



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
APLINKOS APSAUGOS KATEDRA

Rasa Butvilaitė

**KIETŲJŲ DALELIŲ ŠALINIMO NUSODINIMO KAMEROJE TYRIMAI IR
VERTINIMAS**

**PARTICULATE REMOVAL IN SETTLING CHAMBER RESEARCH AND
EVALUATION**

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H17004

Aplinkos ir klimato inžinerijos specializacija

Aplinkos inžinerijos mokslo kryptis

Vilnius, 2012

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Aplinkos inžinerijos fakultetas

Aplinkos apsaugos katedra

ISBN ISSN

Egz. sk.

Data-.....-.....

Magistrantūros baigiamasis darbas

Pavadinimas **Kietųjų dalelių šalinimo nusodinimo kameroje tyrimai ir vertinimas**

Autorius **Rasa Butvilaitė**

Vadovas **doc. dr. Egidijus**

Kalba

☒ X

lietuvių

☐

užsienio

Anotacija

Magistro darbe tirta naujai suprojektuota kietųjų dalelių nusodinimo kamera su reguliuojamomis nusodinimo plokštelėmis. Darbo tikslas – nustatyti kietųjų dalelių nusodinimo kameros valymo efektyvumą, panaudojant skirtingus teršalus.

Įvade aprašoma problema, darbo aktualumas, baigiamojo darbo tikslai ir uždaviniai, darbo naujumas bei praktinė vertė.

Pirmajame skyriuje analizuota literatūra, aprašomos bendrosios kietųjų dalelių charakteristikos, jų įtaka klimato kaitai, taip pat apžvelgiamos nusodinimo kamerų rūšys bei jų pagrindiniai parametrai. Aprašyti kompiuterinio modeliavimo principai tiriant dulkių koncentracijas.

Antrajame skyriuje pateiktos tyrimų metodikos: eksperimentiniuose tyrimuose naudotos įrangos bei medžiagų charakteristikos, aprašomas svorinis kietųjų dalelių koncentracijų analizavimo metodas.

Trečiajame skyriuje pateikta eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė. Aprašomi gauti nusodinimo kameros efektyvumai keičiant nusodinimo plokštelių pasvirimo kampą (30°, 45°, 60°), kai tyrimai atlikti su keturiomis skirtingomis medžiagomis: cemento dulkėmis, medienos pjuvenomis, biokuro pelenais bei kvarcinio smėlio dulkėmis. Aprašyti išmatuotieji oro srauto greičiai nusodinimo kameros viduje.

Ketvirtame skyriuje atliktas oro srauto greičių pasiskirstymo nusodinimo kameroje modeliavimas „Phoenics“ programa. Aprašyti gauti rezultatai. Palyginti eksperimentinių matavimų ir modeliavimo rezultatai.

Baigiamojo darbo pabaigoje pateikiamos bendrosios išvados ir rekomendacijos bei naudotos literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 95 p. teksto be priedų, 48 iliustr., 9 lent., 56 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: kietosios dalelės, nusodinimo kamera, KD koncentracija, svorinis (gravimetrinis) metodas, oro srauto judėjimas, skaitinis modeliavimas.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of environmental engineering
Department of environment protection

ISBN ISSN
No of copies
Date -.....-.....

Study programme master thesis

Title: **Particulate removal in settling chamber research and evaluation**

Author **Rasa Butvilaitė**

Academic supervisor **doc. dr. Egidijus Petraitis**

Language

☒ lithuanian
☐ foreign

Annotation

The new particle settling chamber with adjustable deposition plates is investigated in this master thesis. The aim is to estimate the efficiency of particle deposition chamber by using different pollutants.

Preface is the relevance description of the problem, as well as aims and tasks of this dissertation, novelty and a practical working value.

The first part is intended for literature review. The general characteristics of particles, their contribution to climate change, settling chamber types and their basic parameters are described. It also describes the principles of computer simulation.

The second part presents the methodologies of research: the equipment and material, used in the studies, characteristics. Also describes the weighted method for analysis of particles concentrations.

The third part provides an analysis of experimental results. Describes the efficiency of deposition chamber by changing angle of plates (30°, 45°, 60°), when were used different materials: cement dust, wood sawdust, biofuel ashes and quartz dust. It also describes air flow velocities inside the deposition chamber.

In the fourth part the air flow distribution in the deposition chamber modeling is done. Experimental measuring and simulation results are rated.

The last part contains the general conclusions, recommendations and a list of used literature.

Thesis consists of: 95 p. text without appendixes, 48 pictures, 9 tables, 56 bibliographical entries.

Keywords: particulate matter (PM), deposition chamber, concentration of particulate matter, the weighted (gravimetric) method, air flow, numerical modeling.

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	7
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	8
ĮVADAS	10
1. KIETŲJŲ DALELIŲ CHARAKTERISTIKŲ IR NUSODINIMO KAMERŲ LITERATŪROS APŽVALGA	13
1.1. Aplinkos oro tarša kietosiomis dalelėmis	13
1.1.1. Bendra kietųjų dalelių charakteristika.....	13
1.1.2. Kietųjų dalelių susidarymas gamybos procesuose	21
1.1.3. Kietųjų dalelių ribinės vertės ir jas reglamentuojantys teisės aktai	24
1.1.4. Esama situacija Lietuvoje.....	25
1.2. Kietųjų dalelių įtaka klimato kaitai.....	30
1.2.1. Kietųjų dalelių tiesioginis ir netiesioginis poveikis	30
1.2.2. Kietųjų dalelių vaidmuo pastaraisiais metais ir numatoma įtaka klimato kaitai.....	33
1.3. Kietųjų dalelių šalinimas nusodinimo kameromis.....	34
1.3.1. Nusodinimo kameros parametrai	37
1.4. Kompiuterinio modeliavimo principai tiriant dulkių koncentracijas.....	41
1.5. Išvados	42
2. KIETŲJŲ DALELIŲ ŠALINIMO NUSODINIMO KAMEROJE EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI	43
2.1. Tyrimams naudojama nusodinimo kamera.....	43
2.2. Fizinių parametrų nusodinimo kameroje matavimas.....	45
2.3. Kietųjų dalelių koncentracijos matavimas	46
2.4. Eksperimentiniams tyrimams atlikti naudojama įranga.....	48
2.5. Išvados	51
3. KIETŲJŲ DALELIŲ ŠALINIMO NUSODINIMO KAMEROJE TYRIMŲ REZULTATŲ ANALIZĖ	52
3.1. Nusodinimo kameros efektyvumas.....	52
3.1.1. Nusodinimo kameros efektyvumas, kai oro srautas užterštas cemento dulkėmis... 52	
3.1.2. Nusodinimo kameros efektyvumas, kai oro srautas užterštas medienos pjuvenomis	56
3.1.3. Nusodinimo kameros efektyvumas, kai oro srautas užterštas biokuro pelenais	60
3.1.4. Nusodinimo kameros efektyvumas, kai oro srautas užterštas kvarcinio smėlio dulkėmis	64

