



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

Martynas Zavtrikovas

NANODALELIŲ NUSODINIMO ELEKTROSTATINIAME LAUKE
TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

lekt. dr. Edvinas Krugly

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

**NANODALELIŲ NUSODINIMO ELEKTROSTATINIAME LAUKE
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Aplinkosaugos inžinerija (kodas 621H17001)

Vadovas

lekt. dr. Edvinas Krugly

Recenzentas

lekt. dr. Tadas Prasauskas

Projektą atliko

Martynas Zavtrikovas

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS

(Fakultetas)

MARTYNAS ZAVTRIKOVAS

(Studento vardas, pavardė)

APLINKOSAUGOS INŽINERIJA 612H17001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Nanodalelių nusodinimo elektrostatiniame lauke tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20__m. _____ d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Martyno Zavtrikovo** baigiamasis projektas tema „NANODALELIŲ NUSODINIMO ELEKTROSTATINIAME LAUKE TYRIMAS“ 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)

Zavrikovas, Martynas. Nanodalelių nusodinimo elektrostatiniame lauke tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas lekt. dr. Edvinas Krugly; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: bendroji inžinerija, technologijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: elektrostatinis nusodintuvas, elektrostatinis filtras, jonizatorius, kolektorius, aerozolių dalelės, kietosios dalelės, nusodinimas.

Kaunas, 2017. 62 psl.

SANTRAUKA

Magistro baigiamajame darbe nagrinėjamas nanodalelių nusodinimo efektyvumas elektrostatiniame lauke. Dėl intensyvių tyrimų, atsiranda vis daugiau įrodymų, kad nanodalelių nusėdimas žmonių organizme skatina astmos, lėtinės plaučių ligos paūmėjimus, padidina sergamumą bronchitu. Aerozolių dalelių sulaikymui skirtų įrenginių jau yra sukurta, tačiau patalpų oro valymui reikalinga mažų matmenų efektyvesnė valymo technologija. Laboratorijoje buvo sukurtas mažų gabaritų elektrostatinio nusodintuvo prototipas skirtas namų ventiliacijos sistemai. Elektrostatinio nusodintuvo tyrimo metu buvo keičiami parametrai tokie kaip, įelektrinimo ir nusodinimo sekcijų įtampos, kolektoriaus sekcijų skaičius, oro debitas, generuojamų dalelių šaltinis. Tyrimo metu nustatyta, kad elektrostatinio nusodintuvo geriausias valymo efektyvumas pasiekiamas su dvejomis kolektoriaus sekcijomis, kai nusodinimo sekcijos įtampa yra 8 kV, o įelektrinimo sekcijos įtampa – 15 kV. Optimaliausias tiekiamo oro debitas – 30 m³/h. Ekonominėje dalyje apskaičiuojama elektrostatinio nusodintuvo dujų valymo savikaina. Išvalytų dujų 1000 m³ savikaina – 0,13 Eur. Siekiant sumažinti susidarančio ozono koncentracijas, nusodintuvo gale reikia įmontuoti papildomą, mangano dioksido katalizatoriaus sekciją, skirtą ozonui skaidyti.

Zavtrikovas, Martynas. Investigation of Nanoparticles Deposition by Electrostatic Field. Master's thesis in Environmental Engineering Study / supervisor lekt. dr. Edvinas Krugly. The Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Research area and field: General Engineering, Technology Sciences.

Key words: electrostatic precipitator, electrostatic filter, ionizer, collector, aerosol particles, particle matter, precipitation.

Kaunas, 2017. 62 p.

SUMMARY

This master thesis analyzes investigation data of nanoparticles collection with electrostatic precipitator. The intensive research shows that deposition of nanoparticles in human's body causes asthma, chronic pulmonary disease exacerbations, increases higher bronchitis sickness rate. Facilities for detention of aerosol particles have already been created, but the indoor air cleaning needs more effective small dimensions cleaning technology. Small – sized electrostatic precipitator's prototype for home ventilation system was created in laboratory. During the study of electrostatic precipitator, the parameters such as electrification and deposition voltage zones, number of sections of collector, air flow generated by the particle source have been consistently changing. The study found that the electrostatic precipitator's best effectiveness is achieved with two collector sections when section's precipitation voltage is 8 kV and a electrification's section voltage – 15 kV. The optimal supply air flow rate is 30 m³/h. In the economical part, electrostatic precipitator's gas purification cost is calculated. The purified gas 1000 m³ cost is 0,13 EUR. In order to reduce ozone's concentrations, it is necessary to fit an additional manganese dioxide catalyst unit at the end of the separator, because it helps to divide ozone.

Turinys

1. LITERATŪROS APŽVALGA	11
1.1. Natūralūs ir antropogeniniai teršalų šaltiniai	11
1.2. Oro tarša aplinkos ore	11
1.2.1. Aerosolių dalelės.....	12
1.2.2. Nanodalelės atmosferoje	13
1.3. Oro tarša patalpų ore	14
1.4. Poveikis žmonių sveikatai.....	14
1.4.1. Aerosolių dalelės.....	15
1.4.2. Ozonas.....	15
1.5. Fizinės ir cheminės dalelių savybės	16
1.6. Aplinkos oro valymo galimybės	17
1.6.1. Ciklonai ir multiciklonai	18
1.6.2. Filtrai	19
1.7. Nusodinimas elektrostatiame lauke	21
1.7.1. Elektrostatių nusodintuvų paskirtis ir veikimo principas.....	21
1.7.2. Elektrostatių nusodintuvų tipai	24
1.7.3. Elektrostatinio filtro privalumai ir trūkumai	26
1.8. Priežeminis ozonas.....	26
1.9. Ozono mažinimo būdai	27
1.10. Patalpų oro kokybė.....	28
2. TYRIMŲ METODIKA	29
2.1. Elektrostatinio nusodintuvo projektavimas.....	29
2.2. Elektrostatinio filtro techninių parametrų skaičiavimas	31
2.3. Ekonominės dalies skaičiavimas.....	34
2.4. Aerosolių dalelių matavimo įranga.....	35
2.5. Ozono matavimas.....	35
2.6. Tyrimo planas	36

2.6.1. Eksperimentas naudojant skirtingas maitinimo šaltinių įtampas	36
2.6.2. Eksperimentas naudojant skirtingus oro debitus	37
2.6.3. Eksperimentas su realiomis oro sąlygomis patalpoje.....	38
2.6.4. Susidarančios ozono koncentracijos.....	38
3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS	39
3.1. Skirtingos įtampos įtaka dalelių sulaikymo efektyvumui	39
3.1.1. Įelektrinimo sekcijos įtaka	39
3.1.2. Nusodinimo sekcijos įtampos įtaka dalelių sulaikymo efektyvumui	42
3.1.3. Įelektrinimo ir nusodinimo sekcijų įtaka sulaikymo efektyvumui naudojant kartu.....	45
3.2. Skirtingo debito įtaka dalelių sulaikymo efektyvumui.	49
3.3. Matavimai realiomis sąlygomis	51
3.3.1. Įtampos įtaka laboratorijos oro valymo efektyvumui	51
3.3.2. Debito įtaka laboratorijos oro valymo efektyvumui	54
3.4. Elektrostatinio filtro veikimo metu susidarančio ozono kiekis.....	56
3.5. Ekonominė dalis.....	57
3.6. Rekomendacijos proceso technologinei kontrolei	58
IŠVADOS.....	59
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	60

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Oro užterštumo lygio indeksas [2].....	12
2 lentelė. Elektrostatinio filtro įelektrinimo ir nusodinimo sekcijų veikimo režimai.	36
3 lentelė. Elektrostatinio filtro veikimo režimai, keičiant oro debitą.	37
4 lentelė. Elektrostatinio filtro veikimo režimai matuojant ozono koncentracijas.	38

Paveikslų sąrašas

1 pav.	Nanodalelių poveikis žmogaus sveikatai [8].	15
2 pav.	Dūmų išvalymo nuo kietųjų dalelių būdai [14].	17
3 pav.	Ciklono konfigūracijos [13].	18
4 pav.	Multiciklono schema: a – bendras vaizdas, b – elementas su „sraigtu“ [13].	19
5 pav.	Audininiai filtrai [13].	21
6 pav.	Dalinis sulaikymo efektyvumas [17].	22
7 pav.	Elektrostatinių dalelių sulaikymo principas [13].	23
8 pav.	Vamzdinis elektrostatinis nusodintuvas [17].	24
9 pav.	Plokštelinio elektrostatinio nusodintuvo schema [17].	25
10 pav.	Priežeminio ozono koncentracijos išsiskiriančios iš skirtingų sektorių [21].	27
11 pav.	Įelektravimo ir nusodinimo sekcijos įtvirtintos elektrostatiniame filtre.	29
12 pav.	Nusodinimo sekcija.	30
13 pav.	Nanodalelių tyrimo stendo schema.	31
14 pav.	„ELPI+“ dalelių matavimo prietaiso schema [28].	35
15 pav.	Jonizatoriaus efektyvumas purškiant 1% NaCl tirpalą, esant 30 m ³ /h debitui	40
16 pav.	Jonizatoriaus efektyvumas purškiant 10% NaCl tirpalą, esant 30 m ³ /h debitui	41
17 pav.	Kolektoriaus efektyvumas purškiant 1% NaCl tirpalą, esant 30 m ³ /h debitui.	43
18 pav.	Kolektoriaus efektyvumas purškiant 10% NaCl tirpalą, esant 30 m ³ /h debitui.	44
19 pav.	Filtro efektyvumas purškiant 1% NaCl tirpalą, esant 30 m ³ /h debitui.	46
20 pav.	Filtro efektyvumas purškiant 10% NaCl tirpalą, esant 30 m ³ /h debitui.	48
21 pav.	Filtro efektyvumas purškiant 10% NaCl tirpalą ir naudojant skirtingą oro debitą.	50
22 pav.	Dalelių sulaikymo efektyvumas priklausomybė nuo oro debito.	51
23 pav.	Realių sąlygų matavimai naudojant 30 m ³ /h oro debitą	53
24 pav.	Dalelių nusodinimo efektyvumai su realiomis sąlygomis	53
25 pav.	Filtro veikimo efektyvumas naudojant skirtingą oro debitą.	55
26 pav.	Dalelių sulaikymo efektyvumas realiomis sąlygomis, naudojant skirtingą oro debitą.	56
27 pav.	Elektrostatinio filtro veikimo metu susidarancio ozono koncentracijos.	57

IŽANGA

Aerzolių dalelės – tai įvairaus mikronų dydžio kietos dalelės ir skysčio lašeliai kybantys ore. „Aerzolio“ sąvoka reiškia dujų ir jose plūduriuojančių skystų ir kietų dalelių mišinį. Atmosferoje esančios dalelės skiriasi savo dydžiu, kuris svyruoja nuo kelių nanometrų iki dešimčių mikrometrų. Dažnai diapazonas apima KD_{10} , jis reiškia visas daleles, kurių skersmuo yra mažesnis nei 10 mikrometrų. Į šį intervalą patenka ir nanodalelės, t. y. KD_1 , bet tai neduoda konkrečios informacijos, susijusios su jomis.

Aerzolių dalelės gali patekti į žmogaus organizmą per kvėpavimo takus, odą ir pan., o jų prasiskverbimas priklauso nuo dalelių dydžio. Intensyvūs tyrinėjimai įrodo, kad nanodalelių nusėdimas žmonių organizme gali neigiamai paveikti jų sveikatą.

Gyvenamųjų patalpų oras yra teršiamas iš lauko patenkančiais tabako dūmais, kuro degimo produktais ir transporto išmetamųjų dujų dalelėmis, todėl norint užtikrinti pakankamai švarų gyvenamųjų patalpų orą, jis turi būti tinkamai valomas.

Šiame magistro darbe nagrinėsiu sukonstruoto elektrostatinio filtro, skirto namų ventiliacijos sistemai, aerzolių dalelių nusodinimo efektyvumą.

Magistro darbo tikslas: sukurti mažo debito ($150 \text{ m}^3/\text{h}$) elektrostatinio filtro prototipą, bei atlikti nanodalelių nusodinimą įtakojančių faktorių tyrimą.

Darbo uždaviniai:

- sukurti mažo debito ($150 \text{ m}^3/\text{h}$) elektrostatinio filtro prototipą;
- nustatyti skirtingo dydžio dalelių pašalinimo efektyvumo ribas;
- nustatyti skirtingų faktorių įtaką dalelių sulaikymo procesui;
- nustatyti optimalias sąlygas prototipo veikimui;
- atlikti pirminę dujų valymo ekonominę analizę;
- parengti rekomendacijas proceso kontrolei.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Natūralūs ir antropogeniniai teršalų šaltiniai

Pagrindiniai natūralūs nanodalelių šaltiniai gamtoje atsiranda dėl:

- ugnikalnių išsiveržimų;
- fizinio uolų ardymo;
- cheminio uolų irimo;
- erozijos;
- biologinių procesų.

Todėl paėmus dalelių mėginį iš aplinkos oro galima nustatyti anglies, mineralų, jūros druskos, ledo, kietosios sieros rūgšties, virusų ir žiedadulkių pėdsakų.

Pagrindiniai antropogeniniai nanodalelių šaltiniai:

- nanotechnologijos;
- pramonė;
- namų ūkis;
- transportas.

Nanotechnologijų naudojimas generuoja nanodaleles aplinkoje nuo pat pradžių, pradedant nuo gamybos iki panaudojimo. Pramonės šaltiniai yra daugiausia išlakos, jose esančios dalelės yra degimo proceso metu gautas produktas, sudarytas iš anglies ir nevisiškai sudegusių organinių junginių. Namų ūkio šaltiniais gali būti paprasčiausi kasdieniai procesai, pavyzdžiui, maisto ruošimas ar siurbimas. Transportas ir šilumos išgavimas iš kuro yra pagrindinis kietųjų dalelių šaltinis miestuose [1].

1.2. Oro tarša aplinkos ore

Yra nustatyta, kad daugiausia žmonės yra veikiami oro teršalais patalpų aplinkoje. Pagrindiniai taršos šaltiniai įskaitant statybines medžiagas, degimo procesus, baldų, įvairių buities ir asmens higienos produktų ir plastikinius gaminius (nuo pesticidų iki plataus spektro angliavandenių, įskaitant aldehidus, alkoholius, esterius, aromatinius ir kitus junginius). Teršalų koncentracijos patalpose priklauso ne tik nuo viduje skeidžiamų emisijų, bet ir emisijomis, kurios yra pernešamos iš lauko oro į vidų, nuo ventiliacijos sistemos tipo patalpose arba patalpų valymo įrenginių.

Kelių transporto priemonės yra vienas iš pagrindinių miestų oro taršos šaltinių. Šiuo metu oro teršalų koncentracija yra normuojama aplinkosaugos arba valdžios institucijų naudojant specialiai įrengtą monitoringo stočių tinklą, kuriame yra nustatomas teršalų skaičius, pavyzdžiui, anglies monoksido (CO), azoto oksidų (NO_x), sieros dioksido (SO₂), ozono (O₃), ar kietųjų dalelių (PM).

Oro užterštumo lygio indeksas (OUI) – tai išmatuotų teršalų koncentracijų kokybinė išraiška aplinkos ore, naudojama paprastesniam oro kokybės apibūdinimui. Nustatant oro užterštumo lygio indeksą, remiamasi ES ir Lietuvos teisės aktais, kuriuose yra nustatytos trumpo periodo teršalų ribinės vertės koncentracijų lygiais. Šis indeksas pagrįstas kietųjų dalelių (KD₁₀), azoto dioksido (NO₂), sieros dioksido (SO₂), anglies monoksido (CO), ozono (O₃) koncentracijų įvertinimu. Įvertinus nustatyto periodo (1, 8 ar 24 valandų) koncentracijas pagal užterštumo lygio skalę nustatomas indeksas. 1 lentelėje pavaizduotas Oro užterštumo lygio indeksas, bei jį atitinkančių teršalų koncentracijų (µg/m³, CO – mg/m³) intervalų skalė [2].

1 lentelė. Oro užterštumo lygio indeksas [2].

OUI:	KD ₁₀	NO ₂	CO	O ₃		SO ₂	
	24 val. vidurkis	1 val. vidurkis	8 val. vidurkis	1 val. vidurkis	8 val. vidurkis	1 val. vidurkis	24 val. vidurkis
1 – Žemas*	16–30	51–100	3–6	61–120	51–90	51–100	26–50
2 – Vidutinis**	31–50	101–200	7–10	121–180	91–120	101–300	51–100
3 – Aukštas***	51–100	201–400	11–13	181–240	121–180	301–500	101–150
4 – Labai aukštas****	>100	>400	>13	>240	>180	>500	>150

*Žemas – oro kokybė gera, galima mėgautis švairiu oru.

**Vidutinis – jautrios gyventojų grupės turėtų vengti aktyvesnės veiklos prie intensyvaus eismo gatvių, sankryžų.

***Aukštas – aktyvia veikla atvira ore gali užsiimti tik visiškai sveiki žmonės;

****Labai aukštas – reikia stengtis kuo mažiau būti atvira ore; būnant patalpose, neatidaryti langų;

1.2.1. Aerozolių dalelės

Aerozolių dalelės – tai įvairaus mikronų dydžio kietosios dalelės ir skysčio lašeliai kybantys ore. Aerozolio sąvoka reiškia dujų ir jose plūduriuojančių skystų ir kietų dalelių mišinį. Atmosferoje esančios dalelės skiriasi savo dydžiu, dydis svyruoja nuo kelių nanometrų iki dešimčių mikrometrų. Taip

pat skiriasi chemine sudėtimi. Dažniausiai atmosferoje matuojama kietų dalelių koncentracija, kuri pagal masę ir sudėtį skirstoma į dvi grupes:

- smulkios dalelės, dar vadinamos nanodalelėmis, kurių diametras yra mažesnis nei 1 μm ir žymima KD_1 ;
- stambios dalelės, kurių diametras yra mažesnis nei 10 μm ir žymima KD_{10} .

Pagrindiniai kietų dalelių šaltiniai gamtoje:

- ugnikalnių išsiveržimai;
- erozija;
- smėlio audros.

Transportas ir šilumos išgavimas iš kuro yra pagrindinis kietųjų dalelių šaltinis miestuose. Išlakose esančios dalelės yra degimo proceso metu gautas produktas, sudarytas iš anglies ir ne iki galo sudegusių organinių junginių. KD_{10} yra sulaikomos mūsų nosies gleivinėje, nepatenka į plaučius, todėl jos mažiau pavojingesnės nei KD_1 [3].

Kietosios dalelės gali patekti į žmogaus organizmą per kvėpavimo takus, o jų prasiskverbimas priklauso nuo dalelių dydžio. Smulkiosios dalelės nusėda bronchuose ir iš ten sunkiai pasišalina. KD_1 skatina astmos bei lėtinės plaučių ligos paūmėjimus bei padidina sergamumą bronchitu. Taip pat nustatyta priklausomybė tarp KD_{10} ir mirtingumo nuo kvėpavimo bei širdies ir kraujagyslių sistemos ligų [4].

Dažnai yra generuojamas tam tikras kiekis įvairiausių dydžių dalelių, o ne tam tikros atskiros rūšies arba vienodo dydžio dalelės. Dažnai diapazonas apima KD_{10} , jis reiškia visas daleles, kurių skersmuo yra mažesnis nei 10 mikrometrų. Į šį intervalą patenka ir nanodalelės, bet tai neduoda konkrečios informacijos susijusios su jomis [3].

1.2.2. Nanodalelės atmosferoje

Gamtoje randamos nanodalelės gali būti natūralios arba dirbtinės kilmės. Nanodalelių mūsų kasdieninėje aplinkoje esti nuo 20.000 iki 100.000 viename kubiniame centimetre. Jos ore atsirasti gali dėl to, kad yra išleidžiamos tiesiai iš taršos šaltinio (pirminis šaltinis) arba dėl jų formavimosi atmosferoje (antrinis šaltinis) [5].

1.3. Oro tarša patalpų ore

Šiuolaikinėje visuomenėje dauguma žmonių didžiąją laiko dalį praleidžia žmogaus sukurtoje uždaroje erdvėje. Ar tai būtų gyvenamosios patalpos, ar darbo vieta, mokyklos, vaikų darželiai, laisvalaikio leidimo centrai ar transportas – lauke praleidžiama tik 20 proc. paros laiko. Taigi, galima teigti, kad visą kitą laiką kvėpuojama perdirbtu oru. Perdirbtame ore, ypač jeigu kalbame apie įprastą ventiliacijos sistemą, kaupiasi dulksės, pelėsis, bakterijos, virusai, cigarečių dūmai, įvairios cheminės medžiagos ir kiti toksinai, kurių kiekis, pakartotinai naudojant tą patį orą, vis didėja. Tai pamažu daro neigiamą įtaką žmogaus sveikatai. Žmonės metų metus gali nepajusti tikrosios organizmui padarytos žalos.

Oro taršos lygis patalpose gali būti gerokai didesnis nei lauke. Cheminės medžiagos patenka į patalpas iš lauko ar išsiskiria iš patalpų vidaus apdailos medžiagų, baldų. Iš tapetų, grindų dangų, apdailos plokščių, jų priežiūros priemonių, buityje naudojamų valiklių gali skirtis lakieji organiniai junginiai, tarp jų ir formaldehidai. Neretai gyvenamojoje aplinkoje pasitaiko ir biologinių teršalų: bakterijų, virusų, grybų sporų (pelėsių). Pelėsiai paprastai įsiveisia drėgnose ir šiltose, nevėdinamose patalpose.

Cheminių medžiagų, galinčių paveikti žmonių sveikatą, koncentracija patalpų ore būna didesnė atliekant patalpų remontą ar ką tik įrengus patalpų vidaus apdailą, pastačius naujus baldus. Praėjus tam tikram laikotarpiui šių medžiagų išsiskyrimas iš vidaus apdailos medžiagų ar baldų pradeda mažėti.

