Aerozolio dalelių koncentracijos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) mažėjimo greičių pagrindiniai parametrai Lietuvoje ir Suomijoje

LIETUVA						
Parametras	Vidurkis	Standartinis nuokrypis	Mediana	5,0 procentilis	95,0 procentilis	p vertė
$AD_{2,5_prieš_vidus}$	0,42	0,16	0,32	0,18	0,66	0,31
$AD_{2,5_po_vidus}$	0,35	0,19	0,34	0,22	0,77	
SUOMIJA						
$AD_{2,5_prieš_vidus}$	0,59	0,22	0,56	0,30	0,92	0,49
$AD_{2,5_po_vidus}$	0,64	0,25	0,56	0,29	1,12	



Paveikslas 18. Aerolio dalelių koncentracijos mažėjimo greitis Lietuvoje įvertinant renovacijos lygius



Paveikslas 19. Aerolio dalelių koncentracijos mažėjimo greitis Suomijoje įvertinant renovacijos lygius

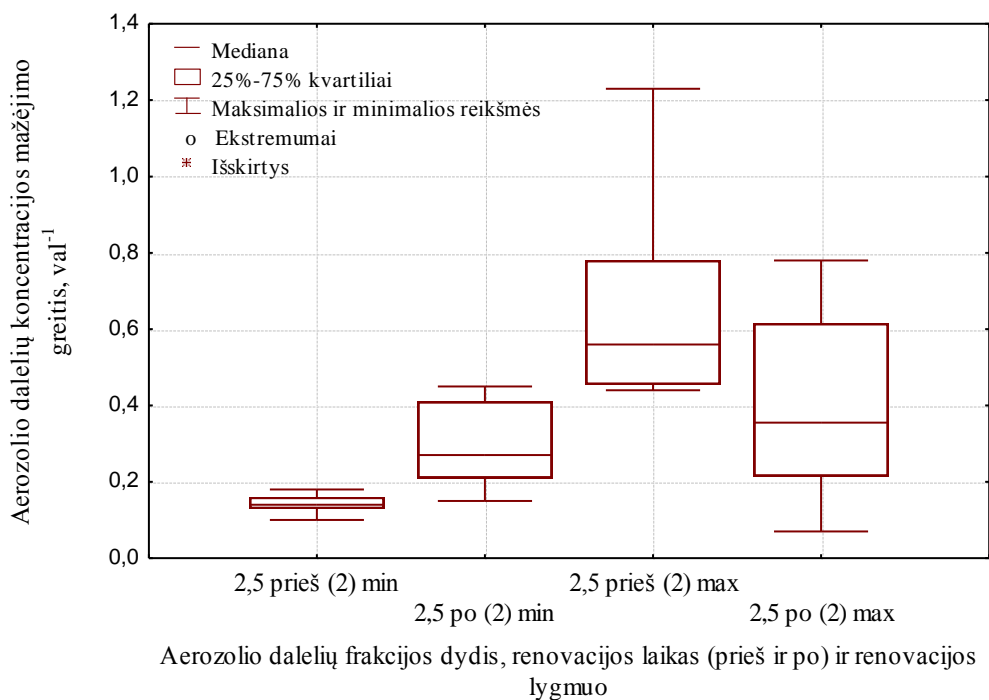
Įvertinant didžiausias dalelių mažėjimo vertes Lietuvoje, 80% butų buvo atlikta pilna renovacija, o Suomijoje – 60% butų su dalinai atlikta renovacija. Taip pat svarbu paminėti, jog įvertinant didžiausias reikšmes Suomijoje į analizę patenka 30% kontrolinių (nerenovuotų) butų reikšmių. Pavyzdžiui, vertinant pilnai renovuotą butą Suomijoje (Nr. 45_8) prieš renovaciją ir po – gauti dalelių mažėjimo greičiai atitinkamai lygūs 0,89 ir 0,36 val.⁻¹, o nerenuoto (12_5) rezultatai gauti 0,91 bei 0,61 val.⁻¹. Pagal šių rezultatų duomenimis galima teigti, jog ir nerenuotų pastatų dalelių mažėjimo greitis gali būti maksimaliai didelis lyginant su pilnai renovuotais pastatais (kai kuriais atvejais ir didesnis).

Išanalizavus visų daugiabučių pastatų butų Lietuvoje aerozolio dalelių mažėjimo greičius, nustatyta jog statistiškai reikšmingas skirtumas (0,31) tarp AD_{2,5} maksimalaus mažėjimo greičio prieš renovaciją ir maksimalaus dalelių mažėjimo greičio po renovacijos. Atitinkamai Suomijoje šis reikšmingas skirtumas lygus 0,49. Lentelėje 7 pateikti pagrindiniai minimalių ir maksimalių dalelių mažėjimo greičių įverčiai vertinant analizę prieš renovaciją ir po jos.

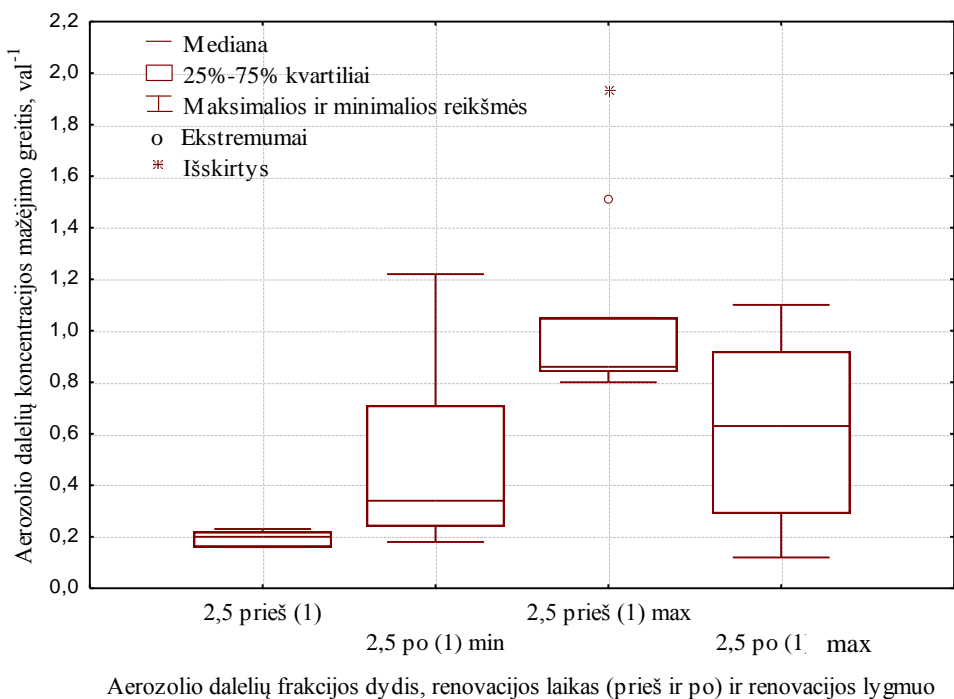
Todėl analizei buvo pasirinkta įvertinti minimalias ir maksimalias koncentracijų mažėjimo greičio vertes Lietuvoje bei Suomijoje (lentelė 7). Nustatyti statistiškai reikšmingi skirtumai minimalių AD_{2,5} koncentracijų verčių prieš renovaciją ir po jos tiek Lietuvoje, tiek Suomijoje – p vertės abejais atvejais lygios 0,00. Maksimalios šios frakcijos dalelių dydžių koncentracijos po renovacijos taip pat statistiškai reikšmingos abejais atvejais: Lietuvoje 0,01, o Suomijoje 0,03.

Lentelė 7. Pagrindinės minimalių ir maksimalių AD_{2,5} koncentracijų (µg/m³) dalelių mažėjimo greičių charakteristikos

LIETUVA						
Parametras	Vidurkis	Standartinis nuokrypis	Mediana	5,0 procentilis	95,0 procentilis	p vertė
AD _{2,5_min_prieš}	0,11	0,03	0,11	0,05	0,14	0,00
AD _{2,5_min_po}	0,27	0,09	0,30	0,16	0,41	
AD _{2,5_max_prieš}	0,63	0,24	0,55	0,44	1,06	0,01
AD _{2,5_max_po}	0,37	0,23	0,32	0,14	0,76	
SUOMIJA						
AD _{2,5_min_prieš}	0,21	0,02	0,21	0,18	0,25	0,00
AD _{2,5_min_po}	0,51	0,25	0,38	0,29	0,94	
AD _{2,5_max_prieš}	0,82	0,10	0,83	0,67	0,94	0,03
AD _{2,5_max_po}	0,65	0,25	0,61	0,32	0,98	



Paveikslas 20. Aerolio dalelių mažėjimo greičių parametrai Lietuvoje, įvertinant renovacijos lygius



Paveikslas 21. Aerolio dalelių mažėjimo greičių parametrai Suomijoje įvertinant renovacijos lygius

Nustatyta, jog įvertinant aerozolio dalelių mažėjimo greičius Lietuvoje ir Suomijoje, sąlyginai mažesnės minėtosios vertės pastebimos dalinai renovuotuose pastatuose. Taip pat iš gautų rezultatų galima daryti prielaidą, jog prieš renovaciją $AD_{2,5}$ minimalios ir maksimalios vertės turi daugiau ekstremumų su nutolusiomis vertėmis nuo duomenų centro.