3.1.5. Nusodinimo kameros efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių prigimties .	68
3.2. Oro srauto greičiai kameros viduje	71
3.3. Išvados	74
4. KIETŲJŲ DALELIŲ PASISKIRSTYMO NUSODINIMO KAMEROJE MODELIAVIMAS	75
4.1. Modeliavimo programos aprašymas	75
4.2. Modeliavimo rezultatų analizė.....	78
4.3. Eksperimentinių ir modeliavimo rezultatų palyginimas	83
4.4. Išvados	85
BENDROSIOS IŠVADOS.....	86
REKOMENDACIJOS	87
LITERATŪRA	88
PRIEDAI	94

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Kietųjų dalelių dydžiai ir koncentracijos	16
1.2 lentelė. Kietųjų dalelių šaltiniai	20
1.3 lentelė. Kietųjų dalelių ribinės vertės	28
3.1 lentelė. Oro srauto greičiai, kai plokštelių pasvirimo kampas 30°	74
3.2 lentelė. Oro srauto greičiai, kai plokštelių pasvirimo kampas 45°	74
3.3 lentelė. Oro srauto greičiai, kai plokštelių pasvirimo kampas 60°	75
4.1 lentelė. Eksperimento ir teoriškai apskaičiuotų rezultatų palyginimas, kai pasvirimo kampas 30°	85
4.2 lentelė. Eksperimento ir teoriškai apskaičiuotų rezultatų palyginimas, kai pasvirimo kampas 45°	86
4.3 lentelė. Eksperimento ir teoriškai apskaičiuotų rezultatų palyginimas, kai pasvirimo kampas 60°	86

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Kietųjų dalelių dydžiai	16
1.2 pav. Natūralūs (a) ir antropogeniniai (b) taršos šaltiniai	20
1.3 pav. Kietųjų dalelių patekimas į organizmą	22
1.4 pav. Migla mieste	22
1.5 pav. Dienų skaičius, kai buvo viršyta KD_{10} koncentracijos paros vidurkio ribinė vertė Vilniaus OKT stotyse	28
1.6 pav. Dienų skaičius, kai KD_{10} koncentracija viršijo paros ribinę vertę	29
1.7 pav. Dienų skaičius, kai KD_{10} koncentracijos paros vidurkis viršijo ribinę vertę	30
1.8 pav. Kietųjų dalelių tiesioginis ir pirminis netiesioginis poveikis	34
1.9 pav. Aerosolio terminio efekto priklausomybė nuo paklotinio paviršiaus albedo	36
1.10 pav. Kietųjų dalelių nusodinimo kamera	37
1.11 pav. Kietųjų dalelių nusodinimo kamera su plokštelėmis	38
1.12 pav. Nusodinimo kamera su pertvaromis	39
1.13 pav. Nusodinimo kameros parametrai	39
1.14 pav. Kietųjų dalelių išvalymo efektyvumas	42
2.1 pav. Projektuojamo įrenginio schema	45
2.2 pav. Pagamintas oro valymo įrenginys	46
2.3 pav. Nusodinimo plokštelės pasvirimo kampai	46
2.4 pav. Oro srauto greičio, temperatūros ir slėgio matavimo vietų ortakyje schema	47
2.5 pav. Tyrimams naudojamos medžiagos: a) cemento dulkės, b) medienos pjuvenos, c) biokuro pelenai, d) kvarcinio smėlio dulkės	48
2.6 pav. Daugiafunkcinis matyvuoklis „Testo-400“	51
2.7 pav. Elektroaspiratorius	51
2.8 pav. Elektroaspiratoriaus sujungimo schema	51
2.9 pav. Filtro laikiklis su filtru АΦА – ВП	52
3.1 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo cemento dulkių koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 30° plokštelių pasvirimo kampui	55
3.2 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo cemento dulkių koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 45° plokštelių pasvirimo kampui	56
3.3 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo cemento dulkių koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 60° plokštelių pasvirimo kampui	57
3.4 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo medienos pjuvenų koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 30° plokštelių pasvirimo kampui	59

3.5 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo medienos pjuvenų koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 45° plokštelių pasvirimo kampui	60
3.6 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo medienos pjuvenų koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 60° plokštelių pasvirimo kampui	61
3.7 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo biokuro pelenų koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 30° plokštelių pasvirimo kampui	63
3.8 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo biokuro pelenų koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 45° plokštelių pasvirimo kampui	64
3.9 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo biokuro pelenų koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 60° plokštelių pasvirimo kampui	65
3.10 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo kvarcinio smėlio dulkių koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 30° plokštelių pasvirimo kampui	67
3.11 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo kvarcinio smėlio dulkių koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 45° plokštelių pasvirimo kampui	68
3.12 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo kvarcinio smėlio dulkių koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 60° plokštelių pasvirimo kampui	69
3.13 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių prigimtės, kai pradinė kietųjų dalelių koncentracija 100–125 mg/m ³	71
3.14 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių prigimtės, kai pradinė kietųjų dalelių koncentracija 250–275 mg/m ³	72
3.15 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių prigimtės, kai pradinė kietųjų dalelių koncentracija 450–475 mg/m ³	72
3.16 pav. Oro srauto greičių kameros viduje matavimo taškai	73
4.1 pav. Programos „Phoenics“ struktūra	77
4.2 pav. Modeliavimo uždavinio erdvė	81
4.3 pav. Greičio izopaviršių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, kai plokštelės pasvirusios 30° kampu	81
4.4 pav. Greičio vektorių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, kai plokštelės pasvirusios 30° kampu	82
4.5 pav. Greičio izopaviršių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, kai plokštelės pasvirusios 45° kampu	83
4.6 pav. Greičio vektorių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, kai plokštelės pasvirusios 45° kampu	83
4.7 pav. Greičio izopaviršių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, kai plokštelės pasvirusios 60° kampu	84
4.8 pav. Greičio vektorių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, kai plokštelės pasvirusios 60° kampu	85

IVADAS

Problema

Globalizacijos procesai žmonijai kasdien kelia vis naujas ir sudėtingesnes problemas. Vis didesnę nerimą aplinkosaugininkams kelia oro kokybė. Atmosferos užterštumas kietosiomis dalelėmis yra viena opiausių aplinkos oro kokybės problemų.