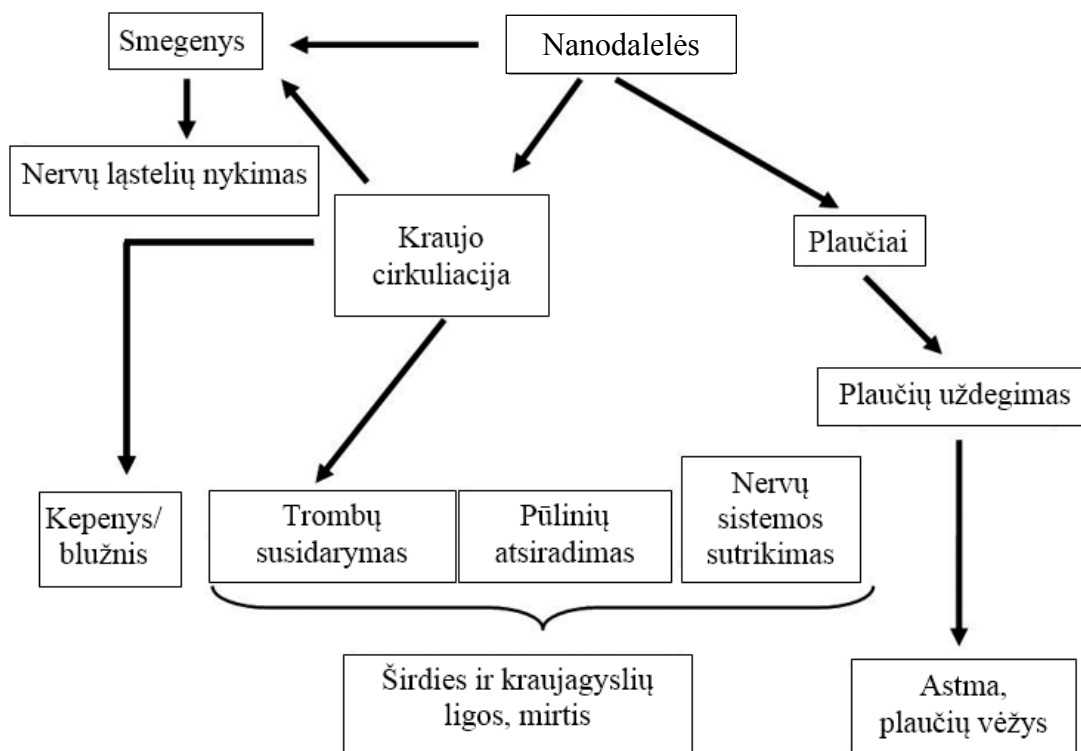
Šviežias oras turi tekėti iš švarių patalpų ar lauko į mažiau švarias patalpas. Paprasčiausias ir pakankamai efektyvus gyvenamų patalpų vėdinimo būdas – natūralus, kai šviežias oras į patalpas patenka pro langus, orlaides ar mikroventiliacijos ertmes, o šalinamas natūralios traukos principu – traukos kanalais. Tačiau gyvenamųjų patalpų oras yra teršiamas iš lauko patenkančiais tabako dūmais, kuro degimo produktais ir transporto išmetamųjų dujų dalelėmis. Todėl norint užtikrinti pakankamai švarų gyvenamųjų patalpų orą, jis turi būti tinkamai valomas, pavyzdžiui, naudojant filtrus [24].

1.4. Poveikis žmonių sveikatai

Kenksmingos medžiagos, išsiskiriančios tiek iš pastatų, tiek vidaus įrangos ar patenkančios iš aplinkos į pastatų vidų, paskatina daugelį sveikatos sutrikimų (astma, plaučių vėžys ir pan.) atsiradimą.

1.4.1. Aerozolių dalelės

Aerozolių dalelės gali patekti į žmogaus organizmą per kvėpavimo takus, o jų prasiskverbimas priklauso nuo dalelių dydžio. Dėl intensyvių tyrimų, atsiranda įrodymų, kad nanodalelių nusėdimas žmonių organizme gali neigiamai paveikti sveikatą. Smulkiosios dalelės patenka į žmogaus organizmą per odą, plaučius ir virškinimo traktą. Paprasčiausias patekimas į organizmą yra jas įkvėpiant, smulkiųjų dalelių elgesys skiriasi nuo stambių dalelių. Jų mažas dydis leidžia joms būti įkvėptomoms ir nusėdusioms giliai į plaučius. Nanodalelės skatina astmos bei lėtinės plaučių ligos paūmėjimus bei padidina sergamumą bronchitu. Įvairūs atlikti tyrimai įspėja, kad įkvėptos nanodalelės gali nusėsti ant plaučių paviršiaus ir šio kontakto metu įsiskverbti į kraujagysles plaučiuose. Taip nanodalelės patenka į kraują ir suteikia joms galimybę cirkuluoti visame organizme. Nanodalelės taip pat gali būti pernešamos per kūną į centrinę nervų sistemą, smegenis, į sisteminę kraujotaką ir kitus organus, pavyzdžiui, kepenis [8].



1 pav. Nanodalelių poveikis žmogaus sveikatai [8].

1.4.2. Ozonas

Organizme ozonas gali atsirasti jį įkvėpus per kvėpavimo takus. Kadangi ozonas yra labai ėsdinantis, jis pažeidžia bronchus ir alveoles plaučiuose. Pakartotinis sąlytis su ozonu gali sukelti plaučių uždegimą, pažeisti audinius ir sukelti kvėpavimo takų infekcijas.

Ozono poveikis gali apsunkinti kvėpavimo takus tokiomis ligomis kaip, pavyzdžiui, astma ar sumažinti plaučių funkciją ir gebėjimą judėti bei sukelti krūtinės skausmus ir kosulį. Maži vaikai ir suaugusieji, kurie yra aktyvūs lauke, ir žmonės su kvėpavimo takų ligomis yra labiausiai jautrūs aukšto ozono lygiams, su kuriais susiduriame vasarą.

Be to, ozono poveikis žalingas ne tik žmonėms, bet jis gali pažeisti augalus ir medžius. Didelis ozono lygis gali sunaikinti žemės ūkio pasėlius ir miško augmeniją [11].

1.5. Fizinės ir cheminės dalelių savybės

Aerzolių dalelių dydis aplinkoje priklauso nuo jų išbuvimo laiko joje. Dalelių atsiradimas dažniausiai pateikiamas pagal kietųjų dalelių pasiskirstymą, kalbant apie įvairius augimo etapus. Aerzolių dalelių pagrindiniai koaguliacijos etapai:

- Kristalizacijos etapas. Kristalizacijos metu susiformuoja dalelė iš kondensacijos garų, esančių išmetamosiose dujose, dėl greitos konversijos nuo dujinės iki kietos agregatinės būsenos dalelių. Jos kilusios daugiausia iš nesudegusių degalų ir tepalų, kuriuos sudaro sulfatai, nitratai ir organiniai junginiai. Dalelių dydis svyruoja 1 – 30 nm diapazone;

- Augimo etapas. Aerzolių dalelės atsiranda iš augimo ar koaguliacijos kristalizacijos etape. Taip pat dideliais kiekiais išmetamos iš pirminių degimo šaltinių, tokių kaip, transporto priemonių išmetosios dujos. Dalelės sudarytos iš suodžių ar pelenų, su lengvai absorbuojamu lakiųjų medžiagų sluoksniu. Dalelių dydis šiame etape svyruoja 20 – 100 nm diapazone;

- Kaupimo etapas. Šis etapas apima degimo proceso metu išsiskiriančias daleles, smogo metu susidaranti daleles ir ankstesnių etapų metu susidariusias daleles, kurios koaguliuojasi su kaupimo etape susidarantiomis dalelėmis. Šios dalelės yra susiformavusios degimo kameroje ir susijungusiomis su susikondensavusiomis organinėmis medžiagomis. Jos sudarytos iš anglies aglomeratų (suodžių ir/arba pelenų), išmetamos pagrinde iš vidaus degimo dyzelinių variklių arba tiesioginio įpurškimo benzinių transporto priemonių. Dalelių dydis svyruoja 30 – 300 nm diapazone;

- Šiurkštusis etapas. Dalelės šiurkčiajame etape nusėda ant taršos šaltinių paviršių ir tik vėliau yra pernešamos. Taip pat dalelės generuojamos besidėvint įvairių transporto priemonių stabdžiams, padangoms, vėjo ir transporto sukeltoms dulkėms, didelės druskos dalelės iš jūros purlų, išjudintos dalelės dėl turbulencijos ir antropogeninės veiklos, pavyzdžiui, žemės ūkio ar žemės kasybos. Šios dalelės išsiskiria didelės masės ir tūrio koncentracijos. Tačiau jų išbuvimo laikas atmosferoje yra gana trumpas (keletą valandų ar dienų), dėl gravitacinio nusodinimo poveikio, didelio dydžio arba dėl išplovimo. Dažniausiai dalelės šiame etape viršija 300 nm dydį.

Kiekviename etape aerozolių dalelės yra sudarytos iš įvairių taršos šaltinių atliekų, dydžio intervalų, susidarymo mechanizmų ir cheminių junginių [12].

1.6. Aplinkos oro valymo galimybės

Atmosferos taršą siekiama sumažinti visiškai arba dalinai, išvengiant kuo didesnio teršalų išsiskyrimo.

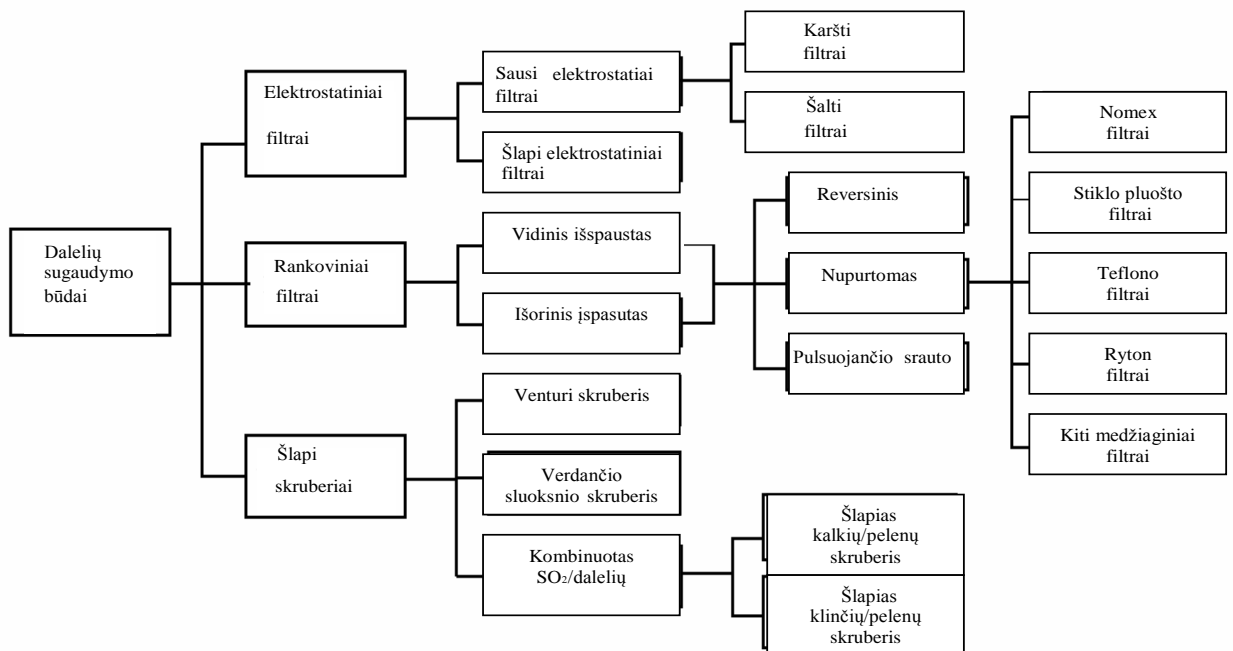
Labiausiai stengiamasi panaikinti antropogeninę taršą ir jos tarša galima mažinti dviem metodais [13]:

- prevenciniais;
- atliekant išmetamųjų dujų valymą.

Prevencinis metodas - tai metodas, kai daug teršalų išskiriantys procesai keičiami mažiau taršiais procesais, keičiant kurą į mažiau taršesnę arba tobulinant teršalus išskiriantį technologinį procesą.

Taršos mažinimo metodai parenkami pagal [13]:

- reikalingą išvalymo laipsnį;
- įrenginių praktiškumą;
- ekonomiškumą.



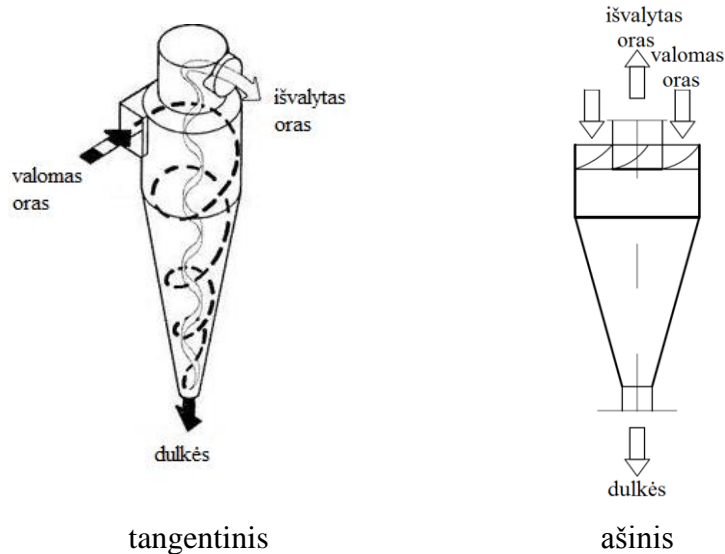
2 pav. Dūmų išvalymo nuo kietųjų dalelių būdai [14].

1.6.1. Ciklonai ir multiciklonai

Šis kietųjų dalelių valymo būdas yra pagrįstas išsodinant kietąsias daleles išcentrine jėga. Ciklonai daugiausia naudojami pirminiam dujų valymui, tačiau norint gerai išvalyti orą, jis turi būti valomas papildomai kitais valymo įrenginiais, kadangi ciklono išvalymo efektyvumas nedidelis.

Ciklonai skirstomi į dvi rūšis pagal dujų įvedimo kryptį [13]:

- tangentinius;
- ašinius.



3 pav. Ciklono konfigūracijos [13].

Ašiniai ciklonai tinkamesni didelių debitų dujų valymui, todėl praktikoje dažniau sutinkami tangentiniai ciklonai.

Į cikloną patekęs dujų srautas, sukasi tangentės kryptimi. Kietosios dalelės veikiamos išcentrinės jėgos tolsta nuo įrenginio centro ir atsimušusios į sienelę krenta žemyn. Kūgio formos ciklono dalis yra siaurėjanti, todėl išcentrinės jėgos veikimas, leidžiantis žemyn, vis didėja. Toliau dujų srautas keičia kryptį, kyla iš apačios į viršų, kas dalelėms tampa kliūtimi, ir pro vertikalų išvedimo vamzdį, kuris panaikina susidarančius sukurius, išleidimo vamzdžiu tiekiamos į kitus valymo įrenginius. Dėl didesnės išcentrinės jėgos apatinėje dalyje išsėda daugiau smulkesnės dalelės.

Ciklono efektyvumą lemia:

- dujų srauto įvedimo ir išvedimo kryptių geometriniai parametrai;
- ciklono skersmuo;
- ciklono aukštis;
- dujų debitas;
- dalelių dydis.

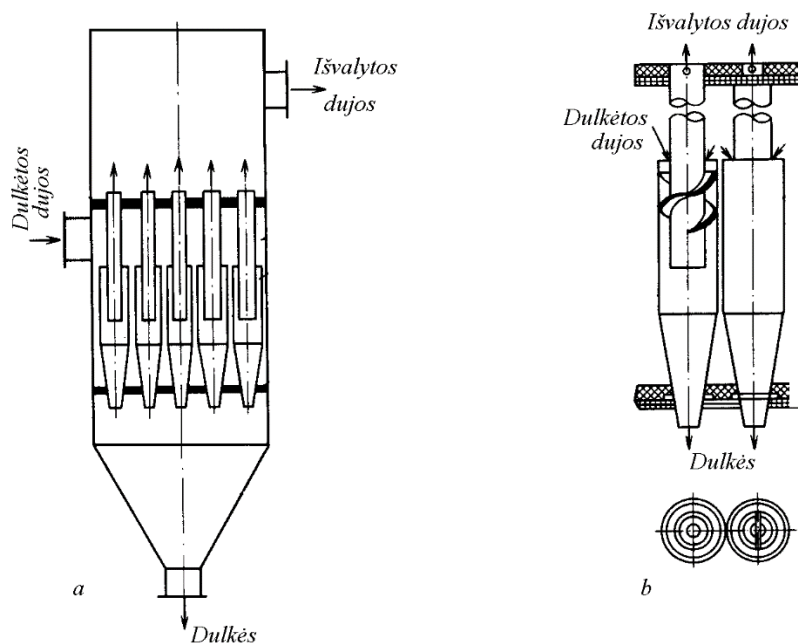
Kai reikalinga valyti dideliės teršalų koncentracijos dujų kiekius, vietoje vieno didelio skersmens ciklono naudojami keli mažesnio skersmens ciklonai, sumontuoti viename korpuse. Tokie įrenginiai vadinami multiciklonais [13].

Dalelių išvalymo iš dujų laipsnis ciklonuose:

- 30 – 85 %, kai dalelių skersmuo 5 μm ;
- 70 – 95 %, kai dalelių skersmuo 10 μm ;
- 95 – 99 %, kai dalelių skersmuo 20 μm .

Dalelių išvalymo iš dujų laipsnis multiciklonuose:

- 65 – 85 %, kai dalelių skersmuo 5 μm ;
- 85 – 90 %, kai dalelių skersmuo 10 μm ;
- 90 – 99 %, kai dalelių skersmuo 20 μm .



4 pav. Multiciklono schema: a – bendras vaizdas, b – elementas su „sraigtu“ [13]

1.6.2. Filtrai

Filtrų paskirtis yra sulaukyti daleles, o jų konstrukcijų ir tipų būna įvairių. Pagal filtravimo medžiagą filtrai skirstomi į dvi grupes:

- audininius filtrus;
- įkrautinius filtrus.

Pagal konstrukcijas audininiai filtrai praktikoje sutinkami dažniau, todėl jie skirstomi į:

- rankovinius;
- kišeninius.

Rankovinis filtras yra labai efektyvi ir dažnai sutinkama kietųjų dalelių valymo technologija. Toks filtras dažniausiai naudojamas pramonėje ir nedideliems deginimo įrenginiams. Rankoviniame filtre dujos valomos tekant joms per specialios pluoštinės medžiagos rankoves, kurios sulaiko kietąsias daleles. Rankovinių filtrų medžiaga turi būti reguliariai valoma. Pagal filtravimo medžiagos valymo būdą filtrai skirstomi į atskirus tipus:

- valymas grįžtančiu dujų srautu;
- mechaninis nupurtymas;
- valymas suspausto oro impulsu.

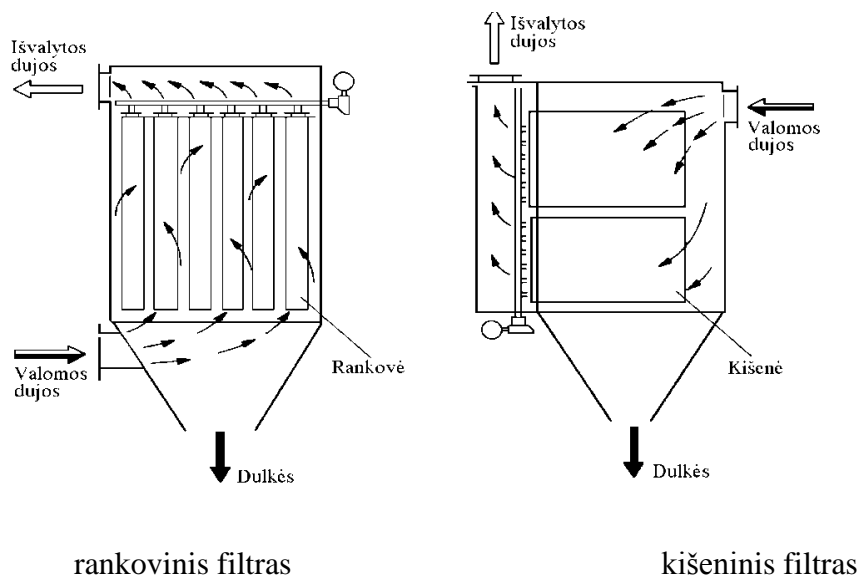
Filtras veikia cikliška – po ilgos valymo fazės seka trumpas valymas. Rankovių vidinėje pusėje susikaupę pelenai subyra į apačioje esančius surinkimo bunkerius. Filtruojanti medžiaga parenkama pagal gaudomų dalelių dydį, sudėtį bei dujų temperatūrą [13].

Rankovinių filtrų trūkumai:

- nedidelis mechaninis atsparumas;
- užsikimšimo pavojus;
- mažas terminis atsparumas;
- mažas cheminis atsparumas.

Rankovinių filtrų privalumai:

- didelis išvalymo efektyvumas;
- pigi eksploatacija.



5 pav. Audininiai filtrai [13].

1.7. Nusodinimas elektrostatiniame lauke

Elektrostatinio nusodinimo procesas apima užteršto įtekamo oro jozinaciją tarp elektrodų, įkrovimą, pernešimą ir užterštų dalelių nusodinimą ant priešingo krūvio ženklų įelektintų plokščių, ir dalelių valymą nuo surinkimo plokščių. Dalelės patenkančios į elektrostatinį nusodintuvą gali būti sausų dulkių arba skysčio lašelių pavidalu. Valomas oro srautas pereina kiaurai per elektrostatinį nusodintuvą, bet dalelės yra sulaikomos filtre, ant nusodinimo plokščių.

Jeigu dalelės yra skystos, ant elektrodo nusėdęs skystis nuteka veikiamas gravitacinių jėgų ir surenkamas įrenginio dugne, o jeigu dalelės kietos – nuo elektrodo jos nupurtomos mechaniškai ir atskirta medžiaga kaupiama bunkeryje, esančiame žemiau atskyrimo sekcijos, arba surinktos dalelės nuo elektrodų nuplaunamos skysčiu, dažniausiai vandeniu.