Analizei įvertinti buvo pasirinktas vienodas kiekis mažiausių bei didžiausių $AD_{2,5}$ koncentracijų verčių prieš renovaciją ir po jos Lietuvoje bei Suomijoje (palyginimas atliktas 10-čiai koncentracijų verčių).

Nustatyta, jog 80% ir minimalių, ir maksimalių $AD_{2,5}$ mažėjimo greičio verčių yra aptinkamos pilnai renovuotuose butuose Lietuvoje. Išanalizavus $AD_{2,5}$ dalelių mažėjimo greitį Suomijoje įvertinta, jog minimalios reikšmės užfiksuotos visuose butuose, kuriuose atlikta dalinė renovacija. Taip pat nustatyta, jog maksimalios reikšmės rastos 30% butų, kuriuose renovacija nebuvo atlikta, 10% – dalinė renovacija, o 60% – pilnai renovuoti butai.

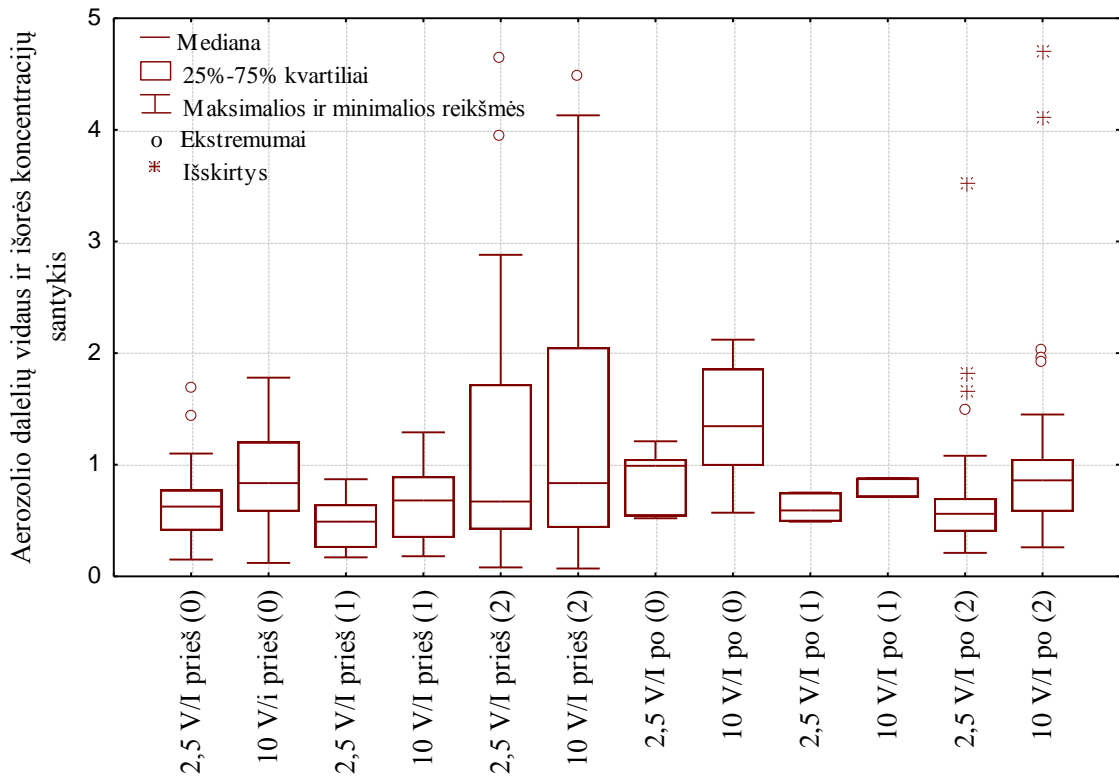
3.4. Aerozolio dalelių Vidus/Išorė santykio įvertinimas

Siekiant nustatyti, kaip patalpų oras yra įtakotas išorinės aplinkos, buvo įvertinamos skirtingų aerozolio dalelių koncentracijų frakcijos, lyginant jas patalpose ir išmatuotas išorėje. Nustatyta, jog didžiausi santykiai Lietuvoje yra pastatuose, kuriuose yra atlikta pilna renovacija (80% butų). Didžiausių analizei atrinktų santykių vertės Lietuvoje kito: prieš renovaciją $AD_{2,5}$ nuo 1 iki 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, AD_{10} nuo 2 iki 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o po renovacijos $AD_{2,5}$ kito nuo 0,5 iki 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei AD_{10} nuo 0,9 iki 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. O Suomijoje šie dydžiai kito: prieš renovaciją $AD_{2,5}$ nuo 2 iki 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, AD_{10} nuo 4 iki 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o po renovacijos $AD_{2,5}$ kito nuo 2 iki 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei AD_{10} nuo 2 iki 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nustatytas statistiškai reikšmingas skirtumas tarp minimalių ir maksimalių santykių $AD_{2,5}$ ir AD_{10} Lietuvoje (atitinkamai p vertės lygios 0,01 ir 0,02). Lentelėje 9 pateikiami pagrindiniai koncentracijų santykiai tarp patalpų ir išorinės aplinkos.

Tuo tarpu mažiausių analizei atrinktų santykių vertės Suomijoje kito: prieš renovaciją $AD_{2,5}$ nuo 0,08 iki 0,47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, AD_{10} nuo 0,1 iki 0,48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o po renovacijos $AD_{2,5}$ kito nuo 0,28 iki 0,53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei AD_{10} nuo 0,2 iki 0,53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Lietuvoje šie dydžiai kito: prieš renovaciją $AD_{2,5}$ nuo 0,08 iki 0,43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, AD_{10} nuo 0,07 iki 0,47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o po renovacijos $AD_{2,5}$ kito nuo 0,21 iki 0,48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei AD_{10} nuo 0,26 iki 0,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Paveiksluose 22-23 pavaizduoti renovacijos lygiai šiems skirtingiems aerozolio dalelių frakcijų santykiams.

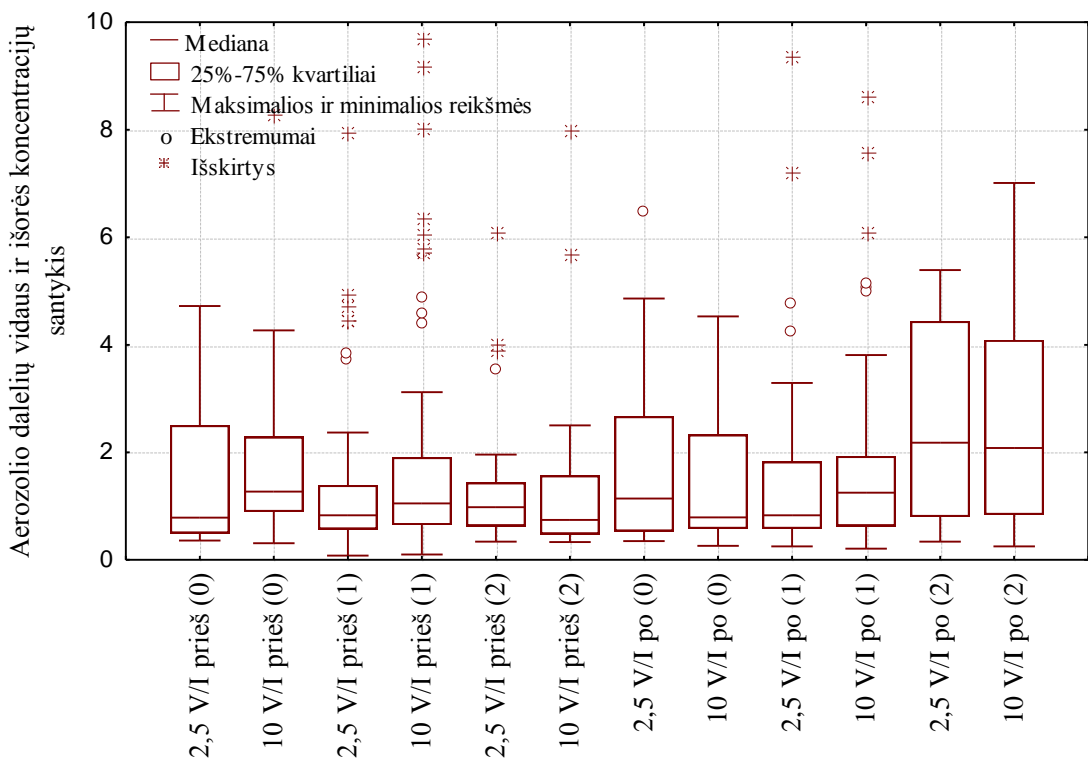
Lentelė 8. Pagrindiniai aerozolio dalelių vidus/išorė santykių parametrai