Kietosios dalelės – tai ore esančių dalelių ir skysčio lašelių (aerozolių) mišinys, kurio sudėtyje gali būti įvairūs komponentai – rūgštys, sulfatai, nitratai, organiniai junginiai, metalai, dirvožemio dalelės, dulkės, suodžiai ir kt. (U.S. Environmental...2010). Jos susidaro kuro degimo metu (deginant skystą arba kietą kurą) iš jame esančių nedegių priemaišų, nesudegusios kuro anglies, suodžių, liepsnoje pasigaminusių kietų sieros junginių, degimo oro dulkių.

Į orą išmetamos kietosios dalelės labai skiriasi savo fizine ir chemine sudėtimi, skirtingi yra dalelių dydžiai ir jų išmetimo šaltiniai (Matuliauskaitė 2009).

KD₁₀ – tai kietosios dalelės, kurių 50 % pereina pro joms pralaidžią 10 µm aerodinaminio skersmens angą.

KD_{2,5} – kietosios dalelės, kurių 50 % pereina pro joms pralaidžią 2,5 µm aerodinaminio skersmens angą (Europos Sąjungos...1999).

KD₁₀ dalelės kelia didžiausią susirūpinimą, kadangi jos yra pakankamai mažos, kad galėtų prasiskverbti giliai į plaučius ir tokiu būdu sukelti didelę grėsmę žmogaus sveikatai. Šiuo metu KD_{2,5} dalelės laikomos sukeliančiomis dar didesnę grėsmę sveikatai. Didesnės dalelės nėra tiesiogiai įkvepiamos ir iš oro pakankamai efektyviai gali būti pašalinamos sedimentacijos būdu (EurpeAid 2006).

Oro tarša kietosiomis dalelėmis – viena pavojingiausių žmogaus sveikatai. Trumpalaikis, tačiau ženklus jų koncentracijos padidėjimas gali sukelti ūmius sveikatos pakitimus, o ilgalaikis, nors ir mažesnis padidėjimas, gali tapti lėtinių negalavimų priežastimi. Siekiant išvengti kenksmingo poveikio žmonių sveikatai ar jį sumažinti pagal Pasaulinės sveikatos organizacijos rekomendacijas yra nustatytos pagrindinių teršalų (iš jų ir kietųjų dalelių) ribinės vertės, kurios turi būti pasiektos per tam tikrą laiką ir vėliau negali būti viršijamos.

Aplinkos ministerijos duomenimis, paskutiniaisiais metais visuose Lietuvos miestuose, kuriuose yra įrengtos oro kokybės tyrimų stotys, fiksuojama daug daugiau smulkiųjų kietųjų dalelių koncentracijos paros ribinės vertės (50 µg/m³) viršijimo atvejų. Todėl reikia imtis daugiau priemonių, reikalingų taršai kietosiomis dalelėmis mažinti.

Darbo aktualumas

Kietųjų dalelių šalinimas nusodinimo kameroje – viena pirmųjų technologijų, siekiant kontroliuoti kietųjų dalelių išmetimą į atmosferą. Veikimo principas pagrįstas dalelių oro srauto greičio sumažinimu ir jų nusodinimu veikiant sunkio jėgai. Šios nusodinimo kameros montuojamos pramonėje, didžiausias efektyvumas šalinant 20–60 µm daleles.

Mokslininkai A. C. K. Lai ir W. W. Nazaroff atliko eksperimentą, kuriuo buvo siekiama nustatyti kietųjų dalelių nusėdimą iš oro srauto, esant lygiam ir šiurkščiam kameros paviršiui. Tyrimo metu buvo pastebėta, kad dalelių nusėdimas ant šiurkščių ir lygių paviršių priklauso nuo dalelių dydžio, o nusėdimo greitis padidėja, tik nežymiai didėjant paviršiaus šiurkštumui.

Mokslininkas T. Hussein sukonstravo realų kietųjų dalelių nusodinimo kameros modelį. Jo veikimo principą ir išsamų aprašymą apie dalelių nusėdimą jis aprašė savo straipsnyje „Evaluation of deposition rates of aerosol particles on smooth surfaces inside a test chamber“.

Kietųjų dalelių judėjimą nusodinimo kameroje tyrinėjo Jungtinių Amerikos Valstijų mokslininkai Franklin W. Dabbi ir Bedros Orchanian. 2009 publikuotame patente jie aprašė kietųjų dalelių judėjimą nusodinimo kameroje ir metodus dalelių judėjimui nustatyti.

Kietųjų dalelių koncentracijos atmosferoje paskutiniaisiais metais smarkiai išaugo, ypač šaltuoju metų laiku, nes suintensyvėja šiluminės energijos gamyba ir dėl to padidėja teršalų išmetimai iš energetikos įmonių. Daugelis įmonių naudoja įvairius oro valymo įrenginius, tačiau neatskiria stambių ir smulkių dalelių. Dėl to mažėja valymo efektyvumas, nes įrenginyje atsiranda per didelė kietųjų dalelių trintis ir dulkių perteklius. Šiuo darbu siekiama suprojektuoti naują pirmos pakopos kietųjų dalelių valymo įrenginį, kuriame bus atskiriamos stambios dalelės. Po tokio įrenginio galima taikyti efektyvesnę antros pakopos valymą.

Nustačius naujo valymo įrenginio parametrus ir efektyvumą, galima jį pritaikyti pramonės įmonėse, kurios susiduria su padidėjusių kietųjų dalelių išsiskyrimu į aplinką.

Darbo tikslas – nustatyti kietųjų dalelių nusodinimo kameros valymo efektyvumą, panaudojant skirtingos prigimties teršalus.

Darbo uždaviniai

1. Suprojektuoti pirmos pakopos kietųjų dalelių valymo įrenginį;
2. Ištirti įrenginio efektyvumo priklausomybę nuo kietųjų dalelių prigimties;
3. Nustatyti valymo įrenginio efektyvumą, esant skirtingiems techniniams parametrams;
4. Nustatyti oro srauto greičių pasiskirstymą nusodinimo kameros viduje;
4. Atlikti tyrimo duomenų analizę, taikant modeliavimo programą.

Darbo naujumas

Pastaruoju metu kietųjų dalelių sugaudymui naudojami įvairūs valymo įrenginiai, tačiau jų efektyvumas sumažėja dėl dulkių pertekliaus ir per didelės kietųjų dalelių trinties. Todėl buvo pasirinkta suprojektuoti naują pirmosios pakopos valymo įrenginį, kuriuo būtų pašalinamos stambios kietosios dalelės. Išanalizavus šio įrenginio veikimo principą ir nustačius efektyvumą, pateikiamos išvados bei rekomendacijos.