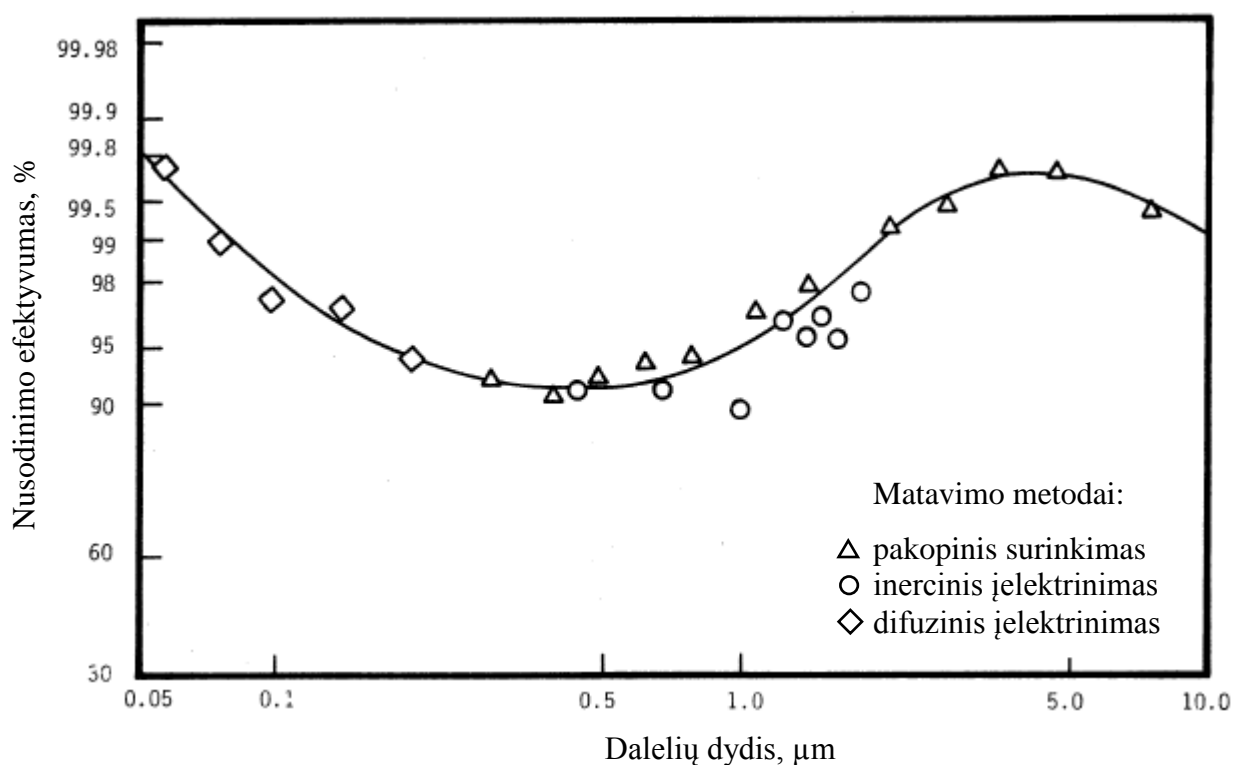
Vieno laipsnio įrenginiai turi neigiamą vainikinę iškrovą, o dviejų laipsnių – teigiamą. Dėl neigiamos vainikinės iškrovos vieno laipsnio įrenginiai išskiria sąlyginai didelį ozono kiekį. Kai išvalytos dujos išmetamos į atmosferą ar toliau naudojamos pramonėje, susidaręs ozono kiekis nėra svarbus. Tačiau, kai išvalytos dujos patenka į gyvenamąją aplinką ar naudojamos oro kondicionavimui, susidaręs ozonas yra nepageidaujamas, todėl naudojama teigiamo krūvio vainikinė iškrova, kuri sąlygoja mažesnį ozono susidarymo kiekį nei neigiamo [15].

1.7.1. Elektrostatinių nusodintuvų paskirtis ir veikimo principas

Elektrostatiniai nusodintuvai sutrumpintai vadinami elektrofiltrais, nors šiuo atveju filtravimo procesas ir nevyksta.

Dalelių šalinimo iš dujinių išlakų technologijoje elektrofiltrai yra plačiai naudojami. Dalelių, kurių skersmuo mažesnis nei $1 \mu\text{m}$, sulaikymo efektyvumas siekia netgi 99,9%, su santykinai mažu slėgio kritimu, jis paprastai mažesnis nei 1,3 cm vandens stulpelio, kuomet dujų debitas yra didesnis nei $100000 \text{ m}^3/\text{h}$. Koncentracija išvalytose dujose būna mažesnė nei $50 \text{ mg}/\text{Nm}^3$, o dujų temperatūra gali siekti iki $450 \text{ }^\circ\text{C}$.

Teoriškai nėra dalelių dydžio ribos, kuri gali būti nusodinama filtre, bet efektyvumas pasiekia minimumą tarp dalelių skersmens nuo $0,1$ iki $10 \mu\text{m}$. Tai iliustruoja 6 paveikslėlis, kuriame pateikiamas dalinis elektrostatinio filtro efektyvumas, įrengtas anglimi kurenamo šildymo katilo išlakoms valyti [13].

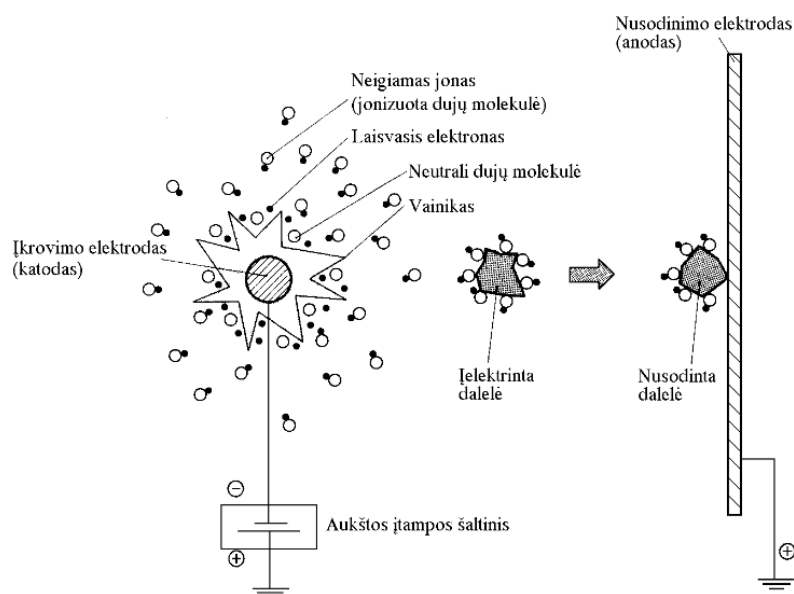


6 pav. Dalinis sulaikymo efektyvumas [17].

Inercinio įelektrinimo atveju elektrinio lauko veikiami ir nusodinančio elektrodo kryptimi judantys jonai susiduria su dalelėmis. Toks įelektrinimo mechanizmas būdingas nusodinant nuo $0,5$ iki $1 \mu\text{m}$ dydžio daleles. 80 % įelektrinimo pasiekama per $0,1$ sekundės. Jonų koncentracija dujose šiuo atveju būna nuo 10^8 iki 10^9 jonų/ cm^3 .

Difuzinio įelektrinimo metu dalelės įgauna krūvį šiluminio jonų judėjimo dėka. Šis procesas būdingas pirmiausia mažesnėms nei $0,2 \mu\text{m}$ dalelėms. Difuzinis įelektrinimo procesas trunka ilgiau, nei inercinis. 80 % įelektrinimo pasiekama per maždaug $0,1$ sekundę.

Įelektrintos dalelės juda link įžeminto nusodinančio elektrodo. Pakeliui jos susiduria su kitomis dalelėmis ir perduoda joms krūvį. Tokiu būdu pasiekiamas krūvis labiau paskirstomas dalelių sraute ir tai pagreitina dalelių nusėdimą. Visa tai pavaizduota 7 paveiksle [13].



7 pav. Elektrostatiųjų dalelių sulaikymo principas [13].

Nusėdusios dalelės turi būti pašalintos, nes priešingu atveju didėja elektrodo elektrinė varža ir tai gali įtakoti nusėdimo procesą.

Nusodinimo laipsnį labiausiai sąlygoja šie dydžiai:

1) Dalelių medžiagos savitoji varža.

Ji svyruoja nuo 10⁴ iki 10¹¹ Ω·cm. Dalelės, turinčios mažesnę varžą, savo krūvį sienelėms atiduoda greitai ir atsitrenkusios grįžta atgal, todėl nenusėda. Esant didesnei dalelių varžai, krūvis atiduodamas lėčiau. Varža priklauso nuo dalelių medžiagos savybių, dujų sudėties ir temperatūros, todėl tam, kad teisingai paruošti filtrą, būtina žinoti deginamo kuro savybes ir deginimo technikos ypatybes.

2) Atstumas tarp elektrodų.

Atstumo tarp elektrodų padidėjimas padidina efektyviųjų dalelių migracijos greitį. Įprastas atstumas yra nuo 200 iki 350 mm padidinamas nuo 400 iki 600 mm.

3) Jonų srautas.

Tai yra srovės, kuri atsiranda dujose dėl vainikinės iškvovos, judėjimo intensyvumas link nusodinančio elektrodo. Šiuo atveju neutralių dujų molekulių konvekcinis judėjimas dalelių pašalinimui gali tiek padėti, tiek ir kliudyti. Dujų srauto greičiui viršijus 1,5 m/s, jonų srauto įtaka daugiau nepastebima.

4) Dujų srauto greitis.

Kartu su juo didėja ir dalelių migracijos greitis, tačiau nusėdusios dalelės gali būti vėl sukuriams perkeltos. Vidutinis dujų greitis filtre paprastai būna 0,5 – 2,5 m/s.

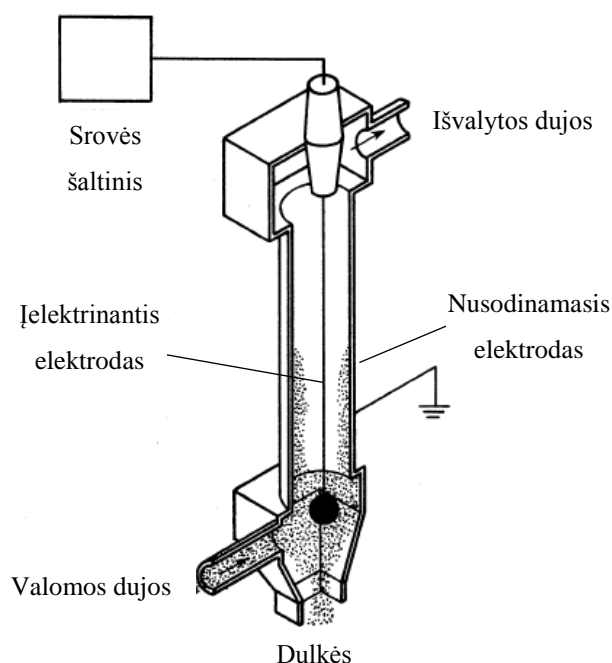
5) Dalelių dydžio efektyvumas.

Didėjant dalelių pasiskirstymo intervalui, mažėja esamo elektrostatinio filtro sulaikymo efektyvumas. Sumažinus dalelių migracijos greitį, toks pats sulaikymo laipsnis pasiekiamas tik atitinkamai padidinus nusodinančio elektrodo plotą [13].

1.7.2. Elektrostatinių nusodintuvų tipai

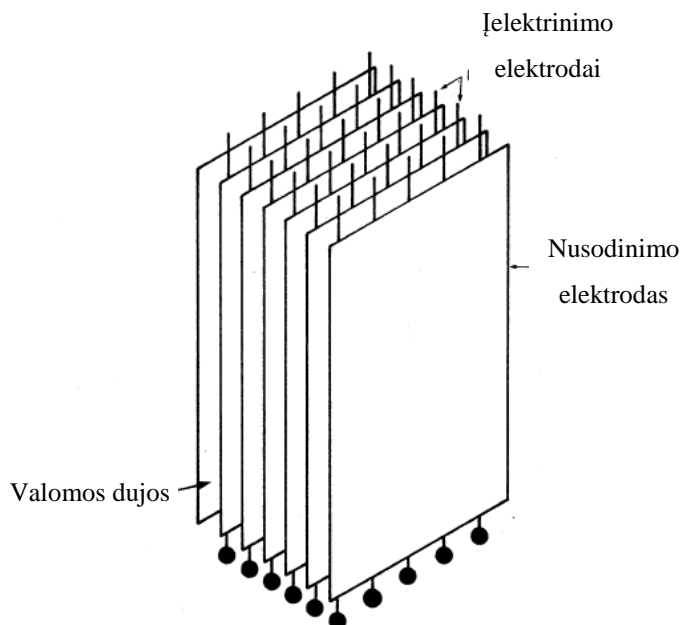
Elektrostatinių filtrų konstrukcijos gali būti įvairios. Pagal formą skiriami vamzdiniai ir plokšteliniai nusodintuvai, iš kurių pastarieji yra labiau naudojami. Pagal drėgmės vaidmenį dalelių sulaikymo procese skiriami sausieji, šlapieji ir kondensaciniai filtrai. Šiuos skirtumus lemia nusodinančiosios sekcijos nuvalymo būdai.

Sausieji elektrofiltrai. Vamzdinis elektrofiltras pavaizduotas 8 paveiksle. Dažniausiai jie įrengti kaip kryžiaus ar korių pavidalo metalinių vamzdelių blokas. Kiekvienas toks vamzdelis yra kaip nusodinimo elektrodas. Jų ilgis būna iki 6 metrų ir skersmuo svyruoja nuo 10 iki 30 centimetrų. Vamzdelio centre yra vielinis įkrovimo elektrodas. Sausojo valymo procesas tokiuose filtruose vyksta pakankamai sunkiai [13].



8 pav. Vamzdinis elektrostatinis nusodintuvas [17].

Dažniau naudojamuose plokšteliniuose elektrofiltruose nusodinantys elektrodai yra lygiagrečios plokštelės, išdėstytos viena nuo kitos 20 – 60 cm atstumu. Tarp plokštelių ištempti vieliniai įkrovimo elektrodai. Valomos dujos įvedamos horizontalia kryptimi, kaip pavaizduota 9 paveiksle [13].



9 pav. Plokštelinio elektrostatinio nusodintuvo schema [17].

Elektrostatiniai nusodintuvai skirstomi pagal dalelių pašalinimo būdą:

- sauso tipo elektrostatinius nusodintuvus, kai nuo nusodinimo elektrodų surinktos dalelės valomos mechaniškai;
- šlapio tipo elektrostatinius nusodintuvus, kai nuo nusodinimo elektrodų dalelės nuplaunamos (dažniausiai vandeniui).

Įelektrinimo ir nusodinimo elektrodai turi būti nuvalomi nukratant ar nudaužant. Sausaisiais elektrofiltrais neįmanoma pasiekti švaresnių dujų nei 20 mg/Nm^3 .

Šlapieji elektrofiltrai ypač tinka:

- vandens garais prisotintoms dujoms valyti;
- skystiems aerosoliams (pvz. rūgščių rūkui) sulaikyti;
- geram išlakų išvalymui nuo dalelių ar aerosolių;
- kai fizikinės–cheminės dujų savybės neleidžia eksploatuoti sausojo elektrostatinio filtro, pvz. kuomet dalelių sudėtinės dalys esti lipnios ar labai mažo tankio.

Kaip ir sausieji, šlapieji filtrai gali būti tiek vamzdelių, tiek plokštelių konfigūracijų.

Kondensaciniai šlapieji elektrofiltrai dažnai naudojami sulaikant daug problemų sukeliančius druskų aerozolius, kurie susidaro termiškai nukenksminant labai druskingas nuotekas ar pavojingas atliekas. Šie aerozoliai yra labai smulkūs, nuo 0,02 iki 0,04 μm , bet jų koncentracija už katilo gali būti apie 30 g/m^3 . Kitais didelio efektyvumo nusodintuvais, tokiais kaip Venturi Skruberiais ar pluoštiniais filtrais, minimalus išvalymo laipsnis nepasiekiamas. Dėl minėtos mechaninio elektrodų nuvalymo problemos sausieji elektrostatiniai nusodintuvai taip pat šiam reikalui netinka.

Kondensaciniuose šlapiuosiuose elektrofiltruose dujos prieš valymą atšaldomos nuo 300 $^{\circ}\text{C}$ iki 70 $^{\circ}\text{C}$ ir tuo būdu prisotinamos išsikondensavusiais vandens garais. Ant vamzdelių vidinių sienelių kondensuojasi druskų aerozoliais prisotintas vanduo, kuris tuoj pat sudaro 50–150 μm storio kondensato plėvelę. Ši plėvelė tampa įžeminta ir veikia kaip slenkantis nusodinantis elektrodas.

Kadangi šiuo atveju filtro sienelės neatlieka nusodinančio elektrodo funkcijų, tai jos gali būti gaminamos iš korozijai atsparių medžiagų. Kuomet dulkių kiekis valomose dujose yra pakankamai didelis, tai pastoviai tekančio kondensato srauto dėka išvengiama susikaupusio dulkių sluoksnio susidarymo ant sienelių. Dėl vandens paviršiaus įtempimo gerai pašalinamos ir vandenyje netirpios dulkės bei suodžiai. Kondensaciniais šlapiaisiais filtrais tai pasiekama jau pirmoje valymo pakopoje [13].

1.7.3. Elektrostatinio filtro privalumai ir trūkumai

Pagrindiniai privalumai ir trūkumai [20]:

- labai aukštas efektyvumas pasiekiamas sulaikant net ir submikronines daleles;
- mažas slėgio kritimas filtre;
- maži eksploataciniai kaštai;
- sudėtinga pakeisti pastatymo metu nustatytas eksploatacines sąlygas;
- efektyvumas mažėja augant dalelių specifinei elektrinei varžai.

1.8. Priežeminis ozonas

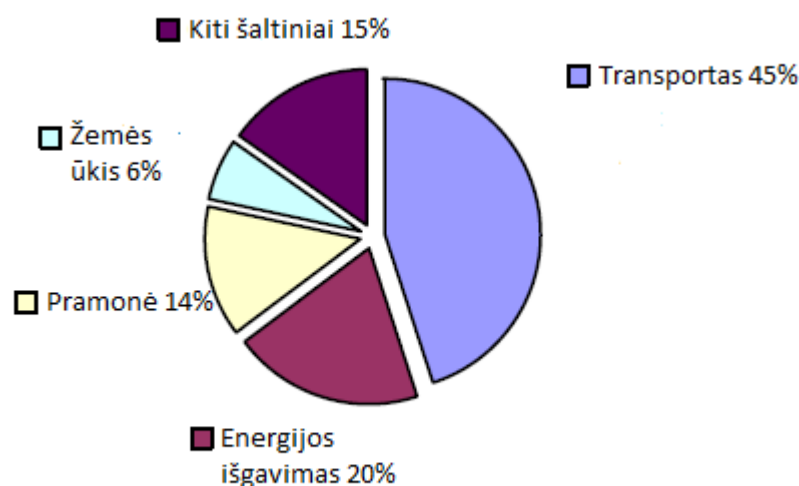
Lietuvos nacionalinė darnaus vystymosi strategija siekia mažinti oro taršą, tenkančią vienam vienietui BVP ir užtikrinti tarptautinių įsipareigojimų vykdymą oro taršos srityje. Priežeminis ozonas (O_3) yra vienas svarbiausių antrinių oro teršalų, kuris yra priskiriamas prie žalingų aplinkai ir kenksmingu žmonių sveikatai, bei yra viena iš pagrindinių oro taršos problemų miestuose.

Priežeminis arba troposferos ozonas yra vienas didžiausių antrinių oro teršalų. Nors troposferos sluoksnis yra tik apie 10% iš viso atmosferoje esančio ozono, bet kiekvienais metais auganti priežeminio

ozono koncentracija, esanti iki 2 kilometrų aukščio nuo žemės paviršiaus, tampa vis aktualesne oro taršos problema pasaulyje.

Priežeminis ozonas gali neigiamai veikti visus gyvus organizmus – augalus, gyvūnus ir žmones. Jis taip pat turi didelę įtaką susidarant fotocheminiui smogui ir prisidedant prie šiltnamio efekto. Per pastaruosius 50 metų, priežeminis ozono koncentracija padvigubėjo.

Pagrindiniai priežeminio ozono šaltiniai yra azoto oksidai NO_x , anglies monoksidas CO, lakieji organiniai junginiai LOJ, bei metanas CH_4 , kuris vykstant sudėtingiems fotocheminiams procesams kartu su ultravioletiniais spinduliais sudaro antrinį teršalą – priežeminį ozoną. Visame pasaulyje pastebima, kad priežeminio ozono koncentracija didėja kasmet. Priežeminis ozono koncentracijos augimas, per pastaruosius 20 metų pastebimas ir Lietuvoje. Kai kurie tyrimai rodo, kad priežeminis ozono lygis daro didelį ilgesnio veikimo poveikį, kuris priklauso nuo vietos veiklos, ypač didelės transporto įtakos oro kokybei Lietuvoje [21].



10 pav. Priežeminio ozono koncentracijos išsiskiriančios iš skirtingų sektorių [21].

1.9. Ozono mažinimo būdai

Yra keletas prevencinių būdų, kaip kiekvienas galime sumažinti ozono taršą [22] [23]:

- ribotas automobilių naudojimas pietų ir vakaro metu, ypač nuo pavasario pabaigos iki rudens pradžios;
- nenaudoti sodo technikos su vidaus degimo varikliais;
- nedeginti laužų ar nenaudoti lauko grilių;

- įsitikinti, jog transporto priemonių padangos pripūstos tinkamai;
- naudoti ekologiškus dažus, valymo produktus bei biuro prietaisus;
- taupyti energiją – namuose, darbe, ir t.t.;
- sodinti medžius – ekonomiškai efektyviausias būdas mažinti pažeminį ozoną.

1.10. Patalpų oro kokybė

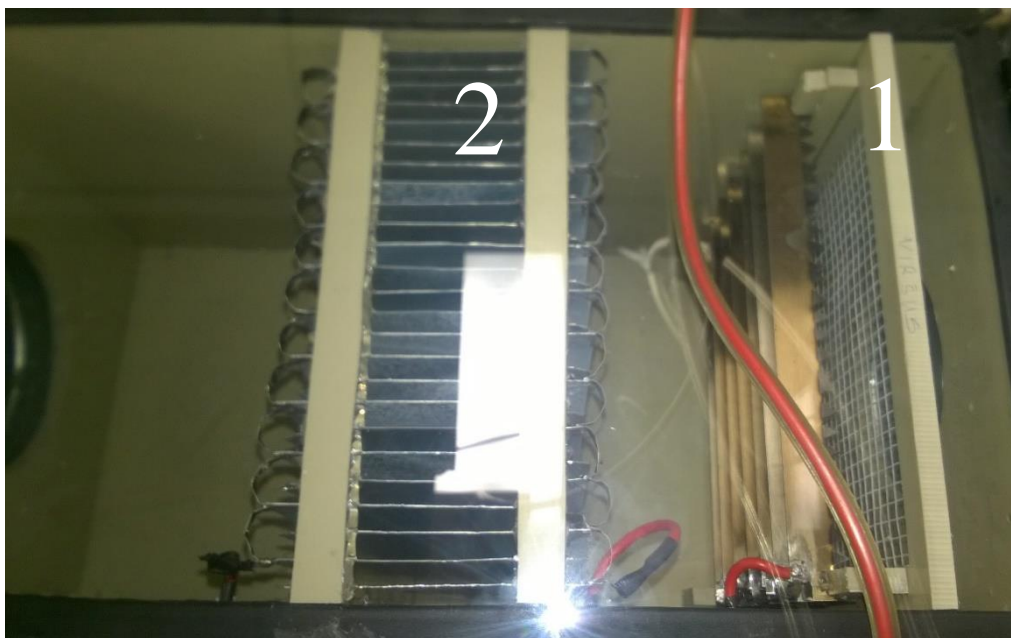
Paskutiniaisiais metais vis dažniau kalbama apie patalpų oro kokybę, jos poveikį sveikatai. Naujų pastatų statybos ypatumai suteikė galimybę padidinti energijos efektyvumą gyvenamuosiuose būstuose, naujos statybos pastatai tapo labiau sandarūs, lyginant su seniau pastatytais. Naujausiose statybos technologijose naudojama daug sintetinių statybinių medžiagų. Esant šiems patobulinimams atsiranda patogesni pastatai, tai leidžia sumažinti jų eksploataavimo išlaidas, tačiau tai taip pat susiję su vidaus patalpų oro tarša, kuri gali būti net didesnė už išorės.