LIETUVA						
Parametras	Vidurkis	Standartinis nuokrypis	Mediana	5,0 procentilis	95,0 procentilis	p vertė
AD _{2,5_V/I_prieš}	1,31	2,62	0,63	0,15	2,83	
AD _{2,5_V/I_po}	0,87	1,22	0,57	0,28	1,91	0,01
AD _{10_V/I_prieš}	1,60	2,42	0,80	0,15	5,45	0,03
AD _{10_V/I_po}	1,14	1,11	0,87	0,34	4,16	
AD _{2,5_V/I_min_prieš}	0,26	0,12	0,25	0,10	0,43	0,03
AD _{2,5_V/I_min_po}	0,38	0,08	0,39	0,25	0,48	
AD _{10_V/I_min_prieš}	0,27	0,12	0,32	0,12	0,40	0,45
AD _{10_V/I_min_po}	0,50	0,15	0,54	0,29	0,69	
AD _{2,5_V/I_max_prieš}	3,15	4,47	2,06	0,77	7,05	0,85
AD _{2,5_V/I_max_po}	1,51	1,64	0,99	0,67	4,13	
AD _{10_V/I_max_prieš}	4,30	3,44	3,33	1,80	7,65	0,43
AD _{10_V/I_max_po}	1,99	1,37	1,44	0,98	4,84	
SUOMIJA						
AD _{2,5_V/I_prieš}	1,74	3,37	0,85	0,35	4,76	0,13
AD _{2,5_V/I_po}	2,73	6,04	0,91	0,31	10,38	
AD _{10_V/I_prieš}	2,14	3,80	0,99	0,32	8,01	0,45
AD _{10_V/I_po}	2,52	3,46	1,27	0,32	10,44	
AD _{2,5_V/I_min_prieš}	0,36	0,10	0,38	0,16	0,46	0,01
AD _{2,5_V/I_min_po}	0,38	0,09	0,40	0,25	0,53	
AD _{10_V/I_min_prieš}	0,33	0,09	0,35	0,19	0,45	0,05
AD _{10_V/I_min_po}	0,38	0,11	0,39	0,23	0,53	
AD _{2,5_V/I_max_prieš}	7,71	6,82	4,60	3,24	21,35	0,22
AD _{2,5_V/I_max_po}	10,72	12,23	5,35	2,96	38,61	
AD _{10_V/I_max_prieš}	9,40	7,07	7,18	4,54	24,89	0,17
AD _{10_V/I_max_po}	8,43	4,95	6,77	3,79	16,57	



Aerolio dalelių frakcijos dydis, renovacijos laikas (prieš ir po) ir renovacijos lygmuo

Paveikslas 22. Patalpų ir išorinės aplinkos maksimalių $AD_{2,5}$ santykių išsidėstymas pagal atliktos renovacijos lygmenis Lietuvoje



Aerolio dalelių frakcijos dydis, renovacijos laikas (prieš ir po) ir renovacijos lygmuo

Paveikslas 23. Patalpų ir išorinės aplinkos maksimalių $AD_{2,5}$ santykių išsidėstymas pagal atliktos renovacijos lygmenis Suomijoje

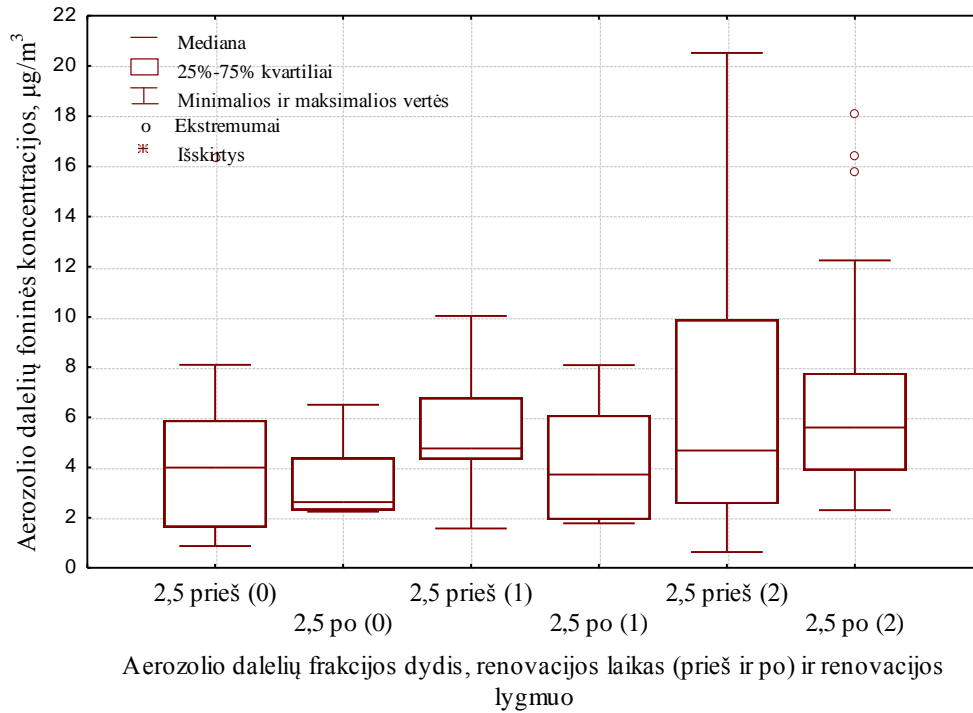
Nustatyta, jog yra statistškai reikšmingas skirtumas tarp $AD_{2,5}$ vidaus ir išorės koncentracijų reikšmių prieš ir po renovacijos Lietuvoje (p vertė lygi 0,01). Taip pat minimalios $AD_{2,5}$ bei AD_{10} koncentracijų vertės prieš ir po renovacijų yra statistškai reikšmingos – p vertės lygios atitinkamai 0,03. Išmatuotos $AD_{2,5}$ frakcijos V/I santykiai yra šiek tiek mažesni, palyginus su panašiais tyrimais [43]. Tai gali atskleisti didesnę išorės oro poveikį Lietuvos daugiabučių patalpų orui smulkiosiomis aerozolio dalelėmis dėl mažiau sandarių pastato atitvarų.

3.5. Aerozolio dalelių naktinių (foninių) koncentracijų daugiabučių patalpose įvertinimas

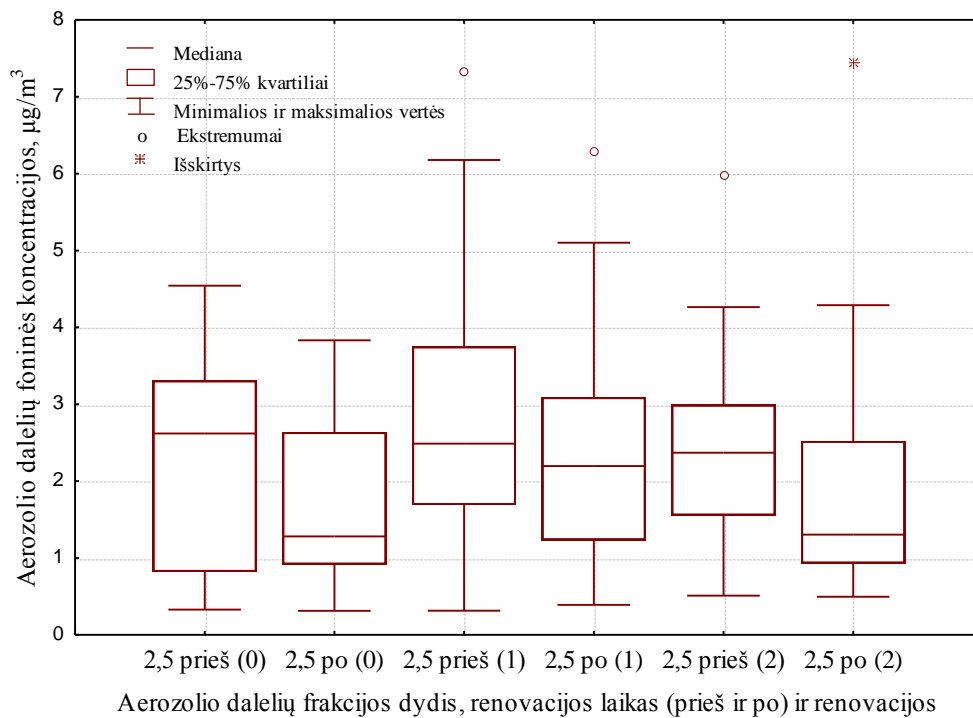
Įvertinus gautus rezultatus, nustatyta, jog 50% butų Lietuvoje, kuriose užfiksuotos minimalios $AD_{2,5}$ koncentracijos, buvo atlikta pilna pastato renovacija, tačiau pabrėžtina, jog likęs procentinis kiekis yra priskiriamas prie minimalių reikšmių kontroliniams (nerenovuotiems) pastatams Lietuvoje. Lentelėje 9 pateikiami pagrindiniai foniniai aerozolio dalelių koncentracijų parametrai.