Darbo praktinė vertė

Eksperimento duomenys, gauti tiriant naująjį kietųjų dalelių valymo įrenginį, gali objektyviau įvertinti pirmosios pakopos oro valymą nuo kietųjų dalelių. Bandymo metu fiksuojama: efektyvumas, oro srauto kiekis bei greitis, pasipriešinimo sienelių kampas.

1. KIETŲJŲ DALELIŲ CHARAKTERISTIKŲ IR NUSODINIMO KAMERŲ LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Aplinkos oro tarša kietosiomis dalelėmis

Šiuo metu vis aktualesnės tampa atmosferos taršos problemos, dėl kurių žmonija susiduria su tokiomis globalinėmis problemomis, kaip klimato kaita, ozono sluoksnio plonėjimas, rūgštūs lietūs. Viena iš pagrindinių atmosferos teršėjų yra šiluminė energetika, sunaudojanti daug organinio kuro ir išskirianti į aplinką daug toksiškų medžiagų. Kai energija gaminama deginant organinį kurą, visada susidaro šalutinių produktų – teršalų (pagrindiniai jų yra SO_2 , NO_x , CO ir kietosios dalelės, sudarančios apie 90 % visų teršalų) emisijos į atmosferą. Užteršta atmosfera savo ruožtu sąlygoja išlaidas, atsirandančias dėl pablogėjusios gyventojų sveikatos, sumažėjusio žemės ūkio kultūrų derlingumo, greitesnio ilgalaikio kapitalo nusidėvėjimo (Štreimikienė ir Čiegis 2001).

1.1.1. Bendra kietųjų dalelių charakteristika

Kietosios dalelės paprastai apibūdinamos kaip kietųjų ir skystųjų dalelių ore mišinys. Dalelių skersmuo svyruoja nuo 0,005 iki 100 mikronų (μm). Smulkių kietųjų dalelių, esančių ore, skersmuo yra 2,5 μm ir mažiau (Zhu *et al.* 2002; Shi *et al.* 1999; Hitchins *et al.* 2000). Mažesnės kietosios dalelės apima aerozolius, degimo metu išsiskyrusias daleles bei susikondensavusius organinius ir metalo garus. Didesnės dalelės paprastai apima Žemės plutos uolienas ir neorganizuotas dulkes nuo kelių ir pramonės įmonių (Krzyzanowski *et al.* 2003).

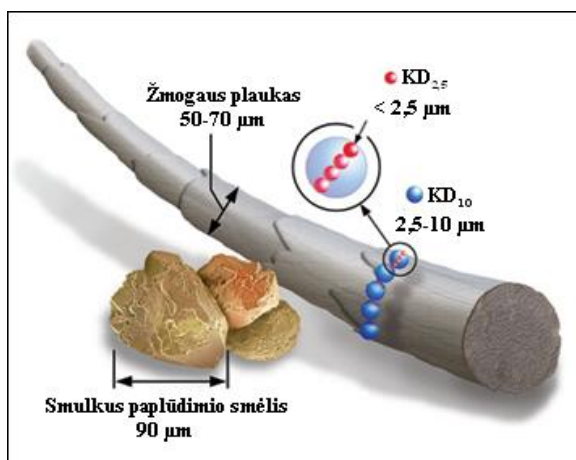
Oro tarša kietosiomis dalelėmis yra kietųjų, skystųjų ar kietųjų ir skystųjų suspenduotų dalelių kompleksas. Šios suspenduotos dalelės skiriasi savo dydžiu, sudėtimi ir kilmės (Krzyzanowski *et al.* 2003).

Kietųjų dalelių dydis

Kietosios dalelės yra netaisyklingos formos ir aerodinaminės savybės priklauso nuo skersmens. Dalelės, turinčios vienodą aerodinaminį skersmenį, gali turėti skirtingą dydį ir formą. Pagal dydį dalelės yra skirstomos į dvi pagrindines grupes:

- Stambiašias (šiurkščias), kurių dydis svyruoja nuo 2,5 iki 10 μm ;
- Smulkiašias, kurių dydis svyruoja nuo 0,1 iki 2,5 μm . Iki 0,1 μm kietosios dalelės vadinamos labai smulkiomis.

Tarša kietosiomis dalelėmis susideda iš stambių dalelių, kurių skersmuo nuo 2,5 μm iki 10 μm bei smulkių, kurių skersmuo iki 2,5 μm ir mažiau. Kietųjų dalelių dydį galima palyginti su žmogaus plauku, kurio skersmuo yra maždaug 70 μm (1.1 Pav.).



1.1 pav. Kietųjų dalelių dydžiai

Daugelis ore esančių kietųjų dalelių sudarytos iš smulkių dalelių, kurių dydis svyruoja nuo 0,1 iki 2,5 μm . Labai smulkios dalelės sudaro nežymią dalį bendrosios dalelių masės (Krzyzanowski *et al.* 2003).

Mokslininkų C.C. Lee ir G. L. Huffman išleistoje knygoje „Particulate emission control“ aprašytas kietųjų dalelių nustatymo metodas. Jo metu atliktas eksperimentas, siekiant nustatyti kietųjų dalelių dydį, savybes, judėjimo trajektorijas ir koncentracijas.

1.1 lentelė. Kietųjų dalelių dydžiai ir koncentracijos (Lee and Huffman 2007)

Kietųjų dalelių dydis, μm	Koncentracija, $\mu\text{g}/\text{cm}^3$
1–2	0,8
2–4	12,2
4–6	25
6–10	56
10–20	76
20–40	27
> 40	3

Eksperimento metu buvo traukiamas oro srautas ir prietaisais nustatoma kietųjų dalelių dydis ir koncentracija. 1.1 lentelėje pateikti gauti duomenys, iš jų matyti, kad išskiriami

dalelių diametrai nuo 1 iki 40 μm , skaičiuojant jų koncentraciją tūryje. Mažiausia koncentracija nustatyta 1–2 μm , didžiausia – 10–20 μm dydžio dalelių (Lee and Huffman 2007).

Kietųjų dalelių sudėtis

Daugiausiai tyrimų atliekama nustatinėjant kietųjų dalelių sudėtį. Daugelio sudedamųjų komponentų nustatymas yra sudėtingas dėl ribotų eksperimentų galimybių, todėl dažnai duomenys apie kietųjų dalelių sudėtį lyginami su keliais tyrimais, kuriais nustatoma dalelių cheminė ir fizikinė sudėtis. Kietųjų dalelių sudėties matavimai turi skirtingus tikslumo lygius, preciziškumą ir palyginamumą.

Kietųjų dalelių fizikinė sudėtis:

- Dalelės masė;
- Šiurkščioji masė.