Žmonės per mažai rūpinasi vidaus patalpų oro kokybe, jų susirūpinimas yra nepakankamas lyginant su aplinkos oro tarša. Paskutiniaisiais dešimtmečiais išorės aplinkos oro kokybė yra griežtai prižiūrima, daugumai teršalų nustatytos leistinos normos. Ne ką mažesnę dėmesį reikia atkreipti į vidaus oro kokybę, kadangi šioje vietoje mes praleidžiame didžiąją savo laiko dalį [25].

2. TYRIMŲ METODIKA

2.1. Elektrostatinio nusodintuvo projektavimas

Dalelių nusodinimo efektyvumui elektrostatiniame lauke nustatyti reikalingas elektrostatinis filtras, kuris buvo pagamintas laboratorijoje. Elektrostatinio filtro matmenys yra nedideli, kadangi filtras projektuotas ir pagamintas vidaus patalpų oro valymui. Pirmiausia pagaminta filtro dėžė, kurios aukštis – 0,22m, plotis – 0,21m, ilgis – 0,4m. Filtro dėžės galuose padarytos 0,1 m skersmens skylės ir ten pritvirtinti atvamzdžiai, tam, kad tyrimo metu būtų galima lengvai primontuoti ventiliatorių, dalelių ištraukimui į lauką, ir nebulizatorių, generuojamų dalelių įpurškimui į filtrą. Sukonstravus filtro dėžę, toliau buvo konstruojamos ir įmontuotos įelektrinimo bei nusodinimo sekcijos.

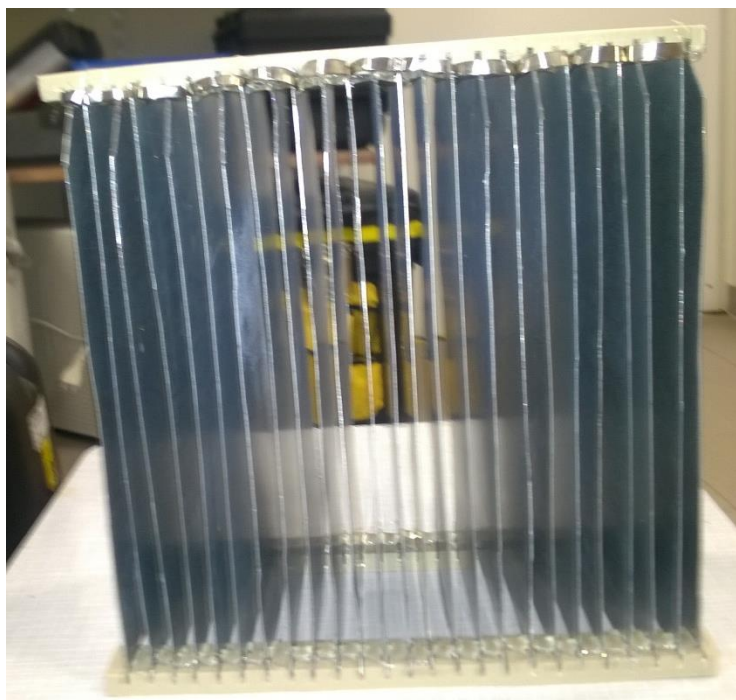


11 pav. Įelektrinimo ir nusodinimo sekcijos įtvirtintos elektrostatiniame filtre.

Pagaminta kvadrato formos (21 cm x 21 cm) įelektrinimo sekcija pavaizduota 11 paveikslėlyje, pažymėta skaičiumi 1. Ji įtvirtinta vertikaliai filtro dėžėje. Vainikinis išlydis susidaro vieno centimetro pločio tarpelyje tarp aliuminio vielos tinklelio ir nerūdijančio plieno pjūklų. Aliuminio vielos tinklelio matmenys 5 mm x 5 mm, prijungto prie neigiamo poliaus, ir 1 mm storio nerūdijančio plieno pjūklų, sujungtų tarpusavyje ir prijungtų prie teigiamo poliaus. Iš viso panaudoti 7 pjūklai, sumontuojant juos lygiagrečiai, dviejų centimetrų atstumu. Įelektrinimo sekcijos rėmas, bei visas filtras, pagamintas iš chemiškai stabiliomis savybėmis pasižyminčios polipropileno plokštės. Ši sekcija įmontuota filtro

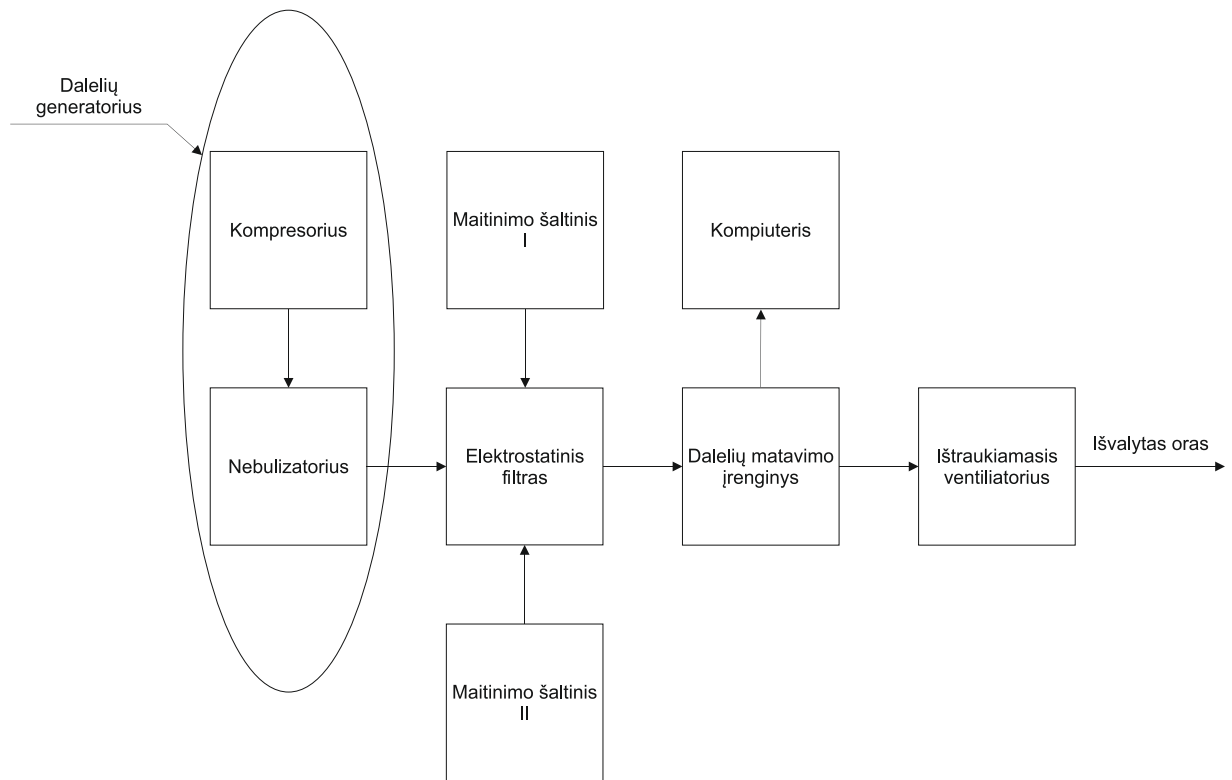
pradžioje ir reikalinga suteikti krūvį aerozolio dalelėms tam, kad vėliau galima būtų jas nusodinti nusodinimo sekcijoje.

Nusodinimo sekcija pavaizduota 11 paveikslėlyje, pažymėta skaičiumi 2. Sekcija sudaryta iš cinkuotos skardos plokštelių, kur kiekvienos ilgis – 0,1 m, o aukštis – 0,2 m, plokštelių skaičius sekcijoje – 25 vnt. Šios plokštelės įtvirtintos vertikaliai su 8mm tarpu tarp kiekvienos jų. Nusodinimo sekcija buvo įmontuota aštuonių centimetrų atstumu nuo įelektrinimo sekcijos, išilgai oro judėjimo kryptimi. Tam, kad susidarytų įtampa tarp plokštelių, kiekviena jų atitinkamai buvo prijungta prie teigiamo arba neigiamo poliaus. Analogiškai buvo sukurta dar viena nusodinimo sekcija pavaizduota 12 paveiksle, kuri tyrimo metu, tam tikrais atvejais, buvo įmontuota į filtrą ir naudojama kartu su pirmąja.



12 pav. Nusodinimo sekcija.

Elektrostatinio filtro veikimas pagrįstas naudojant aukštos, pastovios įtampos maitinimo šaltinius. Principinė stendo schema pavaizduota 13 paveikslėlyje.



13 pav. Nanodalelių tyrimo stendo schema.

2.2. Elektrostatinio filtro techninių parametrų skaičiavimas

Skaičiavimai atlikti remiantis „Air Pollution Control. A Design Approach. Fourth Edition“ knygos metodika [20].

Srauto skerspjūvio plotas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$F_c = h \cdot l \cdot (n - 1); \quad (2.1)$$

kur: h – plokštelių aukštis, m;

l – plokštelių plotis, m;

n – plokštelių skaičius, vnt.

Surinkimo plokštelių ilgis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$l = h \cdot 0,5; \quad (2.2)$$

kur: h – surinkimo plokštelių aukštis, m;

Molekulės laisvasis kelias apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\lambda = \frac{\mu}{0,499 \cdot \rho \cdot u}; \quad (2.3)$$

kur: μ – valomųjų dujų klampa, Pa·s;
 ρ – valomųjų dujų tankis, kg/m³;
 u – dujų molekulės greitis, m/s.

Dujų molekulių greitis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$u = \sqrt{\frac{8 \cdot R \cdot T}{\pi \cdot M}}; \quad (2.4)$$

kur: R – universalioji dujų konstanta lygi 8,314;
 T – valomųjų dujų temperatūra, K;
 π – koeficientas, kuris lygus 3,14;
 M – dujų molinė masė, kg/mol.

Dalelės krūvis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$q_p = \frac{3 \cdot k}{k+2} \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot d^2 \cdot E; \quad (2.5)$$

kur: k – dielektrinė konstanta;
 π – koeficientas, kuris lygus 3,14;
 ε_0 – dielektrinio skvarbumo konstanta, F/m;
 d – šalinamų dalelių skersmuo, μm ;
 E – elektrinio lauko stiprumas, V/m;

Elektrinio lauko stiprumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$E = \frac{U}{b}; \quad (2.6)$$

kur: U – įtampa tarp elektrodų, V;

b – tarpas tarp plokštelių, m.

Dielektrinė konstanta apskaičiuojama pagal formulę:

$$k = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}; \quad (2.7)$$

kur: ϵ – dalelės dielektrinis skvarbumas, C/V·m;

ϵ_0 – dielektrinio skvarbumo konstanta, C/V·m.

Plokštelių plotas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$A = A_p \cdot (n - 1) \cdot N_s; \quad (2.8)$$

kur: A_p – dvipusis plokštelės plotas;

n – plokštelių skaičius;

N_s – sekcijų skaičius.

Dvipusis plokštelės plotas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$A_p = 2 \cdot h \cdot l; \quad (2.9)$$

kur: h – plokštelės aukštis, m;

l – plokštelės ilgis, m.

Elektrostatinio filtro efektyvumas η , % apskaičiuojamas:

$$\eta = 1 - e^{\left(-\frac{w \cdot A}{Q}\right)}; \quad (2.10)$$

kur: w – dalelės judėjimo elektrostatiniame lauke greitis, m/min;

Q – valomųjų dujų debitas, m³/h;

A – surinkimo plokštelių plotas, m².

2.3. Ekonominės dalies skaičiavimas

Savikaina S , Eur:

$$S = \frac{I}{Q}; \quad (2.11)$$

kur: I – sąnaudos, vienam vienetui oro valyti, Eur;

Q – įrenginio debitas, m³/metus.

Išlaidos elektros energijai, I :

$$I = E \cdot t; \quad (2.12)$$

kur: E – sunaudotas elektros energijos kiekis, kWh;

t – vienos kilovatvalandės kaina, Eur.

Įrenginio sunaudotas elektros energijos kiekis, E_j , kWh:

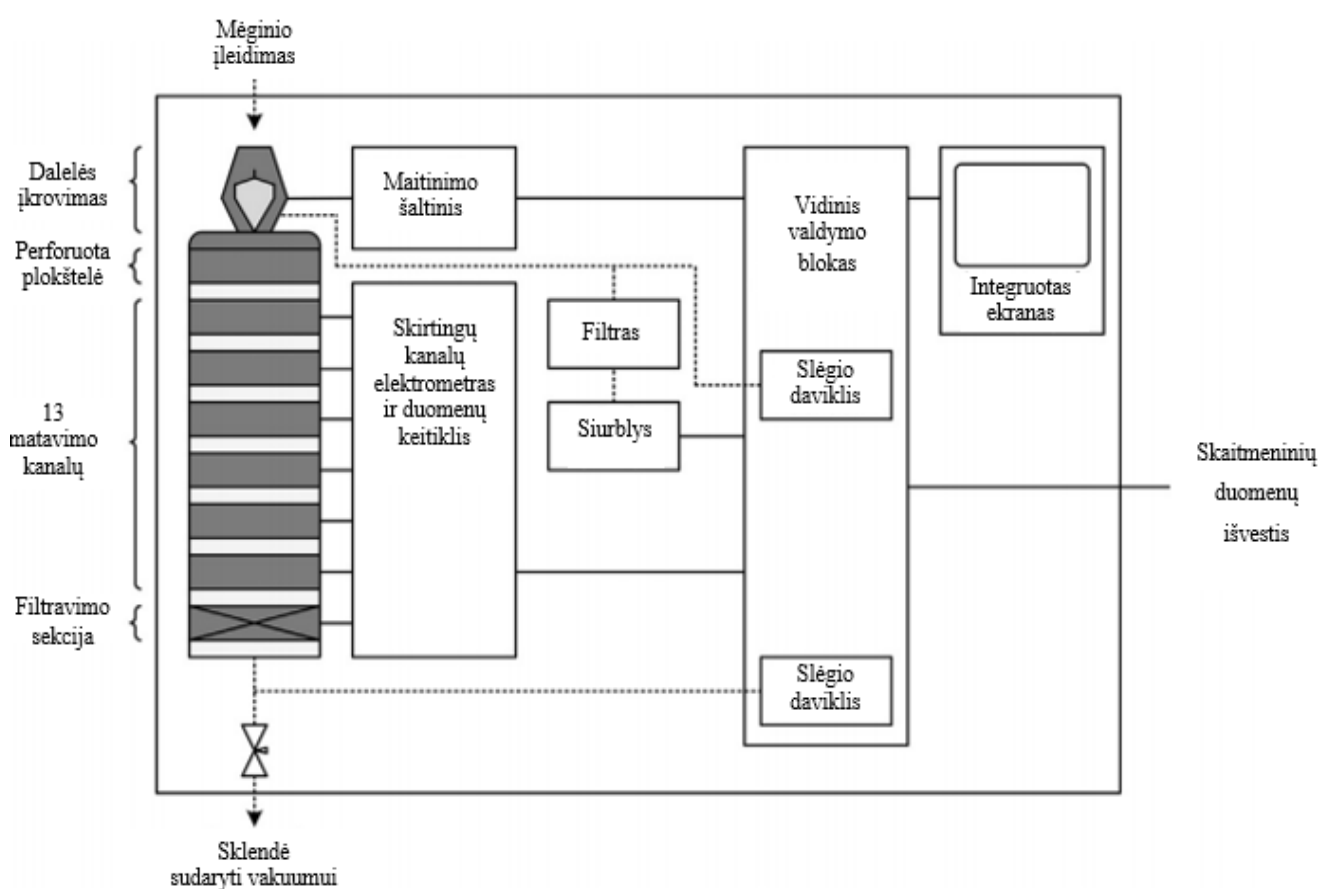
$$E_j = P \cdot t \cdot 182; \quad (2.13)$$

Kur: P – įrenginio galingumas, kW;

t – įrenginio darbo trukmė, h/parą.

2.4. Aerozolių dalelių matavimo įranga

Aerozolių dalelių matavimui buvo panaudotas elektrinis žemo slėgio impaktorius (ELPI+, Decati, Suomija), kuris leidžia stebėti dalelių dydžio ir koncentracijų matavimus realiu laiku. „ELPI+“ prietaisu galima atlikti plataus intervalo, nuo 6 nm iki 10 μm , dalelių dydžio matavimus. Mėginių įsiurbimo greitis – 10 l/min. „ELPI+“ impaktorius turi 14 kanalų, ant kiekvieno kanalo filtro yra surenkama skirtingos frakcijos aerozolių dalelės, kas leidžia, reikalui esant, atlikti tam tikro dydžio dalelių cheminę analizę. Šis matavimo prietaisas puikiai tinka ilgalaikiai oro kokybės stebėsenai, taip pat turi automatinę funkciją, kuri leidžia charakterizuoti skirtingo krūvio dalelių pasiskirstymą, pavyzdžiui, nustatyti elektrostatinio filtro efektyvumą [28]. 14 paveikslėlyje pateikiama „ELPI+“ prietaiso schema:



14 pav. „ELPI+“ dalelių matavimo prietaiso schema [28].

2.5. Ozono matavimas

Susidarančio ozono (O_3) matavimui buvo naudojamas oro kokybės monitorius (IQM-60, Aeroqual, Naujoji Zelandija). Šis prietaisas vienu metu gali matuoti kompleksines dujas, temperatūrą, drėgmę ir daleles. IQM-60 monitoriuje naudojami fotojonizacijos detektorius ir nedispersiniai

infraraudonieji jutikliai gali atlikti ne tik ozono (O₃), bet ir anglies dioksido (CO₂), anglies monoksido (CO), lakių organinių junginių (LOJ) ir azoto dioksido (NO₂) tikslius matavimus [29].

2.6. Tyrimo planas

2.6.1. Eksperimentas naudojant skirtingas maitinimo šaltinių įtampas

Sukonstravus elektrostatinį filtrą su įmontuota viena nusodinimo sekcija buvo sudarytas tyrimo planas. Tyrimo metu aerozolių dalelėms generuoti buvo pasirinktas NaCl tirpalas bei skirtingos jo koncentracijos, t.y. 1 g/l, 10 g/l. Pasigaminus skirtingos koncentracijos tirpalus, išmatuota pradinė generuojamų dalelių koncentracija filtrui neveikiant. Toliau buvo atliekamas eksperimentas jau atliekant oro valymą, filtrui veikiant su skirtingomis maitinimo šaltinių įtampomis:

1. Kai filtre veikia tik jonizatoriaus sekcija, intervale 10 – 15 kV, žingsniu kas 1kV.
2. Kai filtre veikia tik kolektoriaus sekcija, intervale 5 – 8 kV, žingsniu kas 1 kV.
3. Kai filtre veikia jonizatoriaus ir kolektoriaus sekcijos kartu (žr.: 2 lentelę)

2 lentelė. Elektrostatinio filtro įelektravimo ir nusodinimo sekcijų veikimo režimai.

NaCl 1 g/l koncentracijos	
K–5 kV, J–10 kV	K–8 kV, J–10 kV
K–5 kV, J–11 kV	K–8 kV, J–11 kV
K–5 kV, J–12 kV	K–8 kV, J–12 kV
K–5 kV, J–13 kV	K–8 kV, J–13 kV
K–5 kV, J–14 kV	K–8 kV, J–14 kV
K–5 kV, J–15 kV	K–8 kV, J–15 kV

*K – kolektorius;

*J – jonizatorius.

Atlikus eksperimentą generuojamų dalelių tirpalo koncentracija buvo pakeista į 10 g/l, išmatuota pradinė generuojamų dalelių koncentracija be valymo. Tada, lygiai taip pat kaip prieš tai, keičiant srovės šaltinių įtampas, atlikti matavimai filtrui veikiant.

Atlikus matavimus su viena nusodinimo sekcija, buvo įmontuota antra sekcija. Eksperimentas pakartotas lygiai taip pat, kaip prieš tai šiame skyriuje aprašyti matavimai su viena nusodinimo sekcija. Sekančiame tyrimo etape buvo atliekami matavimai su skirtingais oro debitais.

2.6.2. Eksperimentas naudojant skirtingus oro debitus

Pradžioje eksperimentui buvo naudojamas elektrostatinis filtras su viena nusodinimo sekcija. Dalelių generavimui buvo naudojamas 1 % tirpalas. Matavimai atlikti prie skirtingų oro debitų: 15 m³/h, 30 m³/h, 45 m³/h. Pirmame šio eksperimento etape su kiekvienu debitu buvo atliekami be valymo veikiančio filtro dalelių matavimai. Tuomet filtrui veikiant, bei naudojant minimalią ir maksimalią maitinimo šaltinio įtampą: įelektrinimo sekcijoje, nusodinimo sekcijoje ir šioms sekcijoms veikiant kartu. Eksperimento metu atlikti matavimai pateikti žemiau esančioje 3 lentelėje.

3 lentelė. Elektrostatinio filtro veikimo režimai, keičiant oro debitą.

15 m ³ /h	30 m ³ /h	45 m ³ /h
J-10 kV	J-10 kV	J-10 kV
J-15 kV	J-15 kV	J-15 kV
K-5 kV	K-5 kV	K-5 kV
K-8 kV	K-8 kV	K-8 kV
K-5 kV, J-10 kV	K-5 kV, J-10 kV	K-5 kV, J-10 kV
K-5 kV, J-15 kV	K-5 kV, J-15 kV	K-5 kV, J-15 kV
K-8 kV, J-10 kV	K-8 kV, J-10 kV	K-8 kV, J-10 kV
K-8 kV, J-15 kV	K-8 kV, J-15 kV	K-8 kV, J-15 kV

*J – jonizatorius;

*K – kolektorius.

Pirma eksperimento dalis pakartota į elektrostatinį filtrą įmontavus antrą nusodinimo sekciją ir joms veikiant kartu.

Antrame šio eksperimento etape debitas keistas platesniame intervale, nuo 15 m³/h iki 90 m³/h, žingsniu kas 15 m³/h, kai generuojamų dalelių tirpalo koncentracija – 10 %. Tačiau šiame etape filtro veikimas buvo pastovus, kai jonizatoriaus sekcijos įtampa – 15kV, o kolektoriaus sekcijos įtampa – 5kV. Kiekvieną kartą pakeitus debitą, iš pradžių atliekamas „tuščias“ matavimas, t.y. kai elektrostatinis filtras neveikia, o po to įjungus filtro maitinimo šaltinius. Matavimai buvo atliekami filtre su viena nusodinimo sekcija, po to įmontavus antrą sekciją, pakartotas antras eksperimento etapas.

2.6.3. Eksperimentas su realiomis oro sąlygomis patalpoje

Šioje dalyje eksperimentas buvo atliekamas dviem etapais, kai elektrostatiame filtre sumontuotos dvi nusodinimo sekcijos, generuojamų dalelių tirpalo koncentracija – 10 %.