Lentelė 9. Pagrindiniai foniniai aerozolio dalelių koncentracijų ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) parametrai

LIETUVA						
Parametras	Vidurkis	Standartinis nuokrypis	Mediana	5,0 procentilis	95,0 procentilis	p vertė
$AD_{2,5_prieš}$	6,60	6,56	0,43	6,02	7,33	0,23
$AD_{2,5_po}$	7,02	6,99	0,40	6,44	7,67	
$AD_{2,5_min_prieš}$	1,21	0,29	1,29	0,73	1,52	0,00
$AD_{2,5_min_po}$	2,39	0,37	2,33	1,85	2,88	
$AD_{2,5_max_prieš}$	23,17	17,43	17,69	12,44	51,03	0,04
$AD_{2,5_max_po}$	19,06	21,79	11,47	9,15	52,33	
SUOMIJA						
$AD_{2,5_prieš}$	4,12	4,10	0,32	3,65	4,63	0,09
$AD_{2,5_po}$	3,42	3,36	0,40	2,87	4,08	
$AD_{2,5_min_prieš}$	0,42	0,08	0,41	0,32	0,50	0,00
$AD_{2,5_min_po}$	0,46	0,09	0,48	0,32	0,59	
$AD_{2,5_max_prieš}$	19,39	31,39	8,65	7,31	66,80	0,01
$AD_{2,5_max_po}$	14,84	15,12	8,39	6,12	43,56	



Paveikslas 24. Pagrindiniai foninių koncentracijų parametrai, užfiksuoti Lietuvoje, lyginant su renovacijos lygiais



Paveikslas 25. Pagrindiniai foninių koncentracijų parametrai, užfiksuoti Suomijoje, lyginant su renovacijos lygiais

Naktinės (foninės) aerozolio dalelių koncentracijos buvo pasirinktos kaip indikatorius, kadangi nakties periodo metu aerozolio dalelių koncentracijų neįtakoja jokie aktyvūs taršos šaltiniai, sąlygoti žmonių veiklos, bei yra minimizuota išorės oro įtaka. Tokiu būdu galima identifikuoti paties buto ar pastato aerozolio dalelių foninius lygius. Lentelėje 9 pateikiami pagrindiniai foniniai (nakties laikotarpio) aerozolio dalelių koncentracijų parametrai.

Nustatyta, jog 30% butų Suomijoje, kuriuose užfiksuotos minimalios foninės $AD_{2,5}$ koncentracijos, buvo atlikta pilna pastato renovacija. Maksimalioms foninėms koncentracijos Lietuvoje užfiksuotos 10% nerenovuotiems pastatams (03_04 butas), o likusiųjų – pilnos renovacijos pastatams.

Suomijoje didžiausios foninės koncentracijos užfiksuotos 90% pastatų, kuriuose buvo atlikta nepilna, dalinė renovacija. Taip pat nustatytas statistikai reikšmingas skirtumas tarp foninių minimalių reikšmių prieš renovaciją ir po jos Lietuvoje bei Suomijoje (atitinkamai 0,02 ir 0,01). Taip pat šis statistikai reikšmingas skirtumas apibrėžiamas maksimalioms reikšmėms Suomijoje po renovacijos ir prieš renovaciją Lietuvoje (0,01). Paveiksle 24 pateikiami pagrindiniai parametrai nakties (foninių) koncentracijų, kurios buvo užfiksuotos Lietuvoje ir Suomijoje (paveikslas 25).

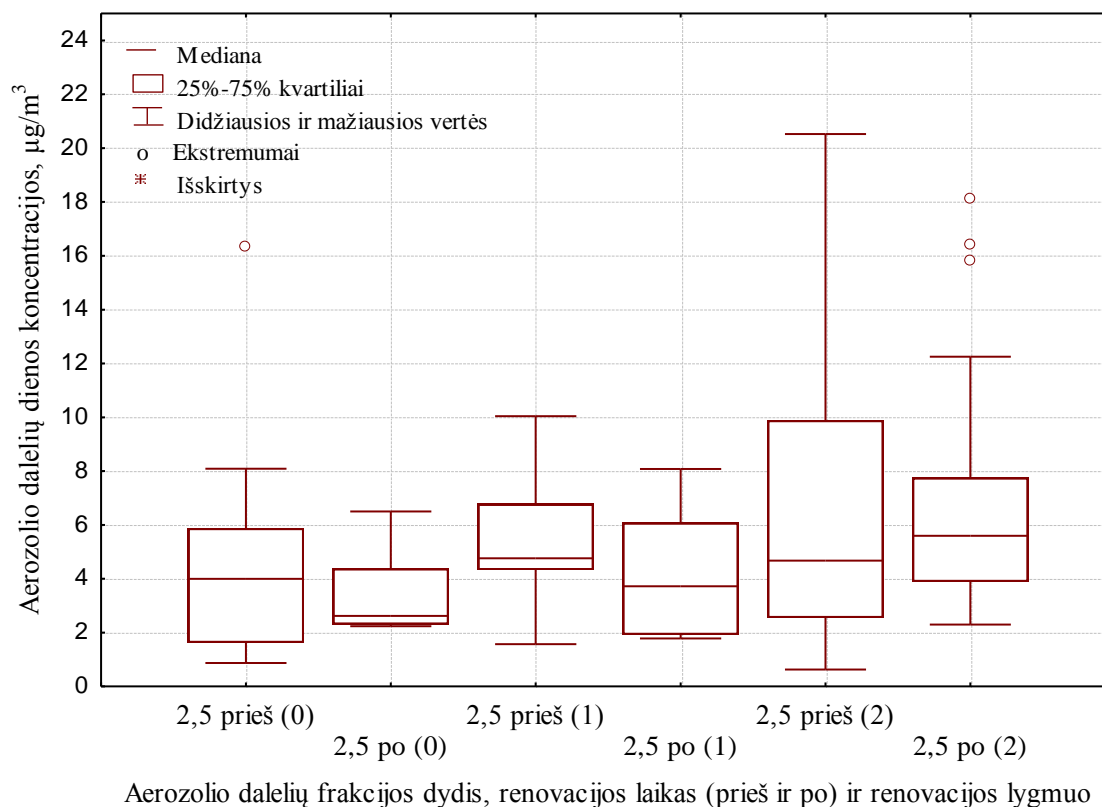
Padidėjęs mažiausių $AD_{2,5}/AD_{10}$ verčių santykis nakties metu galėjo būti įtakotas didesnės liekamosios smulkiųjų aerozolio dalelių koncentracijos, sąlygotos degimo procesų, maisto ruošos ar išorės taršos dienos periodo metu bei sumažėjusios natūralios ventiliacijos.