Kietųjų dalelių cheminė sudėtis:

- Sulfatas (SO_4);
- Nitratai (NO_3);
- Amoniakas (NH_4);
- Bendroji organinė anglis;
- Juodoji anglis;
- Specifinė organika;
- Mikroelementai;
- Pereinamieji metalai;
- Biologiniai aerozoliai.

Visų kietųjų dalelių fizikinė sudėtis gali būti panaši, tačiau cheminės ypatybės labai skiriasi. Tyrimais nustatyta, kad atliekant vienodus bandymus, dalelių cheminė sudėtis skiriasi. Visada aptinkama SO_4 , NO_3 , NH_4 , tačiau organinių medžiagų ir aerozolių kiekiai nenustatyti. Tokie skirtumai atsiranda dėl skirtingai parenkamos metodikos, mėginių ėmimo būdų bei dėl kalibravimo standartų neatitikimo (McMurry *et al.* 2004).

Fizinės kietųjų dalelių savybės

Dulkių tankis

Dalelių tankis skiriamas į tris kategorijas:

- tikrasis tankis;
- supiltų dulkių tankis;
- tariamasis tankis.

Kietos dalelės tikrasis tankis nustatomas kaip santykis dalelės masės su jos užimamu tūriu, neįvertinant porų tuštumų.

Tariamasis tankis nustatomas kaip santykis dalelės masės su jos užimamu tūriu, įskaitant poras, nelygumus ir tuštumas. Lygių monolitinių kietų dalelių tariamasis tankis sutampa su tikroju tankiu. Žymus tariamojo tankio sumažėjimas palyginus su tikroju stebimas dalelių, kurios linkusios koaguluoti. Palyginti tikslūs metodai įgalina nustatyti tik atskirai paimtos dalelės tariamojo tankio reikšmę, todėl pagrinde yra tinkami tik moksliniams aerozolių mechanikos tyrimams. Todėl, daugelį praktikoje sutinkamų atvejų stengiamasi ir galima apsieiti be eksperimentinio tariamojo tankio nustatymo.

Supiltų dulkių tankis nustatomas kaip santykis šviežiai subyrėjusių (nesusigulėjusių) kietų dalelių masės su jų užimamu tūriu, įskaitant oro tarpus tarp dalelių. Šis dydis yra naudojamas nustatant tūrį, kurį užima dulkės sausų valymo įrenginių bunkeriuose. Didėjant dalelių vienaarūšiškumui pagal dydį, jų supiltų dulkių tankis mažėja, nes padidėja oro tarpų tūris. Susigulėjusių supiltų dulkių tankis išauga 1,2–1,5 kartus.

Adhezinės dalelių savybės.

Adhezija – tai dalelių sukibimas su paviršiumi. Adhezinės dalelių savybės nusako jų polinkį sulipti. Padidintas sulipimas gali sąlygoti dalinį arba pilną valymo aparatų užsikimšimą dėl dulkėto oro. Kuo mažesnis dalelių diametras, tuo lengviau jos prilimpa prie įrenginio paviršiaus. Dulkės, kurių 60–70 % dalelių turi mažesnę negu 10 μm diametrą, elgiasi kaip limpančios, nors tos pačios dulkės, kurių dalelių diametras didesnis negu 10 μm, pasižymi geru birumu. Pagal tai dulkės yra skirstomos į keturias grupes:

- nesulimpančias;
- mažai sulimpančias;
- vidutiniškai sulimpančias;
- gerai sulimpančias.

Su sulipimu glaudžiai susijusi kita dulkių charakteristika – **birumas**. Dulkių birumas įvertinamas pagal natūralaus kritimo kampą, kurį įgauna švaraus birumo būklės dulkės.

Dulkių abrazyvumas charakterizuoja metalų išnešimo intensyvumą esant vienodiems dujų greičiams ir dulkių koncentracijoms. Jis priklauso nuo dalelių kietumo, formos, tankio ir kitų dydžių. Ši savybė naudojama parenkant filtravimo medžiagas, įrenginių korpusų storį ir medžiagą.

Dalelių sudrėkimas vandeniui turi esmę reikšmę šlapių dulkių valymo įrengimų efektyvumui. Glotnios dalelės sudrėksta geriau, negu dalelės nelygiu paviršiumi. Didėjant

dalelėms, jų bendras paviršius sumažėja, todėl pablogėja jų kontaktas su dujomis ir padidėja sudrėkimas. Pagal sudrėkimą visi kietieji kūnai yra skirstomi į tris pagrindines grupes:

- hidrofilinės medžiagos, kurios lengvai sudrėksta vandeniui;
- hidrofobinės medžiagos, kurios blogai sudrėksta;
- absoliučiai hidrofobiniai kūnai.

Elektrinės dulkių savybės

Dulkių sluoksnio specifinė (savitoji) elektrinė varža priklauso nuo atskirų dalelių savybių: paviršinio ir vidinio elektros laidumo, dalelių formos ir dydžio; taip pat nuo sluoksnio struktūros ir dujinės tėkmės parametrų. Ji turi esminę reikšmę elektrodų darbui. Priklausomai nuo specifinės varžos dydžio dulkės skirstomos į tris grupes:

- sluoksnio specifinė varža mažiau $10^4 \Omega$;
- dulkės su sluoksnio specifine varža nuo 10^4 iki $10^{10} \Omega$;
- dulkės su sluoksnio specifine varža nuo 10^{10} iki $10^{13} \Omega$.

Dulkių sluoksnio **elektros krūvis** lygus visų dalelių elektros krūvių sumai. Nustatomas Faradėjaus cilindru matuojant statiniu voltmetru potencialų skirtumą.

Cheminės dulkių savybės

Dulkių užsidegamumas ir sprogimui pavojingų mišinių su oru susidarymas. Dulkių sprogimo intensyvumas priklauso nuo cheminių savybių, nuo dalelių dydžio ir formos, jų koncentracijos ore, o intensyvumas ir degimo trukmė gali būti įvairūs. Tankios dulkių masės dega lėtai, o purios, ypač smulkios dulkės, paprastai sudega greitai visame tūryje. Minimali, pakibusių ore dulkių, sprogimui pavojinga koncentracija yra apie $20\text{--}500 \text{ g/m}^3$ oro, maksimali – apie $700\text{--}800 \text{ g/m}^3$. Kuo didesnis deguonies kiekis dujinėje aplinkoje, tuo didesnė sprogimo tikimybė ir jėga; esant deguonies mažiau negu 16 % dulkių debesis nesprogsta. Žemutinė dalelių koncentracijos riba – mažiausias degiosios medžiagos kiekis, kuris ore sudaro sprogu mišinį.