Pirmame oro debitas laikomas pastovus – 30 m³/h, o maitinimo šaltinių įtampos buvo keičiamos. Kolektoriaus įtampa laikoma pastovi – 5kV, o jonizatoriaus įtampa didinama nuo 10 kV iki 15kV, kas 1kV. Tada kolektoriaus įtampa pakelta iki 8kV, o jonizatoriaus įtampa didinama taip pat, nuo 10 kV iki 15kV, kas 1kV.

Antrame etape buvo keičiamas oro debitas, kai elektrostatinis filtras veikė kolektoriaus įtampai esant 5kV, o jonizatoriaus 15kV ir kolektoriaus įtampai esant 8kV, o jonizatoriaus 15kV. Oro debitas buvo didinamas nuo 30 m³/h iki 90 m³/h, kas 15 m³/h. Kas kartą pakeitus padidinus debitą, pradžioje išmatuojamas generuojamas dalelių kiekis prieš valymą, po to išmatuotas dalelių kiekis po valymo.

2.6.4. Susidaranti ozono koncentracijos

Oro kondicionavimo sistemose veikiant aukštai (virš 12kV) įtampai susidaro ozonas (O₃), todėl buvo atlikti matavimai, nustatyti likutinio ozono kiekį. Šio eksperimento metu elektrostatinis filtras veikė su dvejomis nusodinimo sekcijomis. Generuojamų dalelių tirpalo koncentracija – 10 %, o oro debitas pastovus 30 m³/h. 4 lentelėje pateikti skirtingi filtro veikimo režimai, matuojant ozono koncentracijas.

4 lentelė. Elektrostatinio filtro veikimo režimai matuojant ozono koncentracijas.

O ₃
J-15 kV
K-8 kV
K-5 kV, J-10 kV
K-5 kV, J-15 kV
K-8 kV, J-10 kV
K-8 kV, J-15 kV

*J – jonizatorius;

*K – kolektorius.

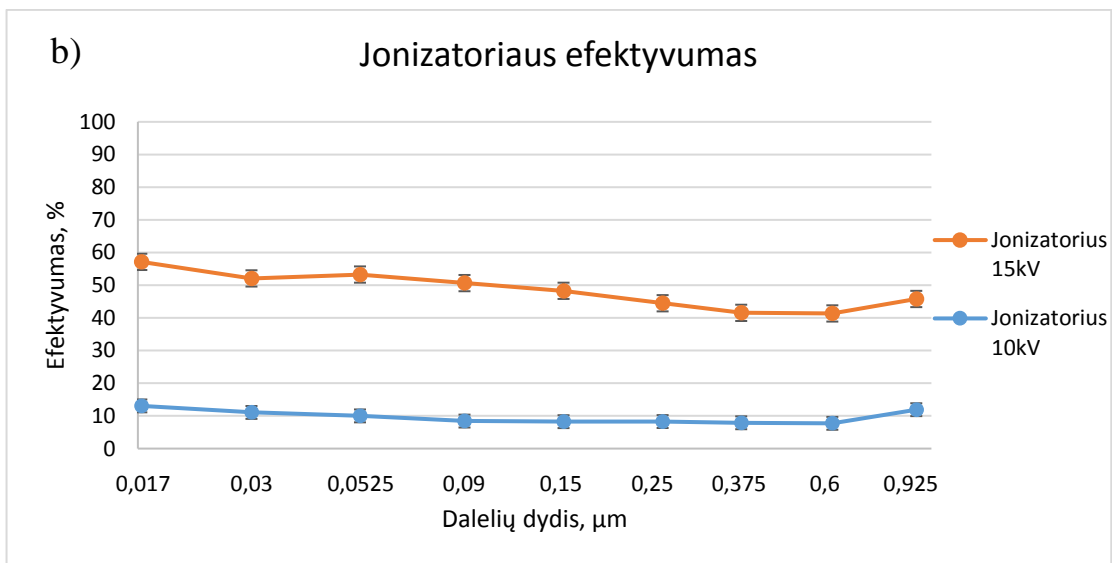
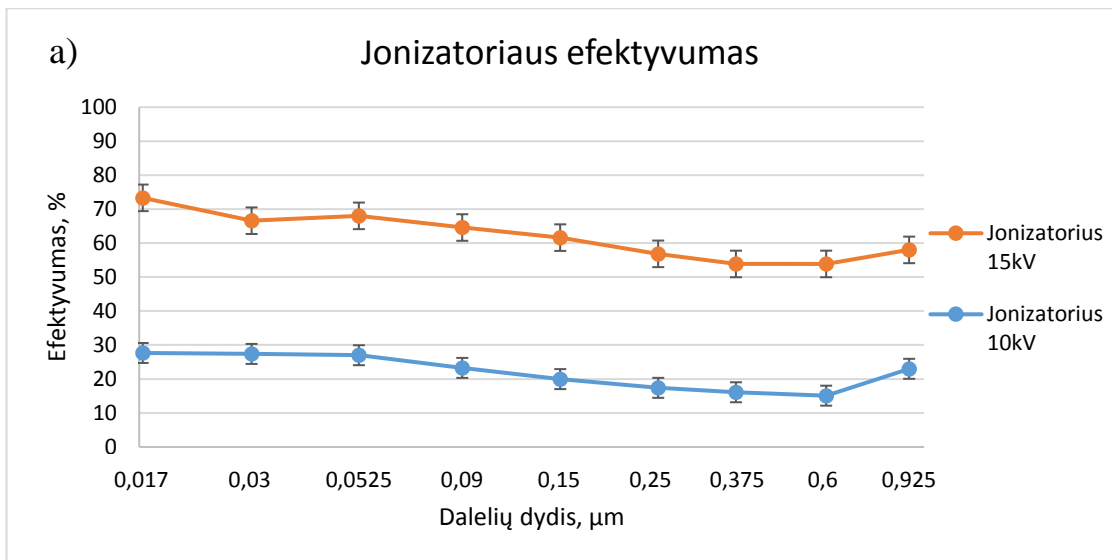
3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

3.1. Skirtingos įtampos įtaka dalelių sulaikymo efektyvumui.

3.1.1. Įelektrinimo sekcijos įtaka

Aerozolių dalelėms generuoti buvo naudojamas 1% koncentracijos NaCl tirpalas, o oro debitas buvo laikomas pastovus, t.y. 30 m³/h. Dalelių sulaikymo efektyvumas didėja didinant įelektrinamojo elektrodo įtampą, tai parodo 15 paveikslas. Paveiksle 15a pavaizduotas elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumas veikiant skirtingoms 10kV ir 15kV įtampoms įelektrinimo sekcijoje, kai naudojamas filtras su viena nusodinamojo elektrodo sekcija, kuri šio tyrimo metu buvo išjungta. Matyti, kad šiuo atveju geriausiai yra sulaikomos 0,017 μm dydžio dalelės, kurių efektyvumas, esant 10kV įtampai, 28%, o padidinus jonizatoriaus įtampą iki 15kV, to paties dydžio dalelių sulaikymo efektyvumas padidėjo iki 73%. Tačiau, kuo dalelės didesnės, tuo sulaikymo efektyvumas yra mažesnis. Blogiausiai sulaikomos esant 10kV įtampai yra dalelės, kurių dydis – 0,6μm, sulaikymo efektyvumas tik 15%, o jonizatoriaus įtampą padidinus iki 15kV, efektyvumas padidėja 54%.

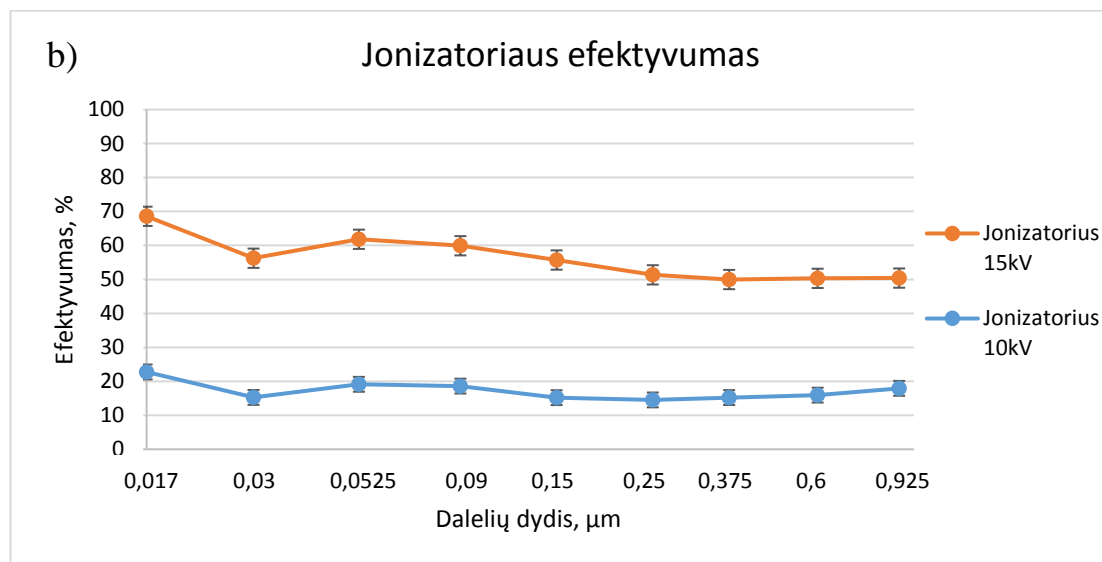
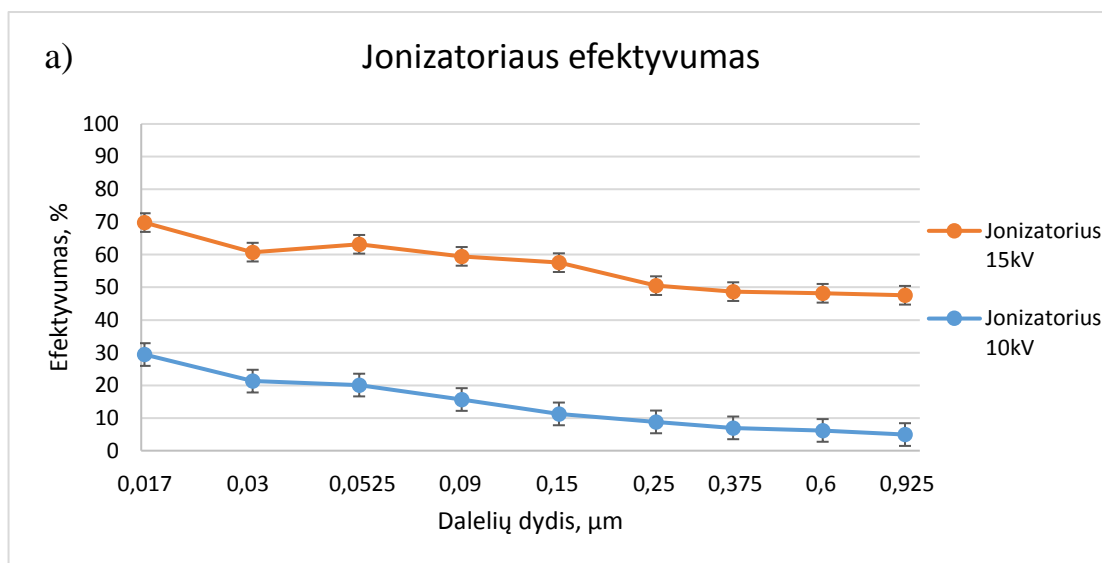
15b paveiksle pavaizduotas elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumas veikiant skirtingoms 10kV ir 15kV įtampoms įelektrinimo sekcijoje, kai naudojamas filtras su dviem nusodinamojo elektrodo sekcijomis, kurios šio bandymo metu buvo išjungtos. Esant 10kV įtampai, didžiausias efektyvumas yra pasiekiamas, kai dalelių dydis – 0,017 μm, bet efektyvumas tesiekia 28%, ir jis dar mažėjo, didėjant dalelių dydžiui. Blogiausiai buvo sulaikomos dalelės 0,6μm, o efektyvumas tesiekia vos 15%. Bet padidinus įtampą iki 15kV efektyvumas ženkliai pagerėjo visame dalelių dydžio intervale, geriausiai sulaikomos, kai jų dydis mažiausias – 0,017μm, o efektyvumas yra 57%, blogiausiai sulaikomos buvo 0,6μm dydžio dalelės, kurių sulaikymo efektyvumas – 41%.



15 pav. Jonizatoriaus efektyvumas purškiant 1% NaCl tirpalą, esant $30 \text{ m}^3/\text{h}$ debitui, kai filtre įmontuota: a) viena kolektoriaus sekcija; b) dvi kolektoriaus sekcijos.

Antru atveju, pakeistas aerozolių dalelėms generuoti reikalingas tirpalas į 10% koncentracijos NaCl tirpalą, o oro debitas paliktas toks pat t.y. $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Paveiksle 16a pavaizduotas elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumas veikiant skirtingoms 10kV ir 15kV įtampoms įelektravimo sekcijoje, o naudojamas filtras su viena nusodinamojo elektrodo sekcija, kuri buvo išjungta. Matyti, kad šiuo atveju geriausiai yra sulaikomos $0,017 \mu\text{m}$ dydžio dalelės, kurių efektyvumas esant 10kV įtampai siekia 29%, tačiau padidinus jonizatoriaus įtampą iki 15kV efektyvumas ženkliai padidėjo iki 70%. Blogiausiai esant 10kV įtampai yra sulaikomos dalelės, kurių dydis – $0,925 \mu\text{m}$, sulaikymo efektyvumas tik 5%. Jonizatoriaus įtampą padidinus iki 15kV, blogiausiai sulaikomos taip pat $0,925 \mu\text{m}$ dydžio dalelės, bet sulaikymo efektyvumas padidėja iki 48%.

16b paveiksle pavaizduotas elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumas veikiant skirtingoms 10kV ir 15kV įtampoms įelektrinimo sekcijoje, o naudojamas filtras su dviem nusodinamojo elektrodo sekcijomis, abi buvo išjungtos. Esant 10kV įtampai, geriausias efektyvumas yra pasiekiamas, kai mažiausias dalelių dydis – 0,017 μm , o efektyvumas tik 23%, blogiausiai sulaikomos – 0,925 μm , sulaikymo efektyvumas 48%. Padidinus įtampą iki 15kV efektyvumas ženkliai pagerėjo, geriausiai sulaikomos dalelės, kai jų dydis – 0,017 μm , o efektyvumas 69%, o blogiausiai sulaikomos buvo šios dalelės: 0,375 μm , 0,6 μm , 0,925 μm . Visų šių dalelių sulaikymo efektyvumai vienodi – 50%.



16 pav. Jonizatoriaus efektyvumas purškiant 10% NaCl tirpalą, esant 30 m³/h debitui, kai filtre įmontuota: a) viena kolektoriaus sekcija; b) dvi kolektoriaus sekcijos.

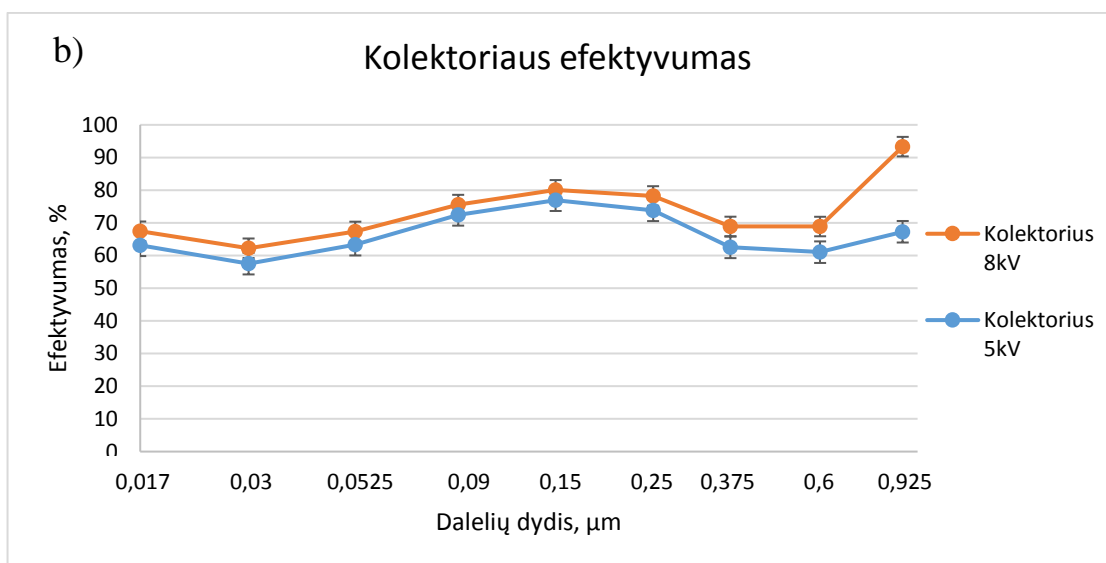
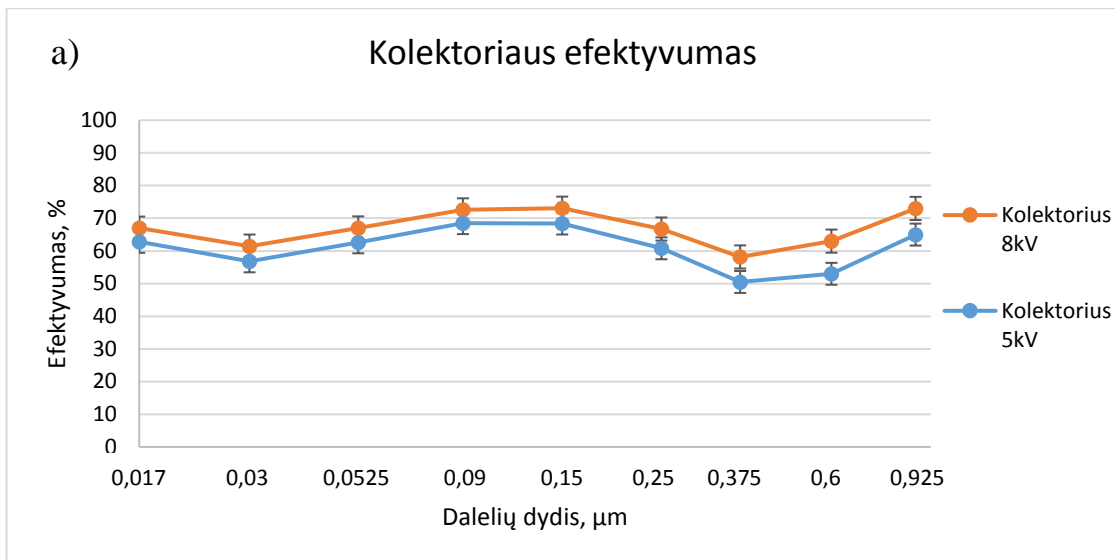
Jonizatoriaus įtampa turi didelę reikšmę elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumui, kuo įtampa didesnė, tuo sulaikymo efektyvumas geresnis. Geriausias nusodinimo efektyvumas pasiekiamas, kai

dalelės generuojamos 1% koncentracijos NaCl tirpalu, su filtre įmontuota viena nusodinimo sekcija ir jonizatoriaus įtampa yra 15kV.

3.1.2. Nusodinimo sekcijos įtampos įtaka dalelių sulaikymo efektyvumui

Aerolių dalelėms generuoti naudojamas 1% koncentracijos NaCl tirpalas, oro debitas buvo laikomas pastovus, t.y. 30 m³/h. Filtru veikimo efektyvumas didėja, didinant nusodinamojo elektrodo įtampą, tai parodo 17 paveikslas. Paveiksle 17a pavaizduotas elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumas veikiant skirtingoms 5kV ir 8kV įtampoms nusodinimo sekcijoje, kai filtras veikia su viena nusodinamojo elektrodo sekcija, o jonizatoriaus sekcija išjungta. Šiuo atveju, geriausiai yra sulaikomos 0,09 μm dydžio dalelės, kurių efektyvumas, esant 5kV įtampai, 73%, o padidinus kolektoriaus įtampą iki 8kV, dalelės, kurių dydžiai: 0,09μm, 0,15μm ir 0,925μm. Šių visų dydžių efektyvumai vienodi – 73%. Blogiausiai sulaikomos, esant 5kV įtampai, yra dalelės, kurių dydis – 0,375μm, sulaikymo efektyvumas 50%, o kolektoriaus įtampą padidinus iki 8kV, efektyvumas šiek tiek padidėja 58%.

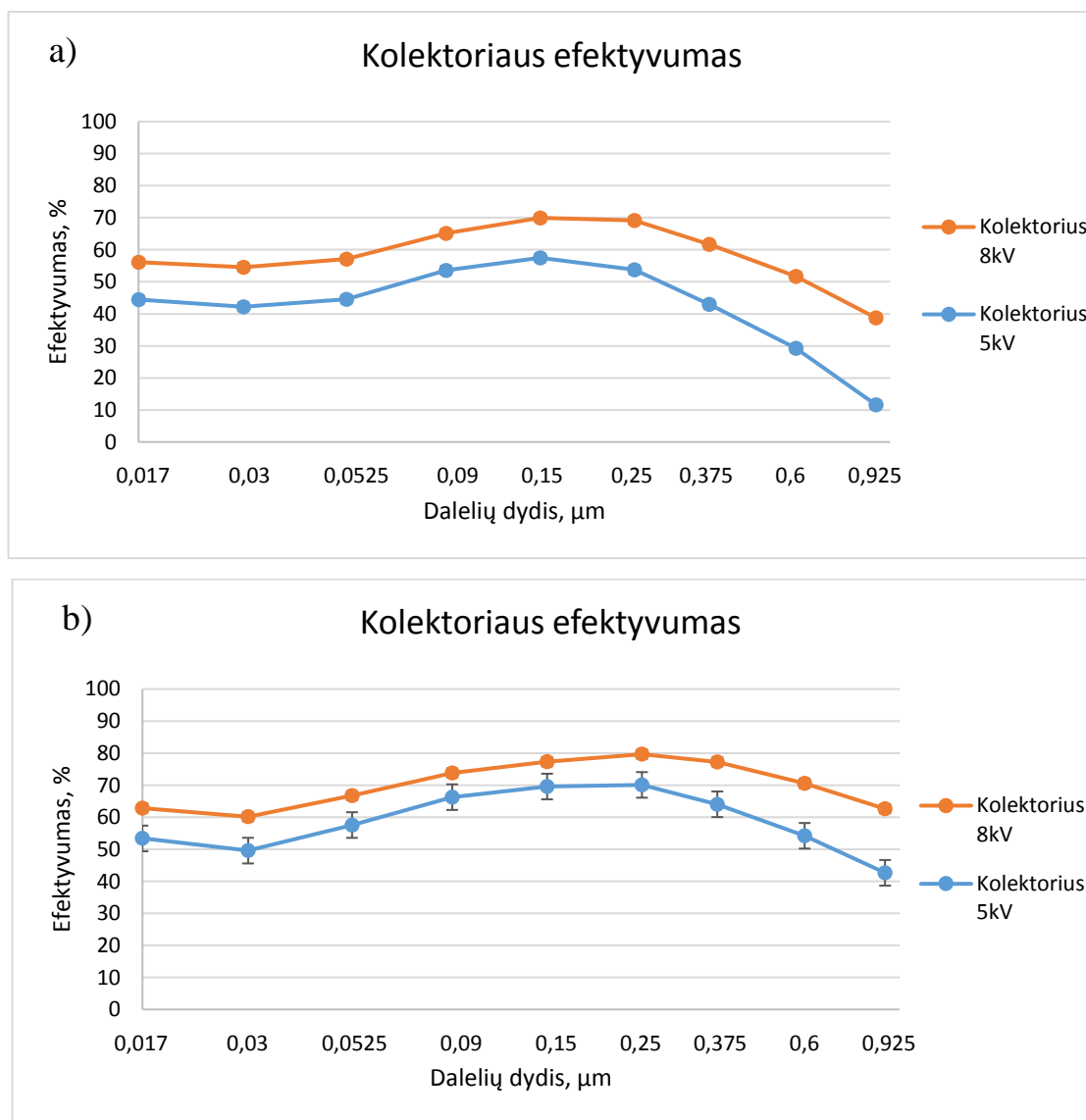
17b paveiksle pavaizduotas elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumas veikiant skirtingoms 5kV ir 8kV įtampoms nusodinamoje sekcijoje, kai filtre veikia dvi nusodinimo sekcijos, o jonizatorius buvo išjungtas. Esant 5kV įtampai, geriausias efektyvumas yra pasiekiamas, kai dalelių dydis – 0,15 μm, o efektyvumas – 77%. Blogiausiai buvo sulaikomos dalelės 0,03μm, o sulaikymo efektyvumas – 58%. Padidinus įtampą iki 8kV, efektyvumas neženkiai pagerėjo visame dalelių dydžio intervale, geriausiai sulaikomos, kai jų dydis mažiausias – 0,925μm, o efektyvumas net 93%, blogiausiai sulaikomos buvo 0,03μm dydžio dalelės, kurių sulaikymo efektyvumas – 62%.