3.6. Aerozolio dalelių dieninių koncentracijų daugiabučių patalpose įvertinimas

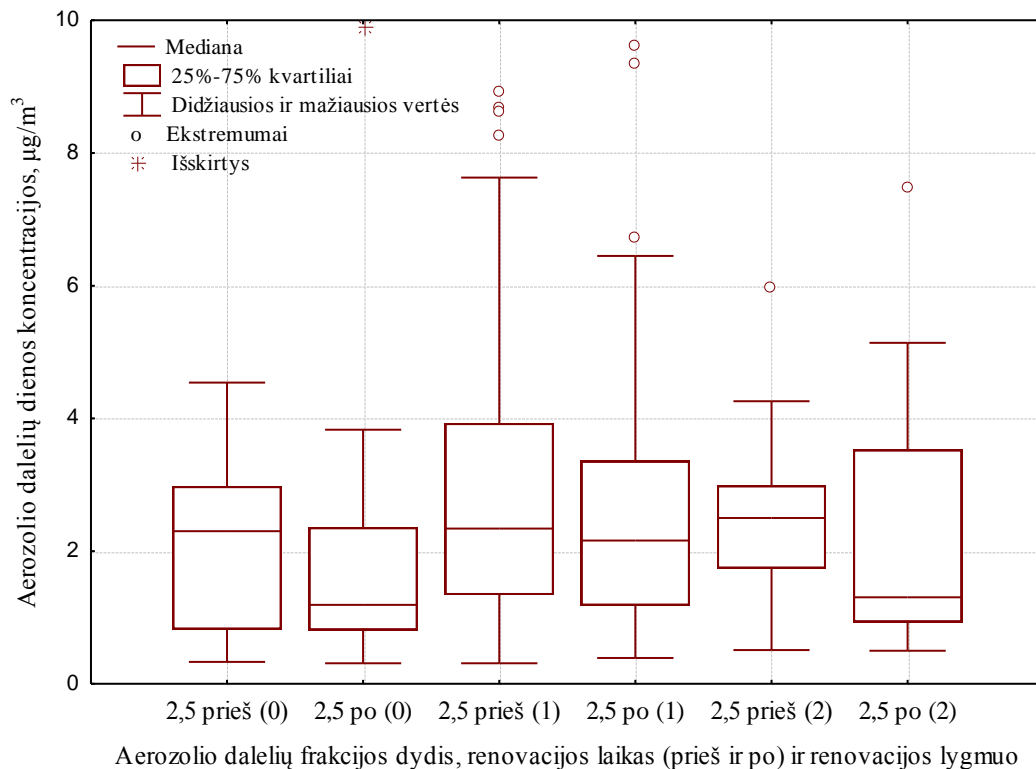
Įvertinus aerozolio dalelių dienes koncentracijas daugiabučiuose pastatuose, nustatyta, jog yra statistikai nereikšmingas skirtumas tarp $AD_{2,5}$ prieš renovaciją ir po jos tiek Lietuvoje, tiek Suomijoje, atitinkamai (0,07 ir 0,12). Taip pat statistiškai nereikšmingas skirtumas užfiksuotas AD_{10} frakcijai: p vertės Lietuvoje minėtuju atveju lygios 0,06 bei 0,09 Suomijoje. Lentelėje 10 bei paveiksluose 26-27 pateikiami dieniniai pagrindinių koncentracijų parametru dydžiai prieš renovaciją ir po jos.

Lentelė 10. Pagrindiniai dieninių aerozolio dalelių koncentracijų ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) parametrų dydžiai prieš renovaciją ir po jos

LIETUVA						
Parametras	Vidurkis	Standartinis nuokrypis	Mediana	5,0 procentilis	95,0 procentilis	p vertė
AD _{2,5_prieš}	12,04	13,73	9,06	2,85	26,44	0,07
AD _{2,5_po}	13,95	18,29	9,23	4,49	33,61	
AD _{10_prieš}	20,94	26,25	14,23	5,64	52,58	0,06
AD _{10_po}	16,78	20,36	11,84	4,59	44,36	
SUOMIJA						
AD _{2,5_prieš}	7,58	8,34	5,43	1,70	17,15	0,12
AD _{2,5_po}	7,80	15,03	4,49	1,40	15,89	
AD _{10_prieš}	9,57	18,83	4,96	2,43	30,28	0,09
AD _{10_po}	9,13	22,87	4,07	1,46	23,8	



Paveikslas 26. Dienos AD_{2,5} koncentracijų dydžiai Lietuvoje pagal renovacijos lygius



Paveikslas 27. Dienos AD₁₀ koncentracijų dydžiai Suomijoje pagal renovacijos lygius

Įvertinus renovacijos vidutinės dienos koncentracijų reikšmės minėtajai frakcijai Lietuvoje padidėjo 15,8%. Pagal gautus AD_{2,5} ir AD₁₀ dienių koncentracijų dydžius, nustatyta, jog yra statistiškai nereikšmingas skirtumas tarp dienių AD_{2,5} koncentracijų verčių prieš ir po pastato atnaujinimo Lietuvoje (p vertė lygi 0,07). Tokį AD_{2,5} koncentracijos padidėjimą po pastatų atnaujinimo gali įtakoti sezoniškumo (šaltasis metų periodas), kadangi tai gali sąlygoti intensyvesnį kuro deginimą aplinkiniuose pastatuose. Nors ir palyginamosios analizės metu statistiškai reikšmingas skirtumas tarp AD₁₀ frakcijos prieš ir po renovacijos nenustatytas (p vertė lygi 0,06), tačiau įvertinus vidutines koncentracijų reikšmes nustatyta, jog jos po pastato atnaujinimo sumažėjo 19,8%. Tokius pokyčius gali įtakoti pastato sandarumas bei individualioji namų veikla.

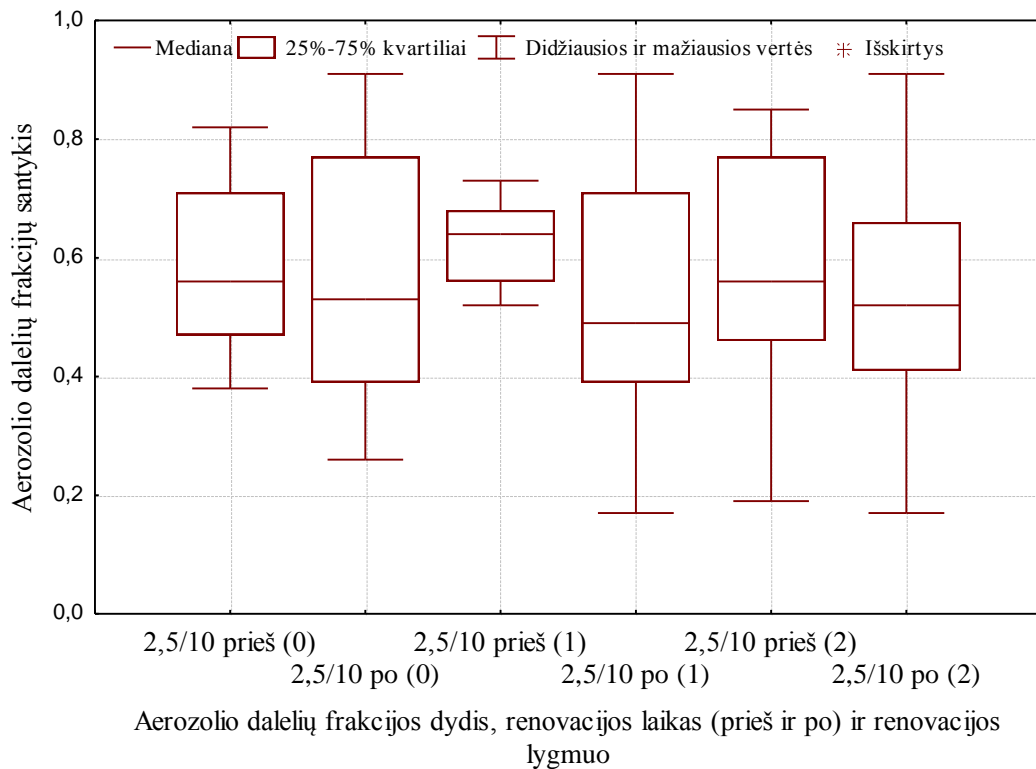
Po pastatų renovacijos Suomijoje AD_{2,5} dienių koncentracijų vidutinės vertės sąlyginai padidėjo - 2%, tačiau statistiškai lyginant šias koncentracijas prieš renovaciją, nustatyta, jog pastato atnaujinimas dienišioms aerosolio dalelių koncentracijoms įtakos neturėjo (p vertė lygi 0,12). Vertinant AD₁₀ frakcijos vidutines koncentracijų vertes po pastato atnaujinimo, jų koncentracijos sumažėjo 5%.