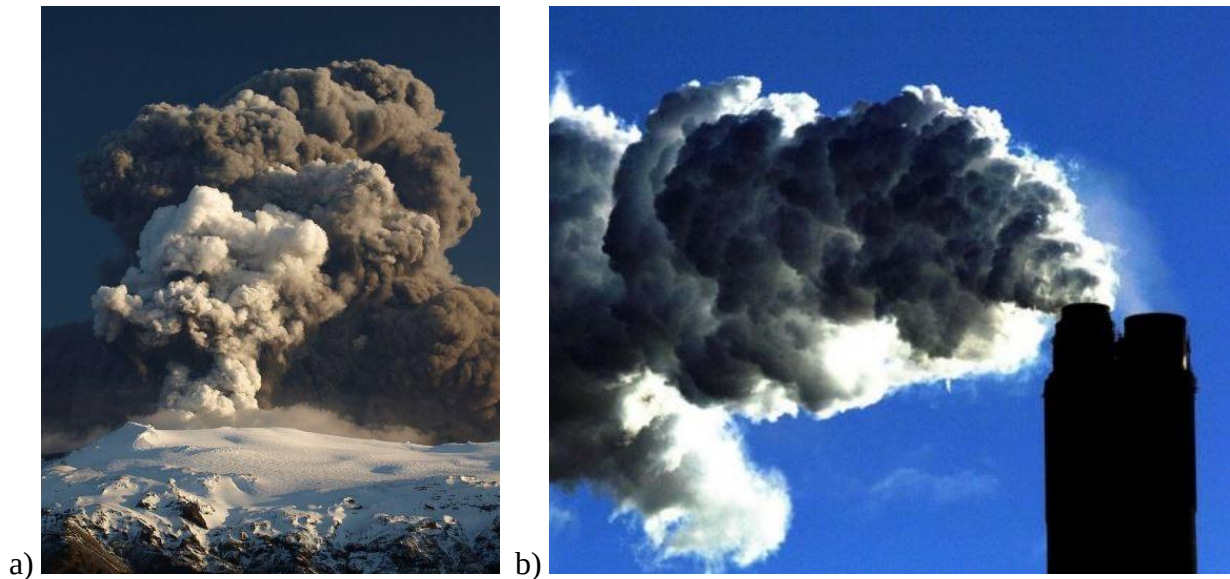
Kietųjų dalelių šaltiniai (kilmė)

Juodi dūmai iš kaminų, transporto išmetamosios dujos, pelenai, suodžiai – tai visų tipų kietųjų dalelių pavyzdžiai. Didesnės dalelės yra matomos akivaizdžiai, mažesnės – tiriamos mikroskopo pagalba.

Kietųjų dalelių kilmė – natūralūs ir antropogeniniai šaltiniai (1.2 pav.).

- Natūralūs – vulkanai, jūros purslai, miškų ir durpynų gaisrai;

- Antropogeniniai – gamyklos, elektrinės, dažymo cechai, transporto priemonės (Hamilton County...2010).



1.2 pav. Natūralūs (a) ir antropogeniniai (b) taršos šaltiniai

Kietųjų dalelių šaltiniai pateikti 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. Kietųjų dalelių šaltiniai (Fierro 2000)

	KD_{2,5}	KD₁₀
Šaltiniai	Sudegus angliai, alyvai, benzinui, dyzeliniam kurui, medienai; atmosferoje transformuojantis NO _x , SO ₂ , organiniams junginiams bei biogeniniams produktams; iš lydymo įmonių, plieno gamyklų	Pramoninės dulkės; dulkės nuo kelių; biologiniai šaltiniai; statybos ir griovimo darbai; akmens anglių ir alyvos deginimas
Gyvavimo trukmė	Nuo dienos iki savaitės	Nuo minutės iki valandos
Nuskrietas atstumas	100–1000 km	1–10 km

Dalelės, kurios plinta atmosferoje vadinamos aerozoliais, o vandenyje – suspensijomis. Tiek aerozoliai, tiek suspensijos suformuoja dispersines sistemas, kurios gali būti apibūdinamos pagal skersmenį, formą, poringumą, dielektrines savybes ir kitas dalelių ypatybes. Atsižvelgiant į visas šias savybes, būtų galima geriau suprasti ir valdyti gamtinius ir techninius procesus ir tuo pačiu – kontroliuoti aplinkos taršą (Skorupskaitė ir Denafas 2004).

Kietųjų dalelių poveikis žmogui ir aplinkai

Kietųjų dalelių koncentracijos yra stipriai reguliuojamos Europos Sąjungos direktyvų ir Lietuvos Respublikos teisės aktų, nes jos gali išsilaikyti atmosferoje ilgą laiką ir neigiamai paveikti žmonių sveikatą bei aplinką (Baltrėnas *et al.* 2005).

Didžiausias dėmesys yra skiriamas kietųjų dalelių (KD) daromam poveikiui žmonių sveikatai bei klimato kaitai (Houghton *et al.* 2001). Atmosferoje esančios kietosios dalelės – tai sudėtingas mišinys, sudarytas iš įvairių elementų, organinės anglies, amonio, nitratų, sulfatų, mineralinių dulkių, mikroelementų ir vandens. Atliekami detalūs kietųjų dalelių cheminės sudėties tyrimai yra labai svarbūs nustatant dalelių toksiškumą ir jų vaidmenį klimato kaitai (Hueglin *et al.* 2005).

Antropogeninės kilmės kietosios dalelės turi žalingą poveikį aplinkai ir žmonių sveikatai. Kuo mažesnė dalelė, tuo geriau kontaktuoja su aplinka ir kelia didesnę neigiamą poveikį. Mikroskopinio dydžio dalelės nusistovi pakankamai greitai ir nesukelia didelių pavojų. Dėl lengvumo ir puikaus sugebėjimo sklirti aplinkoje, submikroskopinės dalelės gali nukeliauti labai ilgą kelią, todėl jų sąveika su aplinka ir organizmais yra daug platesnė (Skorupskaitė ir Denafas 2004).

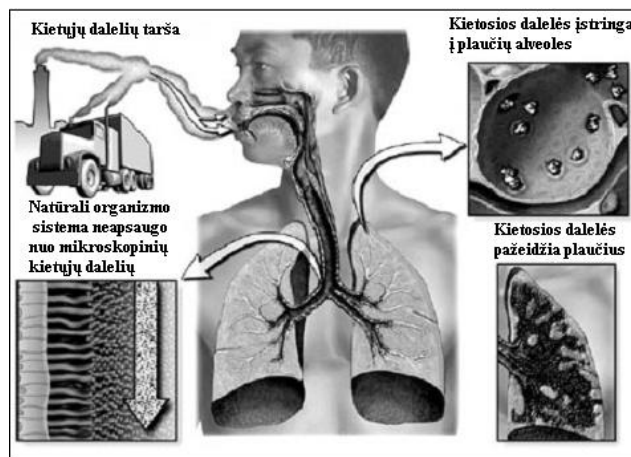
Kietųjų dalelių poveikis sveikatai yra toks (Curtis et al. 2006; Clifford et al. 2007):

- kvėpavimo ligų simptomai (kvėpavimo takų sudirginimas, kosėjimas ar sunkus kvėpavimas);
- apsunkinta plaučių veikla;
- astmos paūmėjimas;
- chroniško bronchito išsivystymas;
- nereguliarus širdies plakimas;
- širdies priepuoliai;
- žmonių, sergančių širdies ar plaučių ligomis, pirmalaikė mirtis.