17 pav. Kolektooriaus efektyvumas purškiant 1% NaCl tirpalą, esant $30 \text{ m}^3/\text{h}$ debitui, kai filtras veikia su: a) viena kolektooriaus sekcija; b) dvejomis kolektooriaus sekcijomis.

Antru atveju, pakeistas aerozolių dalelėms generuoti reikalingas tirpalas į 10% koncentracijos NaCl tirpalą, oro debitas paliktas toks pat t.y. $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Paveiksle 18a pavaizduotas elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumas veikiant skirtingoms 5kV ir 8kV įtampoms nusodinimo sekcijoje, o filtras veikia su viena nusodinamojo elektrodo sekcija, o įelektrinimo sekcija išjungta. Šiuo atveju, geriausiai yra sulaikomos $0,15 \mu\text{m}$ dydžio dalelės, kurių efektyvumas, esant 5kV įtampai, siekia 57%, o padidinus kolektooriaus įtampą iki 8kV efektyvumas padidėjo iki 70%. Blogiausiai esant 5kV įtampai yra sulaikomos dalelės, kurių dydis – $0,925 \mu\text{m}$, sulaikymo efektyvumas tik 12%. Kolektooriaus įtampą padidinus iki 8kV, blogiausiai sulaikomos taip pat $0,925 \mu\text{m}$ dydžio dalelės, bet sulaikymo efektyvumas padidėja iki 39%.

18b paveiksle pavaizduotas elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumas veikiant skirtingoms 5kV ir 8kV įtampoms nusodinimo sekcijoje, o filtras veikia su dviem nusodinamojo elektrodo sekcijomis, jonizacijos sekcija buvo išjungta. Esant 5kV įtampai, geriausias efektyvumas yra pasiekiamas, kai dalelių dydžiai – 0,15µm ir 0,25µm, o jų efektyvumas lygus – 70%. Blogiausiai sulaikomos dalelės, kurių dydis – 0,925µm, efektyvumas – 43%. Bet padidinus įtampą iki 8kV efektyvumas pagerėjo, geriausiai sulaikomos dalelės, kurių dydis – 0,25µm, sulaikymo efektyvumas 80%, o blogiausiai sulaikomos buvo 0,03µm dydžio dalelės, nusodinimo efektyvumas – 60%.



18 pav. Kolektoriaus efektyvumas purškiant 10% NaCl tirpalą, esant 30 m³/h debitui, kai filtras veikia su: a) viena kolektoriaus sekcija; b) dvejomis kolektoriaus sekcijomis.

Kolektoriaus įtampa turi nedidelę reikšmę elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumui, tačiau, kuo įtampa didesnė, tuo sulaikymo efektyvumas geresnis. Geriausias nusodinimo efektyvumas

pasiekiamas, kai dalelės generuojamos 10% koncentracijos NaCl tirpalu, kai filtre veikia abi nusodinimo sekcijos ir kolekoriaus įtampa yra 8kV.

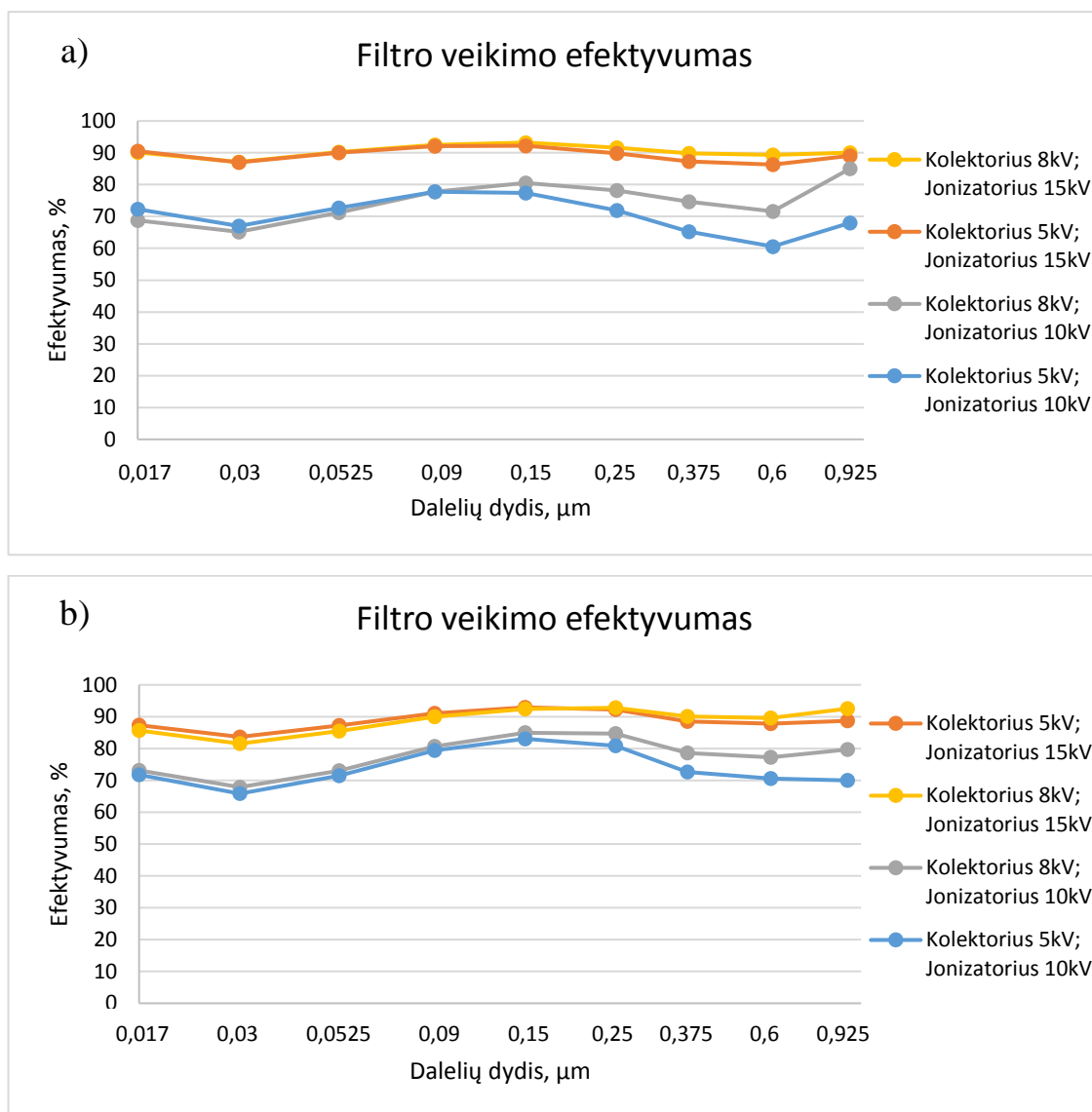
3.1.3. Įelektravimo ir nusodinimo sekcijų įtaka sulaikymo efektyvumui naudojant kartu

Naudojant kartu jonizatorių ir kolektorių, bei keičiant jų įtampas, gaunami skirtingi filtro nusodinimo efektyvumai. Šiuo atveju, aerozolių dalelėms generuoti buvo naudojamas 1% koncentracijos NaCl tirpalas, o oro debitas buvo palaikomas pastovus, t.y. 30 m³/h. Tyrimas buvo vykdomas dviem etapais. Pirmiausia buvo keičiama jonizatoriaus įtampa, o kolekoriaus įtampa palaikoma pastovi 5kV, vėliau kolekoriaus įtampa pakelta iki 8kV, o jonizatoriaus įtampa buvo naudojama skirtinga. Paveiksle 19 pavaizduotas elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumas, keičiant jonizatoriaus (10kV ir 15kV) ir kolekoriaus (5kV ir 8kV) įtampoms.

19a paveiksle pavaizduotas elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumas, kai filtre veikia viena nusodinimo sekcija. Esant kolekoriaus įtampai 5kV, o jonizatoriaus įtampai 10kV geriausiai yra sulaikomos 0,09 μm dydžio dalelės, kurių efektyvumas siekia 78 %, o blogiausiai sulaikomos – 0,6 μm dydžio dalelės, kurių nusodinimo efektyvumas 61 %. Padidinus jonizatoriaus įtampą iki 15 kV, o kolekoriaus įtampą palikus tokią pat t.y. 5 kV, gaunami žymiai geresni rezultatai. Geriausiai sulaikomos yra: 0,09 μm ir 0,15 μm dydžio dalelės, o jų efektyvumas vienodas – 92 %, blogiausiai sulaikomos dalelės – 0,6 μm dydžio, o jų sulaikymo efektyvumas taip pat pakankamai didelis – 86 %. Padidinus kolekoriaus įtampą iki 8 kV, o jonizatoriaus įtampą sumažinus iki 10 kV geriausiai sulaikomos dalelės, kurių dydis – 0,925 μm, o sulaikymo efektyvumas yra 85 %. Šiuo atveju blogiausiai sulaikomos 0,03 μm dydžio dalelės, kurių nusodinimo efektyvumas – 65 %. Esant kolekoriaus įtampai 8 kV, o jonizatoriaus įtampą padidinus iki 15kV, dauguma atvejų efektyvumai padidėjo. Geriausiai sulaikomos 0,09 μm ir 0,15 μm dydžio dalelės, kurių efektyvumai yra vienodi – 93 %, o blogiausiai sulaikomos 0,03 μm dydžio dalelės, kurių sulaikymo efektyvumas – 87 %.

19b paveiksle pavaizduotas elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumas, kai filtre veikia dvi nusodinimo sekcijos. Esant kolekoriaus įtampai 5 kV, o jonizatoriaus įtampai 10 kV geriausiai yra sulaikomos 0,15 μm dydžio dalelės, kurių efektyvumas siekia 83 %, o blogiausiai sulaikomos – 0,925 μm dydžio dalelės, kurių nusodinimo efektyvumas tik 70 %. Padidinus jonizatoriaus įtampą iki 15 kV, o kolekoriaus įtampą palikus tokią pat t.y. 5 kV, gaunami žymiai geresni rezultatai. Geriausiai sulaikomos dalelės yra 0,925 μm dydžio, o efektyvumas net 97 %, blogiausiai sulaikomos dalelės – 0,03 μm dydžio, o jų sulaikymo efektyvumas taip pat pakankamai didelis – 84 %. Padidinus kolekoriaus įtampą iki 8 kV, o jonizatoriaus įtampą sumažinus iki 10 kV geriausiai sulaikomos dalelės, kurių dydis – 0,925 μm, o sulaikymo efektyvumas yra net 97 %. Šiuo atveju blogiausiai sulaikomos 0,03 μm dydžio dalelės, kurių nusodinimo efektyvumas – 68 %. Esant kolekoriaus įtampai 8 kV, o jonizatoriaus įtampą

padidinus iki 15 kV, dauguma atvejų efektyvumai padidėjo. Geriausiai sulaikomos 0,925 μm dydžio dalelės, sulaikymo efektyvumas maksimalus – 100 %, o blogiausiai sulaikomos 0,03 μm dydžio dalelės, kurių sulaikymo efektyvumas pakankamai didelis 82 %.



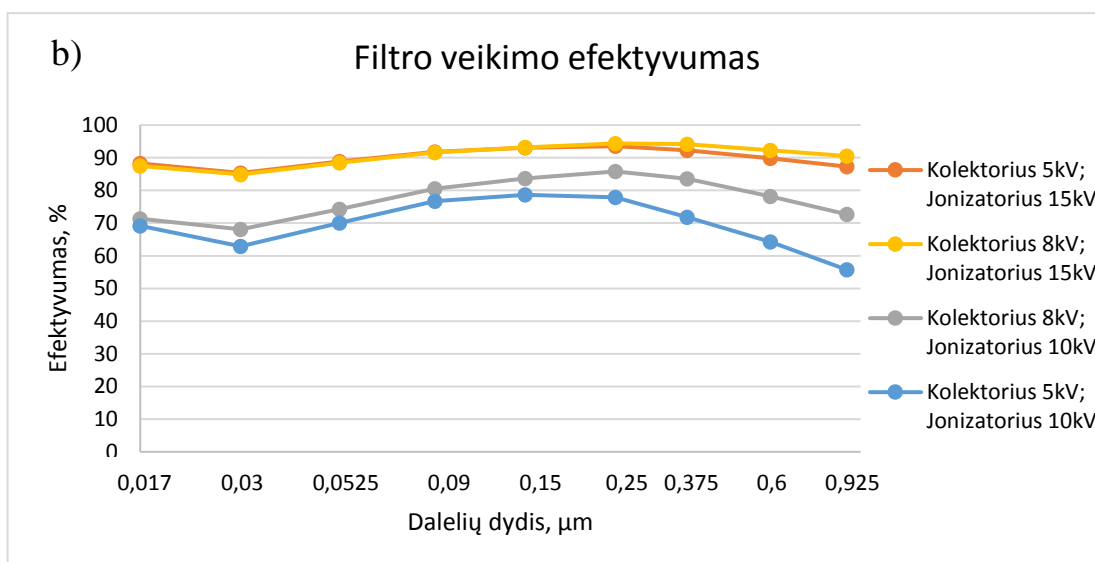
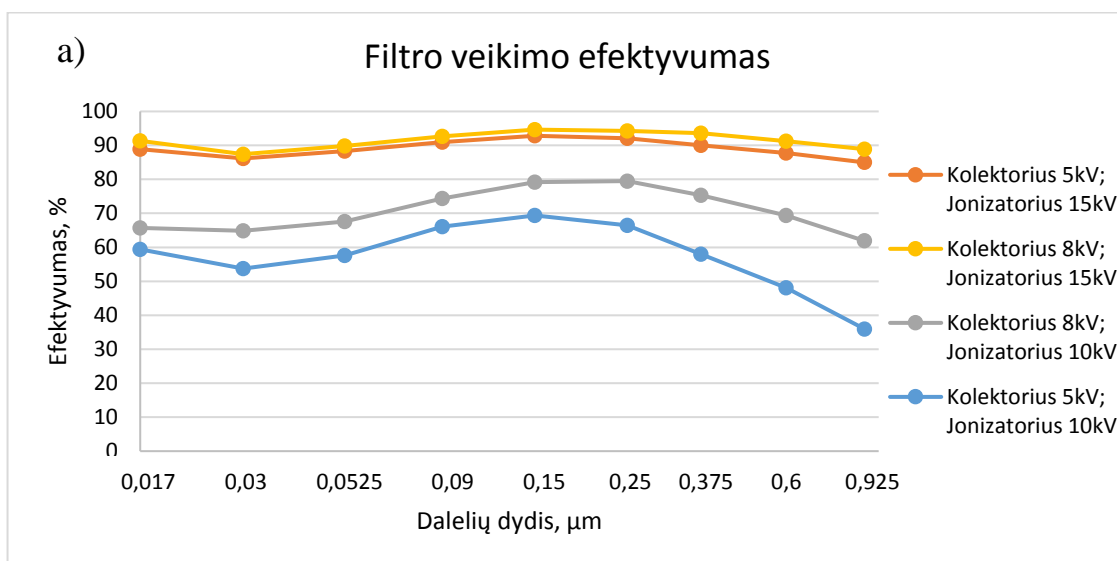
19 pav. Filtro efektyvumas purškiant 1% NaCl tirpalą, esant 30 m³/h debitui, kai filtras veikia su: a) viena kolektoriaus sekcija; b) dvejomis kolektoriaus sekcijomis.

Antrame etape sąlygos buvo išlaikomos tokios pat, išskyrus dalelių generavimo tirpalą, jis buvo pakeistas į 10% koncentracijos NaCl tirpalą. Paveikslas 20 parodo kaip pasikeitė efektyvumai, naudojant didesnės koncentracijos tirpalą.

Paveiksle 20a pavaizduotas elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumas, kai filtre veikia viena nusodinimo sekcija. Nusodinimo efektyvumai yra labai panašūs į 11pav. gautus rezultatus. Esant kolektoriaus įtampai 5kV, o jonizatoriaus įtampai 10kV geriausiai yra sulaikomos 0,15 μm dydžio

dalelės, kurių efektyvumas siekia 69%, o blogiausiai sulaikomos – 0,925 μ m dydžio dalelės, kurių nusodinimo efektyvumas 36%. Padidinus jonizatoriaus įtampą iki 15kV, o kolektoriaus įtampą palikus tokią pat t.y. 5kV, geriausiai sulaikomų dalelių dydis yra 0,15 μ m, o efektyvumas 93%, blogiausiai sulaikomos dalelės – 0,925 μ m dydžio, o jų sulaikymo efektyvumas 85%. Padidinus kolektoriaus įtampą iki 8kV, o jonizatoriaus įtampą sumažinus iki 10kV geriausiai sulaikomos dalelės, kurių dydis – 0,15 μ m ir 0,25 μ m, o sulaikymo efektyvumas vienodas – 79%. Šiuo atveju blogiausiai sulaikomos 0,925 μ m dydžio dalelės, kurių nusodinimo efektyvumas – 62%. Esant kolektoriaus įtampai 8kV, o jonizatoriaus įtampą padidinus iki 15kV, geriausiai sulaikomos 0,15 μ m dydžio dalelės, kurių efektyvumas net 95%, o blogiausiai sulaikomos 0,925 μ m dydžio dalelės, kurių sulaikymo efektyvumas – 89%.

20b paveiksle pavaizduotas elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumas, kai filtre veikia dvi nusodinimo sekcijos. O esant kolektoriaus įtampai 5kV, o jonizatoriaus įtampai 10kV geriausiai yra sulaikomos 0,15 μ m dydžio dalelės, kurių efektyvumas lygūs – 79%, o blogiausiai sulaikomos – 0,03 μ m dydžio dalelės, kurių nusodinimo efektyvumas tik 63%. Padidinus jonizatoriaus įtampą iki 15kV, o kolektoriaus įtampą palikus tokią pat t.y. 5kV, gaunami žymiai geresni rezultatai. Geriausiai sulaikomų dalelių dydis yra 0,25 μ m, o efektyvumas net 94%, blogiausiai sulaikomos dalelės 0,03 μ m dydžio, o jų sulaikymo efektyvumas vienodas – 85%. Padidinus kolektoriaus įtampą iki 8kV, o jonizatoriaus įtampą sumažinus iki 10kV geriausiai sulaikomos dalelės, kurių dydis – 0,25 μ m, o sulaikymo efektyvumas yra 86%. Šiuo atveju blogiausiai sulaikomos 0,017 μ m dydžio dalelės, kurių nusodinimo efektyvumas – 71%. Esant kolektoriaus įtampai 8kV, o jonizatoriaus įtampą padidinus iki 15kV, dauguma atvejų efektyvumai padidėjo. Geriausiai sulaikomos 0,25 μ m ir 0,375 μ m dydžio dalelės, kurių efektyvumai yra vienodi – net 94%, o blogiausiai sulaikomos 0,03 μ m dydžio dalelės, kurių sulaikymo efektyvumas 85%.



20 pav. Filtro efektyvumas purškiant 10% NaCl tirpalą, esant 30 m³/h debitui, kai filtre veikia: a) viena kolektoriaus sekcija; b) dvi kolektoriaus sekcijos.