3.7. Skirtingų aerozolio dalelių frakcijų dydžių įvertinimas

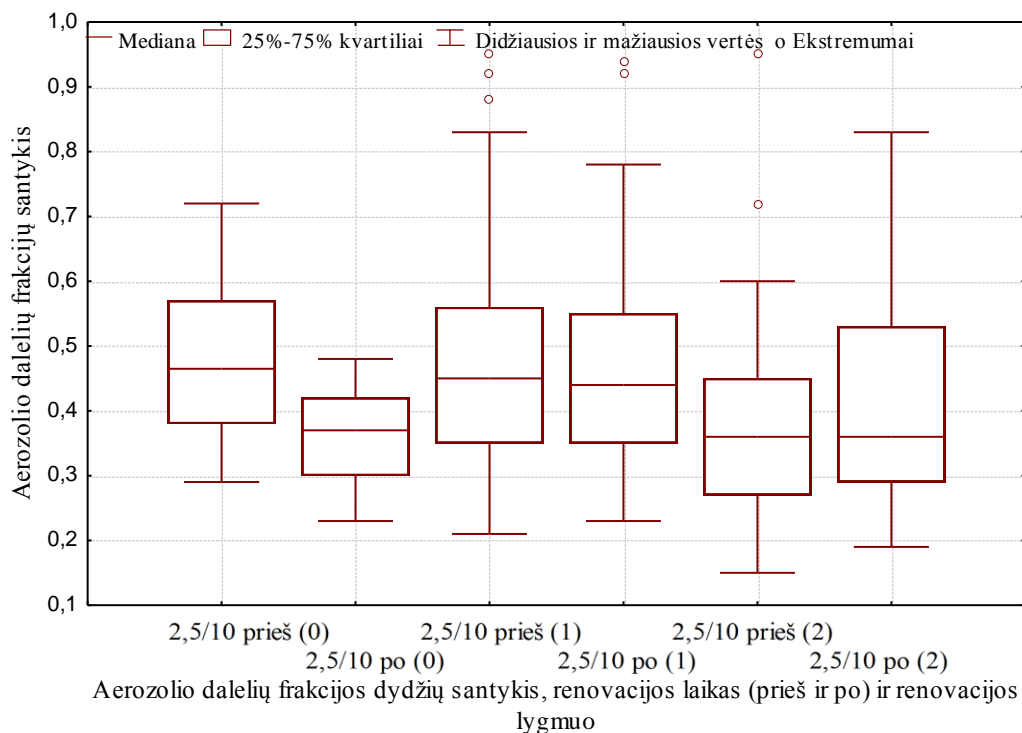
Įvertinus aerozolio dalelių frakcijų dydžius, nustatyta, jog yra statistiškai reikšmingas skirtumas $AD_{2,5/10}$ frakcijos Lietuvoje prieš ir po renovacijas (atitinkamai 0,01). Nustatyta, jog atrinkus dešimt minimalių ir maksimalių koncentracijų ($AD_{2,5}$) rastas statistiškai reikšmingas skirtumas tarp minimalių koncentracijų prieš renovaciją (kontrolinių pastatų) ir po renovacijos. Tokie patys reikšmingi dydžiai siejami ir su maksimaliomis koncentracijomis Lietuvoje (p vertė lygi 0,01). Taip pat svarbu paminėti, jog Lietuvoje tarp minimalių reikšmių užfiksuotas tik 1 butas (05_04), kurio dienos koncentracijos vidurkis po pastato atnaujinimo buvo pats mažiausias.

Lentelė 11. Skirtingų dalelių frakcijos dydžių koncentracijų ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) palyginimas

LIETUVA						
Parametras	Vidurkis	Standartinis nuokrypis	Mediana	5,0 procentilis	95,0 procentilis	p vertė
$AD_{2,5/10}$ _ prieš	0,62	0,17	0,63	0,35	0,85	0,11
$AD_{2,5/10}$ _ po	0,55	0,18	0,53	0,26	0,86	
$AD_{2,5/10}$ _ min_ prieš	0,24	0,07	0,35	0,22	0,41	0,14
$AD_{2,5/10}$ _ min_ po	0,43	0,16	0,45	0,23	0,65	
$AD_{2,5/10}$ _ max_ prieš	0,86	0,02	0,85	0,83	0,90	0,01
$AD_{2,5/10}$ _ max_ po	0,68	0,17	0,68	0,44	0,89	
SUOMIJA						
$AD_{2,5/10}$ _ prieš	0,62	0,17	0,63	0,35	0,85	0,06
$AD_{2,5/10}$ _ po	0,55	0,18	0,53	0,26	0,86	
$AD_{2,5/10}$ _ min_ prieš	0,24	0,07	0,35	0,22	0,41	0,01
$AD_{2,5/10}$ _ min_ po	0,43	0,16	0,45	0,23	0,65	
$AD_{2,5/10}$ _ max_ prieš	0,86	0,02	0,85	0,83	0,90	0,07
$AD_{2,5/10}$ _ max_ po	0,68	0,17	0,68	0,44	0,89	



Paveikslas 28. Skirtingų frakcijų koncentracijų pasiskirstymas prieš ir po renovacijas Lietuvoje



Paveikslas 29. Skirtingų frakcijų koncentracijų pasiskirstymas prieš ir po renovacijas Suomijoje

Nustatyta, jog yra statistiškai reikšmingas skirtumas tarp $AD_{2,5}$ ir AD_{10} frakcijų koncentracijų santykių prieš renovaciją ir po jos, Lietuvoje (p vertė lygi 0,01). Po pastato

atnaujinimo vidutinės šios frakcijos vertės sumažėjo 12,3%. Šiems pokyčiams įtakos gali turėti padidėjęs koncentracijų mažėjimo laikas patalpose po pastato atnaujinimo.

Įvertinus AD_{2,5} ir AD₁₀ frakcijų koncentracijų santykius Suomijoje prieš renovaciją ir po pastato atnaujinimo nustatyta, jog yra statistiškai reikšmingas skirtumas tarp šių frakcijų koncentracijų reikšmių (p vertė lygi 0,05). Renovacijos įtaka šių frakcijų santykių vidutinėms vertėms taip pat reikšminga – po pastatų atnaujinimo sumažėjo 11,3 %. Šiems pokyčiams daugiausiai įtakos galėjo turėti pastato atitvarų užsandarinimas bei tokiu būdu sąlygotas išorės aerozolio dalelių poveikio sumažėjimas.

4. REKOMENDACIJOS

4.1. Patalpų oro kokybės gerinimas

Patalpų oro kokybė – vienas iš svarbiausių alternatyvų didinant pastatų energetinį efektyvumą ir diegiant priverstinės ventiliacijos sistemas [3]. Ore visuomet yra tam tikrų priemaišų, kurių kiekį lemia daugelis priežasčių. Toks oras, patekęs į patalpų vidų, dar papildoma įvairiomis priemaišomis. Geros kokybės gyvenamosios aplinkos oras turi būti užtikrinamas kompleksinėmis priemonėmis, sprendžiant teršalų išmetimų ir kaupimosi mažinimą įvairiuose teršalų susidarymo etapuose.

Vienas iš svarbiausių patalpų oro kokybės valdymo tikslų yra tinkamas mikroklimato užtikrinimas. Vertinant atnaujintų ir naujai pastatytų pastatų oro kokybę yra siūloma atsižvelgti į patalpų oro taršos šaltinius bei priemones, skirtas aerozolio dalelių kiekiui ore sumažinti.

Pagrindinė priemonė skirta mažinti bet kokiam taršos tipui yra prevencija. Tai ypač aktualu siekiant valdyti patalpų oro kokybę. Sunku kontroliuoti išorės aerozolio daleles miesto aplinkoje, kur transporto tarša ir kuro deginimo emisijos yra plačiai paplitusios. Padidėjęs pastato atitvarų sandarumas padeda sumažinti išorės aerozolio dalelių patekimą į gyvenamąsias patalpas. Tačiau ši priemonė gali sumažinti ir natūralią ventiliaciją bei sulėtinti dalelių koncentracijos mažėjimo greitį patalpose. Taip pat yra sunku išvengti aerozolio dalelių emisijos maisto ruošos metu.

Tyrimų metu buvo nustatyta, natūrali ventiliacija nėra tokia veiksminga priemonė teršalams iš patalpų šalinti, palyginus su mechanine ventiliacija. Mechaninės ventiliacijos įrengimas atnaujintuose pastatuose turėtų būti laikomas vienu iš perspektyviausių pasirinkimų, norint užtikrinti gerą patalpų oro kokybę [3].

4.2. Oro kokybės valdymo strategijos

Svarbiausios sąlygos nulemiančios būsto oro kokybę bei garantuojančios ilgalaikę vertę – gerai pasirinkta vieta ir neužteršta aplinka. Vienas iš esminių statinio reikalavimų - statinio higienos, sveikatos, aplinkos apsaugos reikalavimus nustato Reglamentas „Esminiai statinio reikalavimai. Higiena, sveikata, aplinkos apsauga“ [35].

Reglamentu numatytos šios apsaugos nuo teršalų ar jų kiekio sumažinimo priemonės:

- 1) ribojami jų išmetimai iš šaltinių: ribojamas medžiagų, kurios gali išskirti teršalus, naudojimas ir toks naudojimas, kai teršalų koncentracija viršija nustatytąją;
- 2) sandarinami taršos šaltiniai;
- 3) tinkamai įrengiami ir eksploatuojami prietaisai: projektuojami gaminiai ir konstrukcijos taršos šaltiniams išvengti ar apriboti;
- 4) gerinama oro kokybė, taikant vėdinimą ir valymą: mechaninį vėdinimą; natūralų vėdinimą (aeravimą), vidaus ar tiekiamo oro filtravimą, vidaus arba tiekiamo oro teršalų absorbciją;
- 5) vykdomos prevencinės priemonės, pvz., neleidžiama tam tikrą laikotarpį po dažymo naudotis patalpa.