Oro teršalų kenksmingumas žmogaus sveikatai priklauso nuo:

- teršalų rūšies;
- teršalų kiekio;
- žmogaus kontakto su teršalais trukmės;
- organizmo jautrumo.

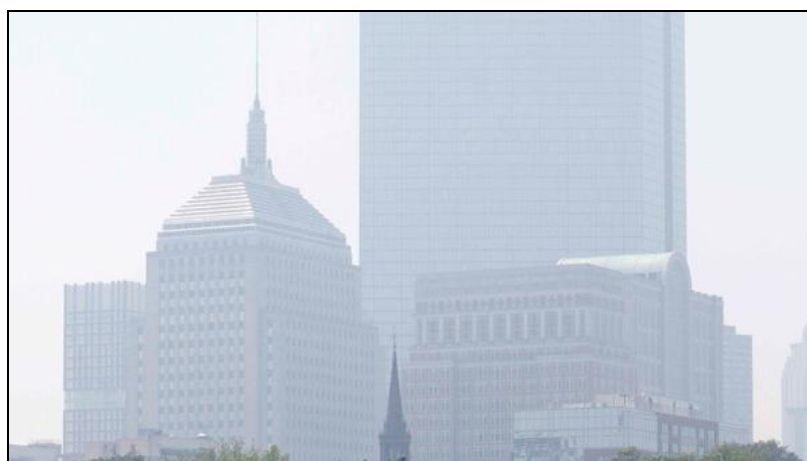
Smulkiosios dalelės pernešamos giliai į plaučius (1.3 pav.), kur jos sukelia uždegimą ir pablogina žmonių, sergančių širdies ar plaučių ligomis, būklę. Be to, į plaučius jos gali pernešti ir kancerogeninių junginių. Kasdienis mirties ar hospitalizacijos dėl kvėpavimo takų ir širdies veiklos sutrikimų atvejų bei astmos simptomų pasireiškimo skaičiaus kitimas siejamas su KD_{10} arba $KD_{2,5}$ dalelių koncentracijos ore pokyčiais (Matuliauskaitė 2009).



1.3 pav. Kietųjų dalelių patekimas į organizmą

Neigiamo poveikio žmonių sveikatai rizika auga didėjant kietųjų dalelių koncentracijai ore. Nėra duomenų apie slenkstines teršalų koncentracijas, kurių žemesniame lygmenyje nebūtų pastebimas neigiamas poveikis sveikatai (Matuliauskaitė 2009). Epidemiologiniai duomenys rodo neigiamus sveikatos pokyčius tiek dėl trumpalaikio (24 val.), tiek dėl ilgalaikio (metinio) kietųjų dalelių poveikio. Neigiamas trumpalaikis kietųjų dalelių poveikis žmonių sveikatai susijęs su bendro mirtingumo (išskyrus išorines mirties priežastis), hospitalinio sergamumo kvėpavimo sistemos ligomis, bronchodiliatorių naudojimo padidėjimu. Ilgalaikis poveikis susijęs su bendro mirtingumo, sergamumo bronchitu bei kitomis kvėpavimo sistemos ligomis padidėjimu (Fierro 2000).

Vienas iš pagrindinių kietųjų dalelių poveikių aplinkai yra migla, kuri pablogina matomumą daugelyje miestų (1.4 pav.) ir kraštovaizdžio vietovėse. Migla susidaro, kai saulės spinduliai ore susiduria su mažomis kietosiomis dalelėmis. Kita problema yra estetinė žala – nusėdusios kietosios dalelės daro didelį neigiamą poveikį kultūros objektams (statuloms, paminklams).



1.4 pav. Migla mieste

Kietosios dalelės, nešamos vėjo, gali nukeliauti tolimus atstumus ir nusėsti ant žemės ar vandens paviršiaus. Šių nusėdimų poveikis įtakoja: ežerų ir upių rūgštėjimą, maistingų medžiagų pakrančių vandenyse ir didelių upių baseinuose mažėjimą, dirvožemio maistinių medžiagų išsekimą, taip pat kenkia miškams ir žemės ūkio kultūroms bei ekosistemų įvairovei (U.S. Environmental...2010).

1.1.2. Kietųjų dalelių susidarymas gamybos procesuose

Dažniausiai sutinkami taršos kietosiomis dalelėmis šaltiniai yra katilinės, naudojančios iškastinį kurą (išmeta pelenus ir suodžius), pramoniniai procesai (metalo, audinių dulkės), dirvos erozija bei transportas, kuris ne tik tiesiogiai išmeta kietąsias daleles, bet ir jas pakelia nuo kelio dangos. Degimo metu susidariusios kietosios dalelės būna mažesnės už 1 mikrometrą, o industrinės ir dirvos dalelės – didesnės už 1 mikrometrą. Atsižvelgiant į dulkių fizines savybes, cheminę sudėtį, jos gali būti skirstomos į neorganines, organines ir mišrias. Neorganinės dulkės – mineralų (kvarco, asbesto, cemento ir kt.) ir metalų (cinko, aliuminio, geležies, vario, švino, mangano ir kt.) dulkės. Organinėms priskiriamos medvilnės, linų, medžio, miltų, tabako dulkės ir pan. Mišriomis dulkėmis vadinamos suvirinimo elektra metu susidarantis aerozolis, žolės miltų ir smėlio (SiO_2) dulkės, taip pat turinčios kvarco ir metalų.

Kietųjų dalelių susidarymas deginant kurą.

Dulkės, kurios išmetamos deginant anglį, durpes ir biokurą, susidaro iš kuro mineralinės dalies. Mažą dulkių dalį gali sudaryti labai smulkios dalelės, susiformavusios kondensuojantis degimo metu išgaravusioms medžiagoms. Nuo naudojamo degimo metodo labai priklauso pelenų dalis, kuri bus išnešama kartu su išmetamosiomis dujomis iš katilo. Pvz., katiluose su judančiomis grotelėmis susidaro mažai lakiųjų pelenų (20–40 % bendro pelenų kiekio), tuo tarpu katiluose, kur anglis įpurškiama, susidaro žymiai didesnis jų kiekis (80–90 %).