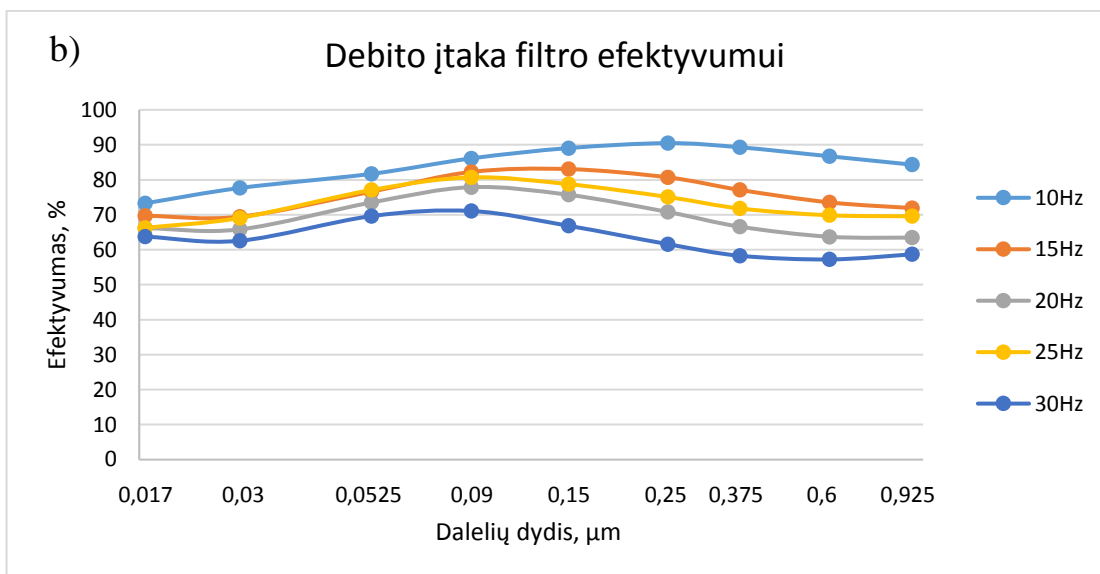
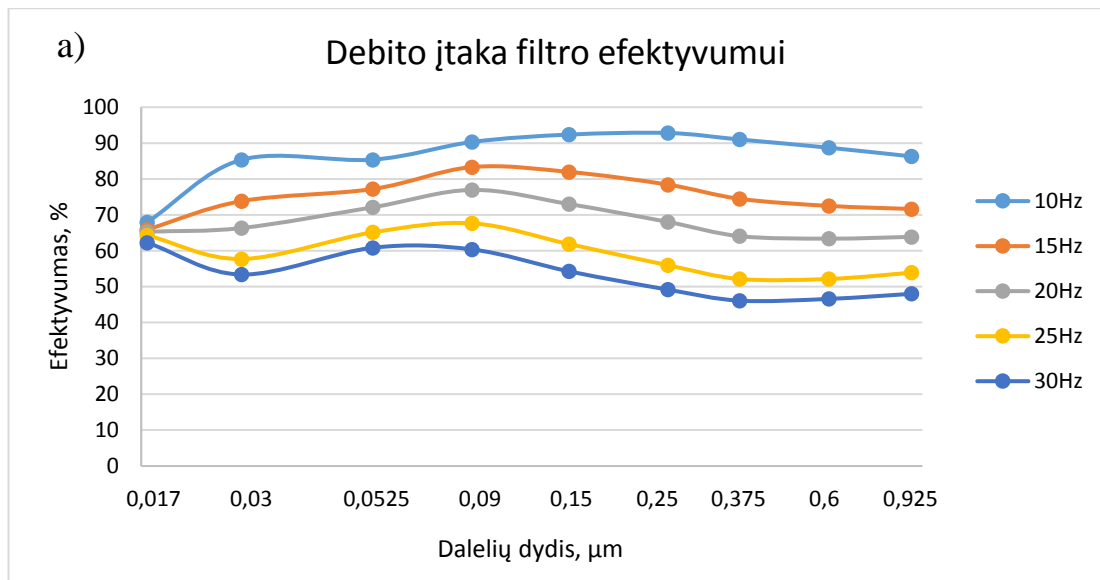
Įelektrinimo ir nusodinimo sekcijos veikiančios kartu, nusodina daleles filtre žymiai geriau nei atskirai. Kuo įtampa didesnė, tiek įelektrinimo, tiek nusodinimo sekcijų, tuo sulaikymo efektyvumas geresnis. Geriausias nusodinimo efektyvumas $\eta=91\pm 3,243$ % pasiekiamas, kai dalelės generuojamos 10 % koncentracijos NaCl tirpalu, kai filtre veikia viena nusodinimo sekcija ir kolektoriaus įtampa yra 8 kV, o jonizatoriaus įtampa 15 kV.

3.2. Skirtingo debito įtaka dalelių sulaikymo efektyvumui.

Šiame skyriuje, aprašytame eksperimente, aerozolių dalelėms generuoti buvo naudojamas 10 % koncentracijos NaCl tirpalas. Tyrimo metu, elektrostatinis filtro įelektrinimo sekcijoje įtampa buvo pastovi – 15 kV, o nusodinimo sekcijoje įtampa – 5 kV, viso eksperimento metu. Šiame etape palaipsniui buvo keičiamas oro debitas, nuo 30 m³/h iki 90 m³/h, žingsniu kas 15 m³/h.

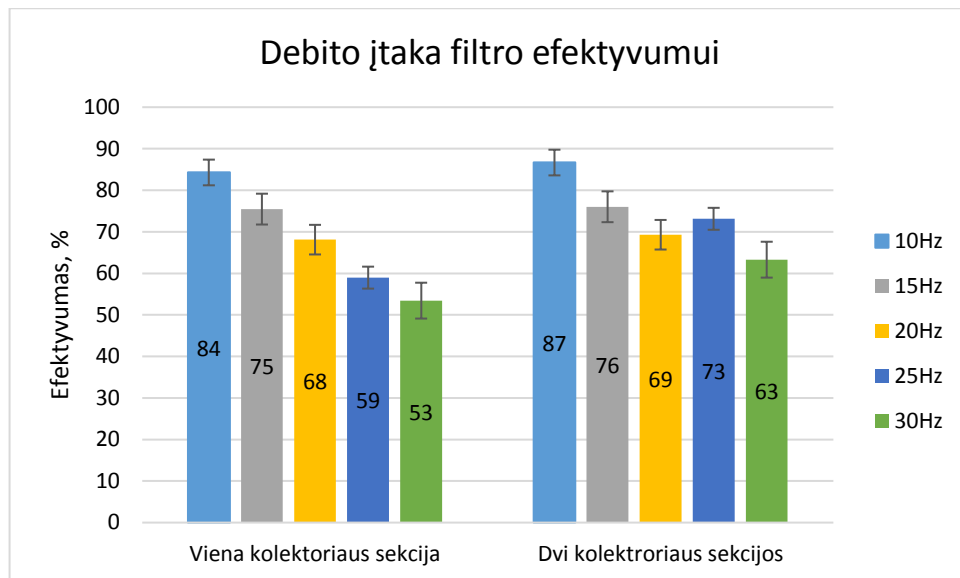
Kuo oro debitas didesnis, tuo sulaikymo efektyvumas mažesnis, tai parodo 21 paveikslas. Paveiksle 21a pavaizduotas elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumas, kai filtre veikia įelektrinimo ir viena nusodinimo sekcija. Esant oro debitui 30 m³/h, geriausiai yra sulaikomos 0,25 μm dydžio dalelės, kurių efektyvumas siekia 93%, o blogiausiai sulaikomos – 0,017 μm dydžio dalelės, kurių nusodinimo efektyvumas 68 %. Padidinus oro debitą iki 45 m³/h, geriausiai sulaikomų dalelių dydis tapo – 0,925 μm, o efektyvumas 83 %, blogiausiai sulaikomos dalelės – 0,925 μm dydžio, o jų sulaikymo efektyvumas 66 %. Padidinus debitą iki 60 m³/h, geriausiai sulaikomos dalelės, kurių dydis – 0,09 μm, o sulaikymo efektyvumas – 77 %. Šiuo atveju blogiausiai sulaikomos 0,6 μm dydžio dalelės, kurių nusodinimo efektyvumas – 62%. Padidinus oro debitą iki 75 m³/h, geriausiai sulaikomos 0,09 μm dydžio dalelės, kurių efektyvumas siekia tik 68%, o blogiausiai sulaikomos 0,375 μm ir 0,6 μm dydžio dalelės, kurių sulaikymo efektyvumas – 52%. Su maksimaliu šio eksperimento debitu 90 m³/h, geriausiai sulaikomos mažiausios – 0,017 μm dydžio dalelės, bet sulaikymo efektyvumas tik 62%, o blogiausiai sulaikomos 0,375 μm dydžio dalelės, kurių sulaikymo efektyvumas tik 46%.

21b paveiksle pavaizduotas elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumas, kai filtre veikia dvi nusodinimo sekcijos. Esant oro debitui 30 m³/h, geriausiai yra sulaikomos 0,25 μm dydžio dalelės, kurių efektyvumas lygūs – 90 %, o blogiausiai sulaikomos – 0,017 μm dydžio dalelės, kurių nusodinimo efektyvumas – 73%. Padidinus debitą iki 45 m³/h, geriausiai sulaikomų dalelių dydis yra 0,15 μm, o efektyvumas 83 %, blogiausiai sulaikomos dalelės šiuo atveju yra 0,03 μm dydžio, o jų sulaikymo efektyvumas 69 %. Kai oro debitas 60 m³/h, geriausiai sulaikomos dalelės, kurių dydis – 0,09 μm, o sulaikymo efektyvumas yra 78 %. Šiuo atveju blogiausiai sulaikomos didžiausios – 0,925 μm dydžio dalelės, kurių nusodinimo efektyvumas – 63 %. Oro debitui esant 75 m³/h, dauguma atvejų efektyvumai padidėjo. Geriausiai sulaikomos 0,09 μm dydžio dalelės, kurių efektyvumas yra 81 %, o blogiausiai sulaikomos 0,375 μm dydžio dalelės, kurių sulaikymo efektyvumas tik 58%.



21 pav. Filtro efektyvumas purškiant 10% NaCl tirpalą ir naudojant skirtingą oro debitą, kai filtre veikia: a) viena kolektoriaus sekcija; b) dvi kolektoriaus sekcijos.

Dalelių sulaikymo efektyvumas priklauso nuo oro debito. Elektrostatiniam filtrui veikiant su įelektravimo ir dvejomis nusodinimo sekcijomis, jis nusodina daleles geriau nei veikiant su viena nusodinimo sekcija. Pastebima atvirkštinė priklausomybė tarp oro debito ir sulaikymo efektyvumo. Kuo oro debitas didesnis, tuo dalelių sulaikymo efektyvumas prastesnis. Geriausias filtro veikimo efektyvumas pasiekiamas, esant kolektorių įtampai 5 kV, o jonizatoriaus įtampai – 15kV, kuris siekia $87 \pm 3,094$ %.



22 pav. Dalelių sulaikymo efektyvumas priklausomybė nuo oro debito.

3.3. Matavimai realiomis sąlygomis

Eksperto metu atlikti tyrimai realiomis sąlygomis, tai tyrimo metu naudotų dirbtinių dalelių generavimo sąlygų pakeitimas natūraliomis. Realių sąlygų matavimai atlikti su laboratorijos oru, kai elektrostatinis filtras naudojamas su dvejomis kolektorius sekcijomis. Mažiausių dalelių, t.y. 0,017 μm dydžio dalelių laboratorijos ore neužfiksuota.

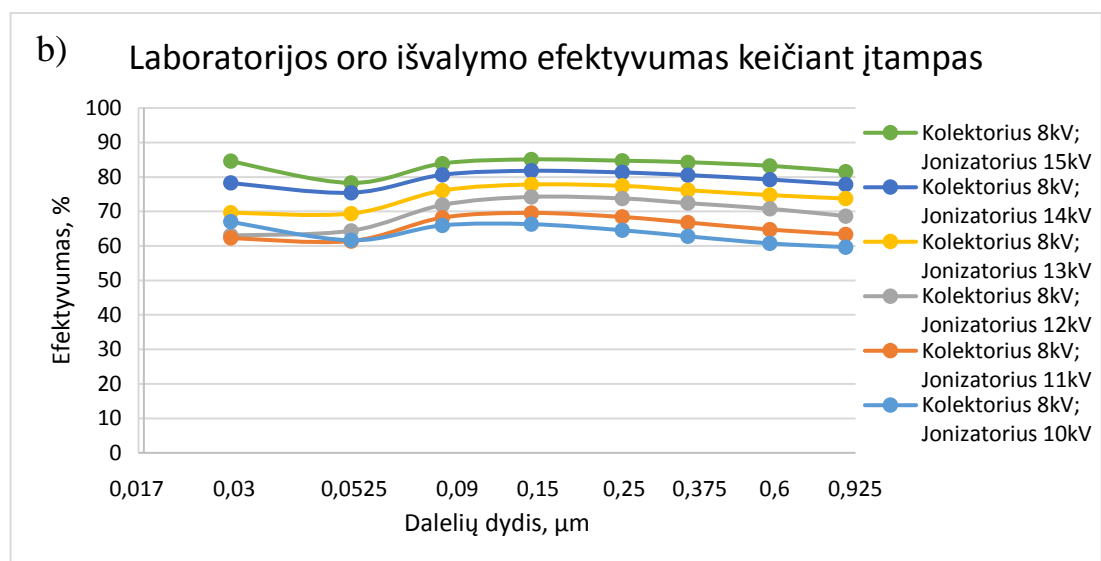
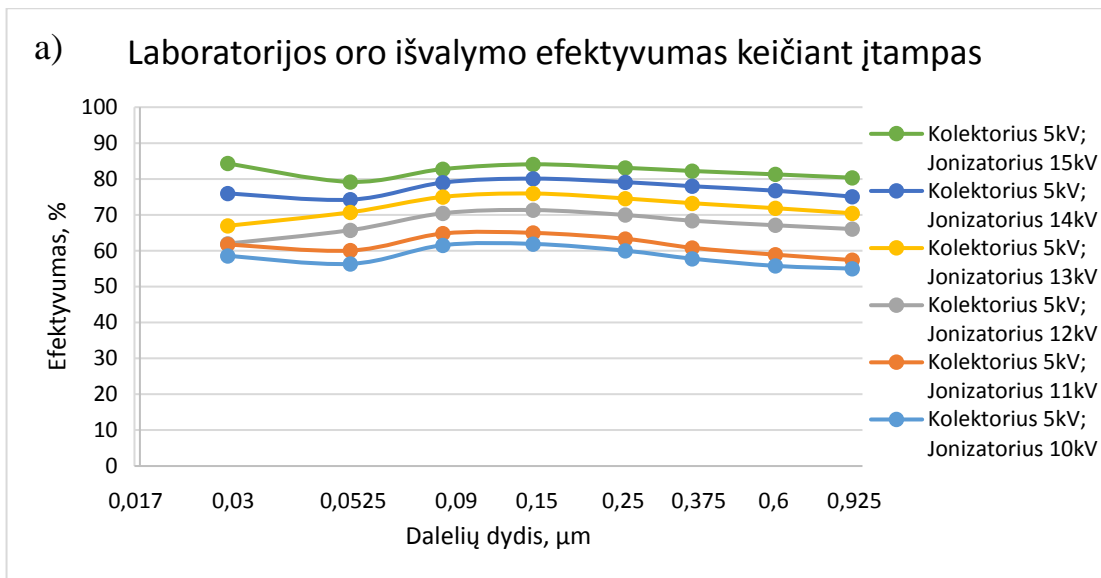
3.3.1. Įtampos įtaka laboratorijos oro valymo efektyvumui

Elektrostatinio filtro tyrimo metu, ištraukiamasis ventiliatorius veikė su pastoviu – 30 m^3/h oro debitu ir buvo naudojamos skirtingos tiek įelektrinimo, tiek nusodinimo sekcijų įtampos.

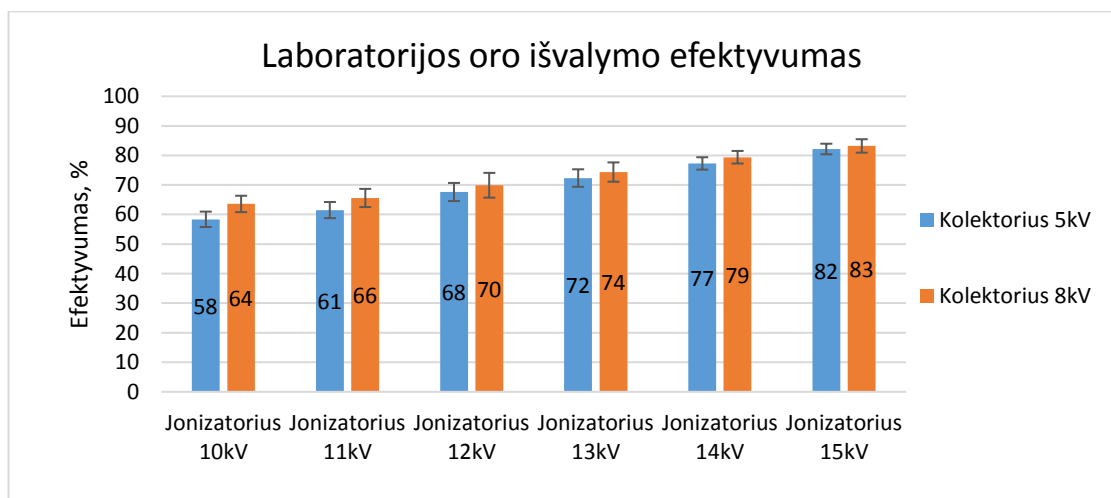
Nusodinimo sekcijų maitinimo šaltinio įtampa pastovi – 5 kV, o jonizatoriaus įtampa didinama nuo 10 kV iki 15 kV, žingsniu kas 1 kV, tai parodyta 23a paveiksle. Elektrostatinio filtro veikimo efektyvumai gerėja didinant jonizatoriaus įtampą. Pradedant nuo mažiausios – 10 kV jonizatoriaus įtampos, geriausiai sulaikomos dalelės – 0,09 μm ir 0,15 μm dydžio, o jų efektyvumas vienodas tik 62 %, blogiausiai sulaikomos dalelės – 0,925 μm dydžio, o jų sulaikymo efektyvumas 54 %. Padidinus jonizatoriaus įtampą iki 11 kV, visų dydžių dalelių efektyvumai neženkliai padidėjo, geriausiai sulaikomos dalelės, kaip ir prieš tai – 0,09 μm ir 0,15 μm dydžio, jų efektyvumas padidėjo iki 65 %, blogiausiai sulaikomos dalelės taip pat 0,925 μm dydžio, o sulaikymo efektyvumas 55 %. Jonizatoriaus įtampą padidinus iki 12 kV, geriausiai sulaikomos 0,15 μm dydžio dalelės, kurių efektyvumas – 71 %, o blogiausiai sulaikomos mažiausios 0,03 μm dydžio dalelės, kurių sulaikymo efektyvumas – 63 %. Jonizatoriaus įtampą nustačius ties 13 kV, visame dalelių dydžių intervale efektyvumai padidėjo ir

kreivė labai panaši į prieš tai gautą, geriausiai sulaikomos – 0,15 μm dydžio dalelės, o sulaikymo efektyvumas 76 %, blogiausiai sulaikomos 0,03 μm dydžio dalelės, kurių sulaikymo efektyvumas 67 %. Įelektrinimo sekcijos įtampą nustačius 14 kV, geriausiai sulaikomos – 0,15 μm dydžio dalelės, o sulaikymo efektyvumas 80 %, blogiausiai sulaikomos 0,0525 μm dydžio dalelės, kurių sulaikymo efektyvumas 74 %. Didžiausi efektyvumai pasiekiami, kai naudojama įtampa buvo didžiausia – 15 kV. Geriausiai, šiuo atveju, sulaikomos 0,03 μm ir 0,15 μm dydžio dalelės, kurių efektyvumai vienodi – 84 %, o blogiausiai sulaikomos – 0,0525 μm dydžio dalelės, kurių nusodinimo efektyvumas 79 %.

Paveiksle 23b pavaizduotas elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumas, kai kolektoriaus įtampa buvo pakelta iki 8 kV, o jonizatoriaus keičiama kaip ir prieš tai, nuo 10 kV iki 15 kV. Elektrostatinio filtro efektyvumas priklauso tiesiogiai nuo didinamos jonizatoriaus įtampos. Prie mažiausios – 10 kV jonizatoriaus įtampos, geriausiai sulaikomos mažiausios dalelės – 0,03 μm , o jų efektyvumas tik 67 %, blogiausiai sulaikomos didžiausios – 0,925 μm dydžio, o jų sulaikymo efektyvumas 60 %. Padidinus įtampą iki 11 kV mažiausių dalelių sulaikymo efektyvumas dar sumažėjo, lyginant su prieš tai buvusiu, ir yra tik 62 %, geriausiai sulaikomos dalelės, 0,15 μm dydžio, jų efektyvumas 70 %. Jonizatoriaus įtampą padidinus iki 12 kV, geriausiai sulaikomos 0,15 μm ir 0,25 μm dydžio dalelės, kurių efektyvumas vienodas – 74 %, o blogiausiai sulaikomos liko mažiausios 0,03 μm dydžio dalelės, kurių sulaikymo efektyvumas, toks pat koks buvo prieš tai – 62 %. Jonizatoriaus įtampą nustačius ties 13 kV, visame dalelių dydžių intervale efektyvumai padidėjo, geriausiai sulaikomos – 0,15 μm dydžio dalelės, o sulaikymo efektyvumas 78 %, blogiausiai sulaikomos 0,0525 μm dydžio dalelės, kurių sulaikymo efektyvumas 69 %. Įelektrinimo sekcijos įtampą nustačius 14 kV, geriausiai sulaikomos – 0,15 μm dydžio dalelės, o sulaikymo efektyvumas 82 %, blogiausiai sulaikomos 0,0525 μm dydžio dalelės, kurių sulaikymo efektyvumas 75 %. Didžiausi efektyvumai pasiekiami, vėlgi, kai naudojama įtampa buvo didžiausia – 15 kV. Geriausiai, šiuo atveju, sulaikomos 0,03 μm ir 0,15 μm ir 0,15 μm dydžio dalelės, visų jų efektyvumai vienodi – 85 %, o blogiausiai sulaikomos – 0,0525 μm dydžio dalelės, kurių nusodinimo efektyvumas 78 %.