Pastato vėdinimo sistema turi būti suprojektuota taip, kad į pastatą būtų tiekiamas reikiamo grynumo oro kiekis ir iš pastato būtų pašalinamos žmonių iškvepiamos dalelės ir iš statybos produktų išsiskyrusios oru pernešamos dalelės, drėgmė, blogas kvapas ir sveikatai kenksmingos medžiagos. Jeigu pastato patalpos projektuojamos sandarios ir neleidžiančios patekti reikiamam išorės oro kiekiui, turi būti suprojektuota išorės oro tiekimo įranga. Išorės oro paėmimo įranga turi būti taip suprojektuota, kad galėtų imti neužterštą orą. Priešingu atveju išorės oras turi būti valomas prieš tiekiant jį į patalpas.

Oro judėjimas bute, pagal šį teisės aktą, turi būti toks, kad nemalonūs kvapai ir užterštas oras iš vienos į kitą patalpą nesklistų, o vėdinamo oro judėjimas turi eiti nuo mažiau užterštos patalpos iki labiau užterštos. Pastate turi būti suprojektuotos ir įrengtos tokios mikroklimato bei oro kokybės parametrus palaikančios ir reguliuojančios šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemos, kad normaliai eksploatuojant patalpas normaliomis lauko sąlygomis visose to pastato patalpų veiklos zonose, arba tik numatytose vietose, optimaliai naudojant energiją būtų galima palaikyti norminius mikroklimato bei oro kokybės parametrus [35].

IŠVADOS

1. Susisteminius „INSULAtE“ projekto metu gautus duomenis daugiabučiuose pastatuose buvo įvertinamos aerozolio dalelių koncentracijos bei nustatyti šių dalelių koncentracijos kitimai tarp analizuojamų pastatų. Vidutinės patalpų aerozolio dalelių koncentracijos buvo mažesnės nei atitinkamų vietų išorės oro koncentracijos (vidutinis $AD_{2,5}$ vidus/išorė santykis buvo lygus 0,62 Lietuvoje bei 0,42 Suomijoje).

2. Atlikus pirminę aprašomąją aerozolio dalelių koncentracijų kitimo laike ir erdvėje analizę nustatyti statistiškai reikšmingi skirtumai tarp skirtingų aerozolio dalelių frakcijų dydžių ($AD_{2,5}$; AD_{10}), bei maksimalių ir minimalių koncentracijų reikšmių prieš renovaciją ir po jos tiek Lietuvoje tiek Suomijoje. Šiems pokyčiams įtakos turėjo didesnės liekamosios smulkiųjų aerozolio dalelių koncentracijos, sąlygotos degimo procesų, maisto ruošos ar išorės taršos dienos periodo metu bei sumažėjusios natūralios ventiliacijos.

3. Aerozolio dalelių kitimams daugiabučiuose pastatuose charakterizuoti buvo pasirinkti šie pagrindiniai faktoriai: aerozolio dalelių koncentracijos mažėjimo greitis, aerozolio dalelių vidus/išorė santykis, naktinės (foninė) ir dieninės aerozolio dalelių koncentracijos, skirtingų aerozolio dalelių frakcijų santykis bei mažiausios ir didžiausios aerozolio dalelių koncentracijos.

4. Atlikus aerozolio dalelių koncentracijų kitimo daugiabučiuose pastatuose statistinę analizę buvo nustatyta, jog $AD_{2,5}$ ir AD_{10} koncentracijų kitimas laike prieš renovaciją Lietuvoje buvo lygus 12,44 ir 30,44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o Suomijoje atitinkamai 8,34 ir 21,95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Po renovacijos šie įverčiai buvo lygūs: Lietuvoje 12,75 ir 22,44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o Suomijoje - 8,46 ir 17,81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Šiems pokyčiams daugiausiai įtakos galėjo turėti pastato atitvarų užsandarinimas bei tokiu būdu sąlygotas išorės aerozolio dalelių poveikio sumažėjimas. Mažiausios $AD_{2,5}$ koncentracijų vertės Lietuvoje: prieš renovaciją nuo 1 iki 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, AD_{10} nuo 8 iki 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o po renovacijos $AD_{2,5}$ kito nuo 2 iki 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei AD_{10} nuo 4 iki 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dieniniai $AD_{2,5}$ ir AD_{10} koncentracijos mažėjimo greičiai Lietuvoje 0,42 ir Suomijoje 0,59 val^{-1} abiejais atvejais buvo mažesni po pastato atnaujinimo. Tokioms mažesnėms aerozolio dalelių koncentracijos vertėms įtakos turėjo mechaninės ventiliacijos įtaka patalpų oro kokybei.

5. Pagrindinis visuomenės susirūpinimas dėl sveikos patalpų oro kokybės užtikrinimo atnaujintuose pastatuose turi būti pasiektas mažinant teršalų emisijas (vengiant aerozolio šaltinių patalpose) bei užtikrinant tinkamą ventiliaciją (kontroliuojamas tinkamai filtruoto išorės oro tiekimas į patalpas). Suskirstytų pagal dydį smulkiosios frakcijos aerozolio dalelių koncentracijos patalpose vertinimas turėtų būti naudojamas kaip papildoma priemonė tais atvejais, kai negali būti nustatytas akivaizdus aerozolio dalelių šaltinis.

LITERATŪRA

1. TURUNEN M, ir kiti. *Daugiabučių pastatų energijos vartojimo efektyvumo gerinimas, poveikis vidaus aplinkos kokybei ir sveikatai*. Duomenų apžvalga: Helsinkis, 2016.[žiūrėta 2016–12–03]
2. Environmental Protection Engineering. *Multi-criteria analysis of alternative energy supply solutions to public nearly zero energy buildings*. 2013 [žiūrėta 2016–11–06]
3. PRASAUSKAS, T. Building and Environment. *Spatial and temporal variations of particulate matter concentrations in multifamily apartment buildings* [interaktyvus] Kaunas university of technology 2014 [žiūrėta 2017–01–12]. Prieiga per: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.02.010>
4. PRASAUSKAS, Tadas. *Air contamination by particulate matter from processes of building refurbishment and operation* [interaktyvus]. Technologija, 2014 [žiūrėta 2017–01–11].
5. BURBIENĖ, R. ir BAJORIENĖ A.. Veiklos ataskaita. *Patalpų oro kokybės valdymo srities teisinės bazės, įskaitant teritorijų planavimą ir statybų procesą, analizė*. Vilnius, 2010 [žiūrėta 2016–04–15].
6. DOCKERY, D, ir C. POPE. Environmental Epidemiology Program. *Acute respiratory effects of particulate air pollution*. Harvard School of Public Health, 1994. [žiūrėta 2017-03-04]
7. ECONOMIDOU, Marina. Buildings Performance Institute Europe. *Europe's buildings under the microscope*. Brussels, 2011. ISBN: 9789491143014.
8. CASTANAS, E. ir KAMPA M. Environmental Pollution. *Human health effects of air pollution*. Laboratory of Experimental Endocrinology: Greece, 2008. [žiūrėta 2017-02-01] [doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.012](http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.012)
9. ZHAO B. ir Y. ZHANG. Environmental Pollution. *Comparison of indoor aerosol particle concentration and deposition in different ventilated rooms by numerical method*. Department of Building Science: China, 2003. [žiūrėta 2017-03-02] [doi.org/10.1016/j.buildenv.2003.08.002](http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2003.08.002)
10. Air quality guidelines. Global update 2005. *Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. World Health Organization, 2006. [žiūrėta 2017-01-14] ISBN-92-890-2192-6.
11. MATULIAUSKAITĖ, Agnė. Civil engineering. *Particulate matter air pollution, its influence on life quality and the means of reducing indoor air pollution*. 2009. [doi:10.3846/mla.2013.68](http://dx.doi.org/10.3846/mla.2013.68)
12. DONKELAAR, A. ir RANDALL M. *Environmental Health Perspectives: Research Triangle Park*. National Institute of Environmental Health Sciences, 2010. [žiūrėta 2017-03-15]

13. XUEXI T. ir J. CAO. *Aerosol pollution in China: Present and future impact on environment.* Chinese Academy of Sciences, 2009. [žiūrėta 2017-03-15] <https://doi.org/10.1016/j.partic.2009.09.003> 2009
14. LEVIN, Z. ir W. COTTON. Scientific Review. *Aerosol Pollution Impact on Precipitation.* Colorado State University, Usa. 2009. [žiūrėta 2017-01-08]
15. BERNSTEIN, A. ir N. ALEXIS. *The health effects of nonindustrial indoor air pollution.* Publications, 2007. [žiūrėta 2017-02-14] <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2007.10.045>
16. MYERS, I. ir R. MAYNARD. *Polluted air outdoors and indoors* [interaktyvus] *Occupational medicine*, 2005. [žiūrėta 2016-12-17] [doi:10.1093/occmed/kqi137](https://doi.org/10.1093/occmed/kqi137).
17. U. S. Environmental protection agency. *The inside story: a guide to indoor air quality* [interaktyvus]. Indoor air quality: Publications, 2009. [žiūrėta 2017-01-08] Prieiga per: <http://www.epa.gov/iaq/pubs/insidest.html>
18. KOIV, A. ir KALAMEES, T. *Indoor Climate and Energy Performance in Typical Concrete Large-panel Apartment Buildings.* Tallinn University of Technology Estonia 2011. [žiūrėta 2017-03-15]
19. BRANCO P. *Indoor air quality in urban nurseries at Porto city: Particulate matter Assessment.* 2013 [žiūrėta 2017-01-05].
20. XING, H. ir HATTON A. *A study of the air quality in the breathing zone in a room with displacement ventilation.* Department of engineering science, university of Oxford: UK, 2001. [žiūrėta 2016-12-17] [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00006-3)
21. JONES, A. *Indoor air quality and health.* School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, 1998. [žiūrėta 2017-01-08] [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00272-1](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00272-1)
22. BRAUBACH, M, ir kiti. Environmental burden of disease associated with inadequate housing. *Methods for quantifying health impacts of selected housing risks in the WHO European Region.* 2011 [žiūrėta 2016-11-06]
23. TAYLOR, P. ir R. FLAGAN. *Release of allergens as respirable aerosols: a link between grass pollen and asthma.* *Journal of Allergy and Clinical Immunology: Vienna, 2011.* [žiūrėta 2017-03-18] <https://doi.org/10.1067/mai.2002.120759>
24. ČYRAS P. *Žmonių sauga.* Vilnius: Technika, 2011.
25. LINDSLEY, W. ir F. BLANCHERE. *Measurements of Airborne Influenza Virus in Aerosol Particles from Human Coughs.* Publications, 2010. [žiūrėta 2017-01-12] <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015100>
26. STRAGIENĖ, V. ir V. KETURKA. Gyvenamosios aplinkos oro kokybės vertinimo ir valdymo modelis. Nacionalinė visuomenės sveikatos priežiūros laboratorija: Vilnius, 2007 [žiūrėta 2017-01-16]

27. XUEXI, T. ir D, WU. *Lung cancer mortality and exposure to atmospheric aerosol particles in Guangzhou, China*. National Center for Atmospheric Research: China, 2009. [žiūrėta 2017-02-21]. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.01.036>
28. BALÁSHÁZY, I. ir W, HOFMANN. *Local particle deposition patterns may play a key role in the development of lung cancer*. Journal of Applied Physiology: 2003. [žiūrėta 2017-04-12] [doi:10.1152/jappphysiol.00527.2002](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00527.2002)
29. KIM, K. ir kiti. *A review on human health perspective of air pollution with respect to allergies and asthma* [interaktyvus] Department of environment and energy: Sejong University, 2013. [žiūrėta 2017-01-14] doi.org/10.1016/j.envint.2013.05.007
30. MICKAITYTĖ, A. Doctoral dissertation. *Refurbishment of public buildings according to sustainability principles* [interaktyvus]. Technological sciences: Vilnius 2008. [žiūrėta 2016–11–19]
31. HINDS C. *Physical and Chemical Changes in the Particulate Phase*. Los Angeles: Department of Environmental Health Sciences, 2014. [žiūrėta 2017–01–12]
32. PÖSCHL U. Atmospheric Chemistry. *Atmospheric Aerosols: Composition, Transformation, Climate and Health Effects*. Weinheim, 2005. [žiūrėta 2016–12–14].
33. BUSECK, P. *Airborne minerals and related aerosol particles: Effects on climate and the environment*. Departments of Geology and Chemistry Biochemistry, Arizona State University: Tempe, 1999. [žiūrėta 2016-11-03] [doi:10.1073/pnas.96.7.3372](https://doi.org/10.1073/pnas.96.7.3372)
34. ALCHIMOVIEŅĖ, J. *The analysis of the state of multi-apartment residential houses*. [interaktyvus] Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2011. [žiūrėta 2016–11–04] [doi:10.3846/mla.2011.025](https://doi.org/10.3846/mla.2011.025)
35. BALARAS, C. ir A. DROUTSA. *Deterioration of European apartment buildings*, Energy and Buildings, 2005. [interaktyvus] [doi:10.1016/j.enbuild.2004.08.003](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.08.003)
36. RASLAN, S. *Research on the prices of flats in the south east London and Vilnius*. [interaktyvus] International Journal of Strategic Property Management 2006. [žiūrėta 2017–01–14]
37. KAVGIC, M. IR MAVROGIANNI, *A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector* [interaktyvus] Building and Environment, 2010. [žiūrėta 2017–01–13]. [doi:10.1016/j.buildenv.2010.01.021](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.021)
38. MARTINAITIS V. *Impact of the building renovation periodicity on its life cycle energy consumption*. Lietuvos mokslų akademija, 2010. [žiūrėta 2017–01–11]
39. RUSSELL, M. ir M, SHERMAN. *Review of Residential Ventilation Technologies*. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National laboratory: Westford, 2005. [žiūrėta 2017-04-14]

40. MAHMOUD M. ir M. ABDEL-SALAM. *Indoor particulate matter in different residential areas of Alexandria city, Egypt*. 2011 [žiūrėta 2016–10–14]
41. GUNDOGDU, K, ir I. GUNEY. *Spatial analyses of groundwater levels using universal kriging*. *journal of earth system science*, 2007 [žiūrėta 2016–04–16]
42. TANGI T. ir Z. WENHUI. *Gis analysis of spatial and temporal changes of air particulate concentrations and their impacts on respiratory diseases in Beijing, China* [interaktyvus]. *Middle States Geographer*, 2009. [žiūrėta 2016–09–11]
43. MAROZAS N. *Oro tarša aerolio dalelėmis Šiaulių mieste*. Kaunas, 2008. [žiūrėta 2016–04–15]
44. LIULIU, D. ir V. LEIVO. *Improving energy efficiency of multifamily buildings, indoor environmental quality and occupant health*. Finnish University: Tampere, Finland, 2013. [žiūrėta 2017-03-13]
45. BEINORTAS, T. *Statistiniai rodikliai ir reikšmės*. Centre for Evidence-Based Medicine, 2015. [žiūrėta 2017-05-27]
46. MASSEY, D. ir kiti. *Indoor/outdoor relationship of fine particles less than 2,5 mm (PM_{2,5}) in residential homes locations in central Indian region*. [interaktyvus] Department of Chemistry: Agra 2009. [žiūrėta 2016-12-14]. [doi:10.1016/j.buildenv.2009.02.010](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.02.010)
47. MAINKA, A. *Indoor air quality in urban and rural preschools in upper silesia, Poland: particulate matter and carbon dioxide*. [interaktyvus] Public Health: 2015. [žiūrėta 2016-12-14] [doi:10.3390/ijerph120707697](https://doi.org/10.3390/ijerph120707697)
48. CAO, J.J. *Indoor/outdoor relationships for organic and elemental carbon in pm_{2,5} at residential homes in Guangzhou*. [interaktyvus] China: 2012. [žiūrėta 2016-12-14] [doi: 10.4209/aaqr.2012.02.0026](https://doi.org/10.4209/aaqr.2012.02.0026).
49. YASSIN, M. *Assessment of indoor PM_{2,5} in different residential environments* [interaktyvus]. Department of Environmental Technology Management: Kuwait university, 2012. [doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.03.051](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.03.051)
50. TEMINE B. *Atmospheric Aerosols: physical properties; chemical composition; health & environmental effects*. Department of Chemistry, 2009. [žiūrėta 2016–12–14].
51. Environmental Protection Agency. *Air Quality Criteria for Particulate Matter: Volume I*. U.S. EPA publication: 2004. [žiūrėta 2017–01–19]
52. KARVELIS, H. *Stambiaploškėių gyvenamųjų namų renovacija. Pirmosios kartos stambiaploškėių gyvenamųjų namų atnaujinimo techniniai sprendimai*. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija: Vilnius, 1998 [žiūrėta 2017–01–11]
53. Reglamentas STR 2.01.01(3):1999 „*Esminiai statinio reikalavimai. higiena, sveikata, aplinkos apsauga*“ (1999) [žiūrėta 2017-04-12]