23 pav. Realių sąlygų matavimai naudojant 30 m³/h oro debitą



24 pav. Dalelių nusodinimo efektyvumai su realiomis sąlygomis

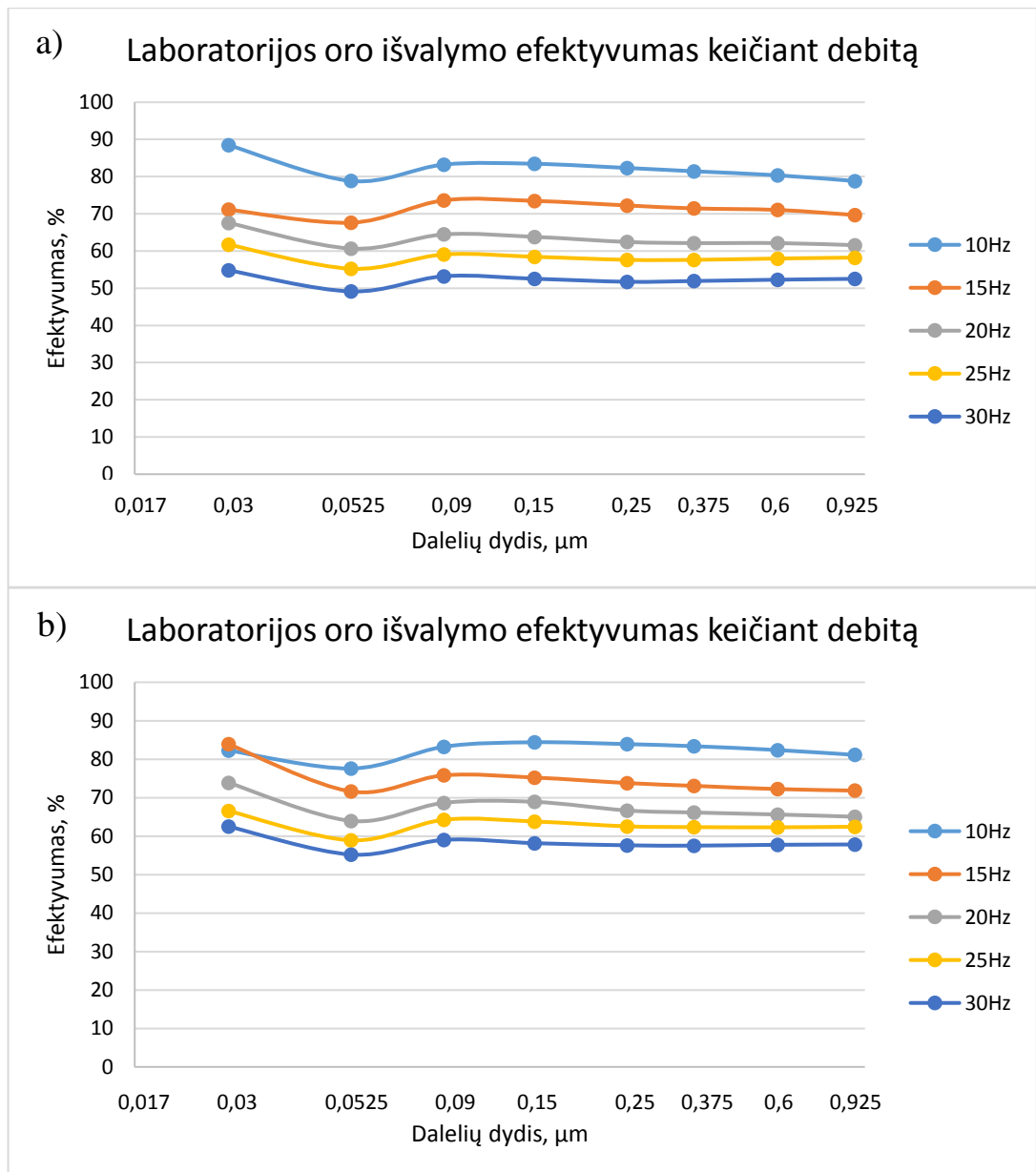
Elektrostatinio filtro efektyvumas realiomis sąlygomis tiesiogiai priklauso nuo jonizatoriaus įtampos. Stebint kiekvieno atskiro dalelių dydžio nusodinimo efektyvumus, jie didėja padidinus tiek kolektoriaus, tiek jonizatoriaus įtampas. Kai kuriais atvejais, su mažesne kolektoriaus įtampa gaunami net didesni nusodinimo efektyvumai. Tačiau, iš 24 paveikslo matyti, kad bendro sulaikymo efektyvumai gaunami geresni, esant kolektoriaus įtampai 8 kV, o geriausias rezultatas pasiekiamas su didžiausia jonizatoriaus įtampa.

3.3.2. Debito įtaka laboratorijos oro valymo efektyvumui

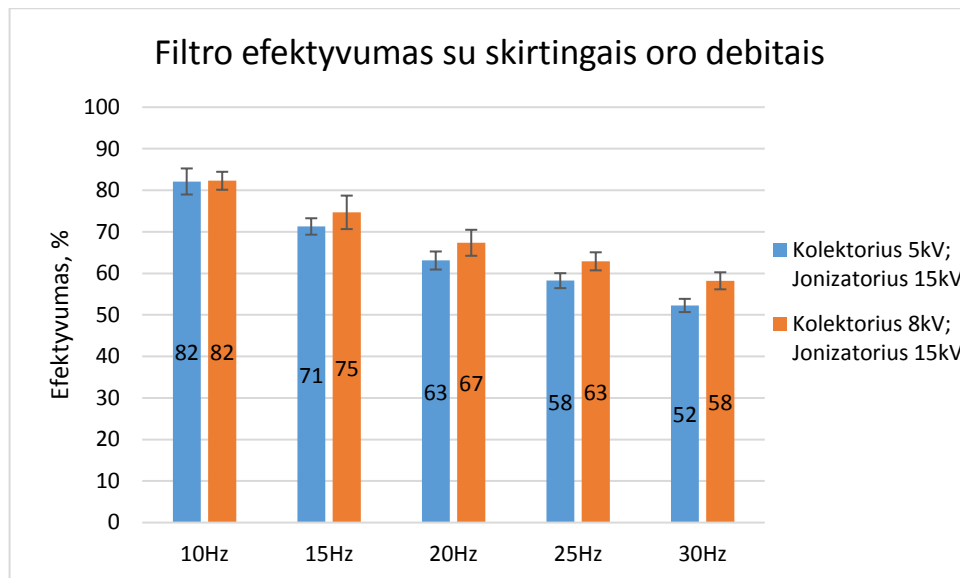
Oro debito įtaka realioms sąlygoms buvo tiriama esant pastovioms įtampoms. Oro debitas, ištraukiamuoju ventiliatoriumi buvo keičiamas nuo 30 m³/h iki 90 m³/h, žingsniu kas 15 m³/h.

Kuo oro debitas didesnis, tuo sulaikymo efektyvumas mažesnis, tai parodo 25 paveikslas, visos kreivės šiame paveiksle labai panašios. Paveiksle 25a pavaizduotas elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumas, esant oro debitui 30 m³/h, geriausiai yra sulaikomos mažiausios 0,03 μm dydžio dalelės, kurių efektyvumas siekia 88%, o blogiausiai sulaikomos – 0,0525 μm dydžio dalelės, kurių nusodinimo efektyvumas 79 %. Padidinus oro debitą iki 45 m³/h, geriausiai sulaikomų dalelių dydis tapo – 0,09 μm, o efektyvumas 74 %, blogiausiai sulaikomos, kaip ir prieš tai buvusios – 0,0525 μm dydžio dalelės, o jų sulaikymo efektyvumas 68 %. Padidinus debitą iki 60 m³/h, geriausiai sulaikomos mažiausios dalelės – 0,03 μm, o sulaikymo efektyvumas – 68 %. Šiuo atveju blogiausiai sulaikomos 0,0525 μm dydžio dalelės, kurių nusodinimo efektyvumas – 61 %. Padidinus oro debitą iki 75 m³/h, geriausiai sulaikomos mažiausios – 0,03 μm dydžio, kurių efektyvumas tesiekia tik 62 %, o blogiausiai sulaikomos 0,0525 μm dydžio dalelės, kurių sulaikymo efektyvumas – 55 %. Su maksimaliu, matuotu debitu – 90 m³/h, geriausiai sulaikomos mažiausios – 0,03 μm dydžio dalelės, bet sulaikymo efektyvumas tik 55 %, o blogiausiai sulaikomos 0,0525 μm dydžio dalelės, kurių sulaikymo efektyvumas tik 49 %.

25b paveiksle pavaizduotas elektrostatinio filtro nusodinimo efektyvumas, kai filtre veikia dvi nusodinimo sekcijos. O esant oro debitui 30 m³/h, geriausiai yra sulaikomos 0,25 μm dydžio dalelės, kurių efektyvumas lygūs – 90 %, o blogiausiai sulaikomos – 0,017 μm dydžio dalelės, kurių nusodinimo efektyvumas – 73%. Padidinus debitą iki 45 m³/h, geriausiai sulaikomų dalelių dydis yra 0,15 μm, o efektyvumas 83 %, blogiausiai sulaikomos dalelės šiuo atveju 0,03 μm dydžio, o jų sulaikymo efektyvumas 69 %. Kai oro debitas 60 m³/h, geriausiai sulaikomos dalelės, kurių dydis – 0,09 μm, o sulaikymo efektyvumas yra 78 %. Šiuo atveju blogiausiai sulaikomos didžiausios – 0,925 μm dydžio dalelės, kurių nusodinimo efektyvumas – 63 %. Oro debitui esant 75 m³/h, dauguma atvejų efektyvumai padidėjo. Geriausiai sulaikomos 0,09 μm dydžio dalelės, kurių efektyvumas yra 81 %, o blogiausiai sulaikomos 0,375 μm dydžio dalelės, kurių sulaikymo efektyvumas tik 58 %.



25 pav. Filtro veikimo efektyvumas naudojant skirtingą oro debitą. Kai įtampos yra: kolektorius – 5 kV, jonizatoriaus – 15 kV; b) kolektorius – 8 kV, jonizatoriaus – 15 kV.



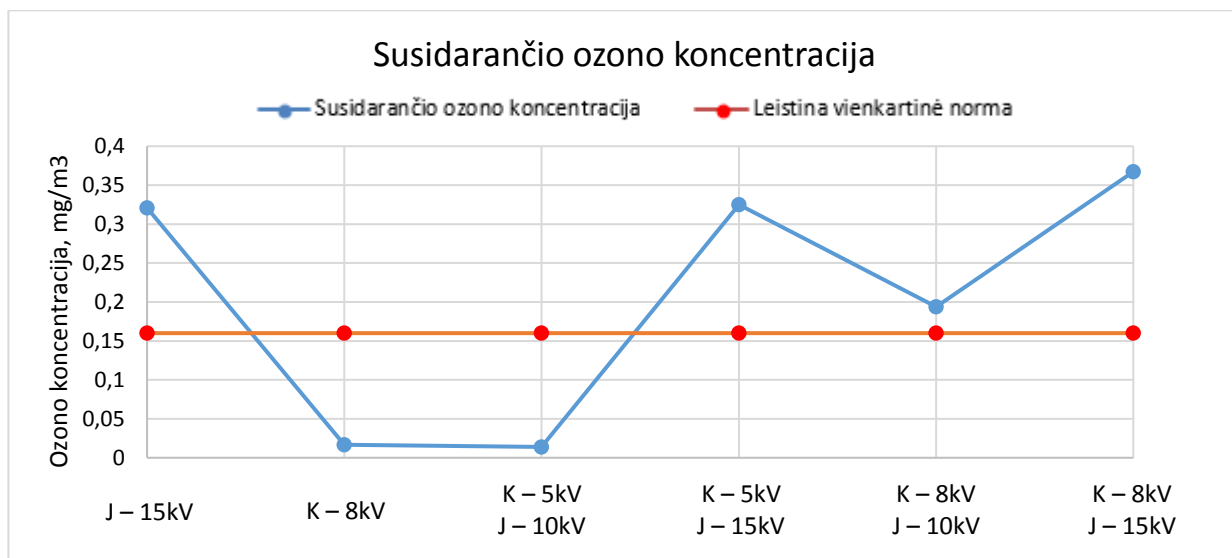
26 pav. Dalelių sulaikymo efektyvumas realiomis sąlygomis, naudojant skirtingą oro debitą.

Didinant oro debitą, dalelių sulaikymo efektyvumas prastėja, tai pavaizduota 26 paveiksle. Dalelių nusodinimo efektyvumas didžiausias esant mažiausiam oro debitui – 30 m³/h, o geriausi filtro veikimo rezultatai pasiekiami naudojant didesnę nusodinimo sekcijos įtampą – 8 kV, kai efektyvumas – 82±2,165 %.

3.4. Elektrostatinio filtro veikimo metu susidarančio ozono kiekis

Susidarančio ozono matavimai buvo atliekami purškiant 10 % NaCl tirpalą, nanodalelėms generuoti. Oro debitas buvo pastovus – 30 m³/h, kai filtre įmontuotos dvi kolektoriaus sekcijos. Paveiksle 27 pavaizduotos išmatuotos ozono koncentracijos elektrostatiniam filtrui veikiant įvairiais režimais ir palygintos su higienos normų (HN 35:2007) leistina vienkartinė norma, kuri yra – 0,160 mg/m³. Iš pradžių filtras veikdamas tik su įelektrinimo sekcija, kai jonizatoriaus įtampa – 15 kV, ozono koncentracija – 0,320 mg/m³ ir yra du kartus didesnė už leidžiamą vienkartinę normą. Tada išmatuota nusodinimo sekcijos generuojama ozono koncentracija, kai kolektoriaus įtampa – 8 kV, ozono koncentracija gaunama nedidelė, tik 0,016 mg/m³. Išmatavus atskirų dalių koncentraciją, toliau buvo matuojamos elektrostatinio filtro veikimo metu susidarančios ozono koncentracijos. Išsiaiškinus elektrostatinio filtro geriausius veikimo režimus nustatyta, kad mažiausia ozono koncentracija pasiekama, kai kolektoriaus įtampa – 5 kV, o jonizatoriaus – 10 kV. Tada generuojamo ozono koncentracija – 0,014 mg/m³. Kolektoriaus įtampą palikus tokią pat, o jonizatoriaus padidinus iki 15 kV,

susidarančio ozono koncentracija ženkliai padidėjo iki $0,325 \text{ mg/m}^3$. Padidinus kolektoriaus įtampą iki 8 kV, o jonizatoriaus įtampą nustačius ties 10 kV, ozono koncentracija – $0,194 \text{ mg/m}^3$, bet padidinus jonizatoriaus įtampą iki 15 kV, ozono koncentracija gaunama didžiausia – $0,367 \text{ mg/m}^3$ ir tai yra daugiau nei du kartus didesnė už leidžiamą vienkartinę normą.



*J – jonizatorius;

*K – kolektorius.

27 pav. Elektrostatinio filtro veikimo metu susidarančio ozono koncentracijos.

3.5. Ekonominė dalis

Ekonominė dalis yra skaičiuojama naujai suprojektuotam elektrostatiniam filtrui, kai jis veikia 365 dienas per metus, 24 valandas per parą.

Apskaičiuojame įrenginio sunaudojamos elektros energijos kiekį (2.13 formulė):

$$E_i = 0,03 \cdot 24 \cdot 365 = 262,8 \text{ kWh};$$

Valymo įrenginio sunaudojamos elektros energijos kaina:

$$I = 262,8 \cdot 0,119 = 31,28 \text{ Eur};$$

Įrenginio išvalomo oro debitas per metus:

$$Q = 27,7 \cdot 24 \cdot 365 = 242652 \text{ m}^3 / \text{metus};$$

Apskaičiuojame 1000 m³ oro valymo savikainą (2.11 formulė):

$$S = \frac{31,28}{242652} \cdot 1000 = 0,13 \text{ Eur};$$

Apskaičiuota elektrostatinio nusodintuvo 1000 m³ oro valymo savikaina yra 0,13 Eur.

3.6. Rekomendacijos proceso technologinei kontrolei

Būtina mažinti susidarančio ozono koncentracijas, todėl prieš pradedant naudoti elektrostatinį filtrą, reikia įmontuoti papildomą sekciją ozonui skaidyti. Atlikus literatūros analizę išsiaiškinta kad, tam geriausiai tinka mangano dioksido katalizatorius, kurį reikia įmontuoti filtro pabaigoje. Naujas valymo įrenginys turi būti sumontuotas profesionalaus darbuotojo. Tačiau prieš pradedant naudoti elektrostatinį nusodintuvą būtina įsitikinti, kad jis sumontuotas tinkamai ir sandariai.

IŠVADOS

1. Buvo sukurtas dviejų zonų elektrostatinio filtro prototipas. Išanalizavus elektrostatinio filtro veikimą įvairia konfigūracija, nustatyta, jog geriausi nusodinimo rezultatai pasiekiami, kai filtre veikia įelektrinimo ir dvi nusodinimo sekcijos.
2. Geriausiai nusodinamos dalelės yra 0,25 μm dydžio, kai sulaikymo efektyvumas siekia 94 %. Blogiausiai nusodinamos dalelės – 0,03 μm dydžio, kai efektyvumas – 85 %.
3. Nanodalelių nusodinimo efektyvumui įtampa turi tiesioginę įtaką. Didinant įtampas, tiek įelektrinimo, tiek nusodinimo zonose sulaikymo efektyvumas didėja. Vietoje vienos nusodinimo sekcijos naudojant dvi sekcijas, sulaikymo efektyvumas pagerėjo. Oro debito didėjimas turi atvirkštinę įtaką sulaikymo efektyvumui. Didinant oro debitą sulaikymo efektyvumas mažėja.
4. Nustatyta, jog optimaliausias elektrostatinio filtro efektyvumas gaunamas, kai nusodinimo zona susideda iš dviejų nusodinimo sekcijų ir įtampa yra 8 kV, įelektrinimo zonos įtampa – 15 kV, o oro debitas mažiausias šio tyrimo metu – 30 m^3/h .
5. Apskaičiavus elektrostatinio filtro valymo kaštus gaunama, kad 1000 m^3 savikaina yra 0,13 Eur.
6. Pagal gautus rezultatus, susidarančio ozono koncentracijai sumažinti, būtina į filtrą įmontuoti ozono skaidymui skirtą katalizatorių. Atlikus literatūros analizę išsiaiškinta kad, tam galima panaudoti mangano dioksido katalizatorių.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Rutkoviėnė M. V., Sabienė N. Aplinkos tarša, Akademija, 2008, p. 39-52.
2. Aplinkos apsaugos agentūros puslapis. Oro kokybė. [Peržiūrėta 2017-03-15]. Prieiga internete: <http://stoteles.gamta.lt/ap3/>
3. Denafas G. Atmosferos apsauga. Atmosferos taršos mažinimas. Mokomoji knyga I dalis. Kaunas: Technologija, 2000, p. 60-63.
4. Kaunelienė V., Prasauskas T., Krugly E., Stasiulaitienė I., Čiužas D., Šeduikytė L., Martuzevičius D. Indoor air quality in low energy residential buildings in Lithuania, 2016. [Peržiūrėta 2017-03-24]. Prieiga internete: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132316303134>
5. Buseck P. R., Adachi K. Nanoparticles in the atmosphere. [Peržiūrėta 2017-03-15]. Prieiga internete: <http://www.nanocap.eu/Flex/Site/Download047b.pdf>
6. Telejko M. Attempt to improve indoor air quality in computer laboratories, 2016. [Peržiūrėta 2017-03-26]. Prieiga internete: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817306409>
7. Schultz A. A., Schauer J. J., Malecki MC. K. Allergic disease associations with regional and localized estimates of air pollution, 2017. [Peržiūrėta 2017-03-26]. Prieiga internete: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935116309021>
8. Slezakova K., Morais S., Pereira M. d. C. Atmospheric Nanoparticles and Their Impacts on Public Health, 2013. [Peržiūrėta 2017-03-26]. Prieiga internete: <http://www.intechopen.com/books/current-topics-in-public-health/atmospheric-nanoparticles-and-their-impacts-on-public-health>
9. Viana M. Nanoparticles in European Cities and Associated Health Impacts, 2013. [Peržiūrėta 2017-03-28]. Prieiga internete: https://www.researchgate.net/publication/236870859_Nanoparticles_in_European_Cities_and_Associated_Health_Impacts
10. Aplinkos ir patalpų oro kokybės įtaka žmogaus sveikatai, 2014. [Peržiūrėta 2017-03-28] Prieiga internete: <http://www.ve.lt/naujienos/sveikata/sveikata/aplinkos-ir-patalpu-oro-kokybes-itaka-zmogaus-sveikatai-1187502/>
11. Darling E., Morrison. C. G., Corsi L. R. Passive removal materials for indoor ozone control, 2016. [Peržiūrėta 2017-04-01] Prieiga internete: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132316302256>
12. Wu Z., Hu M., Lin P., Liu S., Wehner B., Wiedensohler A. Particle number size distribution in the urban atmosphere of Beijing, China, 2008. [Peržiūrėta 2017-04-01] Prieiga internete: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231008006213>
13. Denafas G. Atmosferos apsauga. Atmosferos taršos mažinimas. Mokomoji knyga II dalis. Kaunas: Technologija, 2001, p. 7-31.

14. Šležas R. ES GPGB dideliems kurą deginantiesiems įrenginiams ir jų palyginimas su esama situacija Lietuvos energetikos sektoriuje. [Peržiūrėta 2017-03-15] Prieiga internete: 193.219.133.6/aaa/Tipk/tipk/3_GPGB%20anotacijos/9a.doc
15. Martuzevičius D. Paskaitų medžiaga tema: „Elektrostatinis dalelių nusodinimas, elektrostatiniai nusodintuvai“, 2016.
16. Chen T. M., Tsai C. J., Yan S. Y., Li S. N. An efficient wet electrostatic precipitator for removing nanoparticles, submicron and micron-sized particles, 2014. [Peržiūrėta 2017-04-03]. Prieiga internete: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586614005309>
17. Electrostatic precipitation. [Peržiūrėta 2017-04-03]. Prieiga internete: <http://www.arb.ca.gov/research/apr/past/a9-119-30b.pdf>
18. Kumar P., Morawska L., Martani C., Biskos G., Neophytou M., Sabatino S., Bell M., Norford L., Britter R. The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities, 2015. [Peržiūrėta 2017-04-03]. Prieiga internete: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412014003547>
19. Wang K. L., Pereira C. N., Hung T. Y. Handbook of Environmental Engineering: Air Pollution Control Engineering, 2004.
20. Cooper C. D., Alley F. C. Air Pollution Control. A Design Approach. Fourth Edition, 2011.
21. Dagiliūtė R., Uždanavičiūtė I. Ground Level Ozone Precursors: Emission Changes in Lithuania 1990–2006, 2010. [Peržiūrėta 2017-04-06]. Prieiga internete: <http://erem.ktu.lt/index.php/erem/article/view/95/71>
22. Freudenrich C. How Ozone Pollution Works. [Peržiūrėta 2017-04-06]. Prieiga internete: <http://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/ozone-pollution1.htm>
23. Rogers N. Forests could be a thrifty way to fight ozone pollution, 2014. [Peržiūrėta 2017-04-06]. Prieiga internete: <https://news.mongabay.com/2014/12/forests-could-be-a-thrifty-way-to-fight-ozone-pollution/>
24. Sveikatos mokymo ir ligų prevencijos centras. Gyvenamosios aplinkos poveikis sveikatai, 2015. [Peržiūrėta 2017-05-25]. Prieiga internete: <http://www.smlpc.lt/index.php?sid=93&tid=3507>
25. Stragienė V., Keturka V., Uscila V., Keršulis O. Gyvenamosios aplinkos oro kokybės vertinimo ir valdymo modelis, 2013. [Peržiūrėta 2017-04-06]. Prieiga internete: http://gamta.lt/files/Aplinkos_oro_kokybes_vertinimo_vadovas.pdf
26. Martuzevičius D., Kliučininkas L., Prasauskas T., Krugly E., Strandberg B. Resuspension of particulate matter and PAHs from street dust, 2011. [Peržiūrėta 2017-04-06]. Prieiga internete: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231010009015>

27. Järvinen A., Aitomaa M., Rostedt A., Keskinen J., Yli-Ojanperä J. Calibration of the new electrical low pressure impactor (ELPI+), 2014. [Peržiūrėta 2017-04-28]. Prieiga internete: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021850213002528>
28. Oficialus ELPI+ Decati prietaiso gamintojo puslapis. [Peržiūrėta 2017-05-15]. Prieiga internete: <http://www.dekati.com/products/Fine%20Particle%20Measurement/ELPI%C2%AE%2B>
29. Matavimo prietaiso IQM 60 Aeroqual charakteristikos. [Peržiūrėta 2017-05-15]. Prieiga internete: http://www.ert.pt/24/images/stories/catalogos/aeroqual/AQL_IQM60_Brochure.pdf
30. Lietuvos higienos normos HN 35:2007. "Didžiausia leidžiama cheminių medžiagų (teršalų) koncentracija gyvenamosios aplinkos ore", 2016. [Peržiūrėta 2017-05-15]. Prieiga internete: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.34E2C5F24512/KxqHbGpHkM>