Deginant skystą kurą, susidaro įvairaus dydžio kietosios dalelės – nuo milimetro iki dešimtųjų mikrono dalių, tačiau žymiai mažesniais kiekiais nei deginant anglį. Jos susidaro iš kure esančių nedegių priemaišų, nesudegusios kuro anglies, suodžių, liepsnoje pasigaminusių kietų sieros junginių, degimo oro dulkių. Dėl blogų degimo sąlygų susidarę suodžiai su sieros trioksida susidaro rūgščius aglomeratus, pasižyminčius korozinėmis savybėmis. Mazuto degimo dujose apie pusę (pagal svorį) dalelių gali būti mažesnių už 1 μm , orimulsijos degimo dujose submikroninių dalelių kiekis gali siekti 70 % ir daugiau nuo visų dalelių svorio. Aplinkos ore tokios dalelės išsilaiko kelias dienas ar savaites, o įkvėpus, nusėda plaučius. Dėl

daromo žalingo poveikio žmonių sveikatai yra ribojamas kietųjų dalelių kiekis kurą deginančių įrenginių išmetamosiose dujose.

Deginant gamtines dujas, dulkių praktiškai nesusidaro. Jų atsiradimo priežastimi gali būti suodžiai ir degimo oro dulkės. Beje, kai kuriose pramoninėse dujose gali pasitaikyti priemaišų (dalelių), kurias reiktų pašalinti dujų gamybos metu arba prieš naudojimą – deginimą.

Tinkamai kontroliuojant degimą, skysto kuro degimo dujose daugiausiai lieka iš nedegių medžiagų sudaryti pelenai, o dujinio kuro degimo dujose gali būti randamas labai nedidelis kietųjų dalelių kiekis dėl degimui tiekiamo oro dulkėtumo ir katilo paviršių apsivalymo (Aplinkos ministerija...2004).

Toliau aprašomos dažniausiai technologiniuose procesuose pasitaikančios medžiagos: medienos dulkės, cemento dulkės, kvarcinio smėlio dulkės.

Kietųjų dalelių susidarymas medienos apdirbimo pramonėje.

Daugelį medienos apdirbimo procesų lydi intensyvus medienos dulkių išskyrimas. Dulkės neigiamai veikia žmogaus organizmą, taip pat gali būti sprogimų ar gaisrų priežastimi. Oro valymas nuo dulkių medienos apdirbimo pramonėje yra svarbus inžinerinis uždavinys.

Daugelis technologinių medienos apdirbimo procesų greta medienos dulkių leidžia susidaryti abrazyvinėms ir cheminėms dulkėms. Cheminis tokių dulkių poveikis priklauso nuo jų sudėties. Toksinių cheminių medžiagų turi dulkės atsirandančios gaminant medienos plaušo plokštes. Medienos gaminių šlifavimas sukelia intensyvių smulkiadispersinių dulkių susidarymą. Šlifuojant gaminius dulkės išsiskiria šlifavimo įrenginio abrazyvinei medžiagai sąveikaujant su apdirbamuoju paviršiumi.

Kietųjų dalelių (dulkių) susidarymas cemento gamyboje.

Kietosios dalelės cemento gamyboje susidaro keliuose etapuose:

- Transportuojant klinkerį;
- Pjaustant klinkerį;
- Šlifijuot po kaitinimo;
- Fasavimo metu.

Tyrimais nustatyta, kad kietosios dalelės patekusios į dirvožemį, kaupiasi augaluose, sudarydami toksinius junginius, kurie sekančiuose grandinės dalyse patenka į žmogaus organizmą, kuriame pasilieka.

Cemento gamyklose naudojami sauso valymo būdai, kurie nesukelia dulkėjimo, pavyzdžiui, dulkių siurbiai (nešiojami pramoniniai, su įrengtais didelio efektyvumo dalelių

filtrais (HEPA filtras) ir pan.). Esant dulkėjimui naudojamas šlapias valymas: vandens purkštuvai arba žarnos (smulki dulksna, siekiant išvengti dulkėjimo). Kai šlapiasis valymas arba vakuuminis valymas neįmanomas, bet galimas sausas valymas naudojant šluotas, darbuotojai turi dėvėti tinkamas asmenines apsaugos priemones ir vengti dulkėjimo. Vengti cemento įkvėpimo ir susilietimo su oda. Cementą sušluoti ir susemti į maišus ar kitą tarą. Prieš pašalinimą, leisti cementui sukietėti. Leisti medžiagai išdžiūti ir sukietėti. Surinkto cemento, jeigu jis sudrėko ar užsiteršė pašalinėmis medžiagomis, naudoti pagal paskirtį nerekomenduojama.

Kietųjų dalelių (dulkių) susidarymas stiklo gamyboje.

Kietosios dalelės – vienas pagrindinių teršalų, susidarančių stiklo gamybos įrenginiuose. Visuose stiklo gamybos etapuose naudojamos medžiagos miltelių, granulių arba dulkių pavidale. Žaliavų naudojimas, maišymas ir laikymas taikomas atitinka stiklo pramonės sektoriaus nustatytose taisyklėse.

Kietosios dalelės stiklo gamyklose susidaro keliuose etapuose:

- Žaliavų transportavimo metu;
- Tvarkymo metu;
- Saugojimo metu;
- Maišymo metu.

Susidariusios dulkės yra šiurkštesnės nei kietųjų dalelių išmetamų iš degimo proceso. Dalelių, susidarančių stiklo gamybos metu, dydis mažesnis nei 1 μm , tačiau jos lengvai jungiasi į didesnius aglomeratus ir tampa stambesnėmis dalelėmis. Kadangi kietųjų dalelių išmetimas proceso metu kelia didelį pavojų darbuotojų sveikatai, būtina užtikrinti tinkamą apsaugą.

Kietųjų dalelių (dulkių) susidarymas asfalto gamyboje.

Gaminant asfaltines dangas daugiausiai kietųjų dalelių susidaro:

- Asfalto rezervuaruose;
- Prisotinimo metu;
- Maišymo rezervuaruose;
- Transportavimo metu.

Pagrindinės atmosferos apsaugos techninės – technologinės priemonės – oro valymas nuo kenksmingų medžiagų bei dulkių, pažangių, mažiau teršiančių ir mažai atliekų išskiriančių gamybos technologijų diegimas, ekologiškai švaraus kuro naudojimas.

Orui valyti sukurta daugybė technologinių įrenginių. Vienais jų iš oro išvalomos kietosios dalelės, kitais – dujiniai teršalai. Kietųjų dalelių valymo įrenginiai pagal taikomą metodą skirstomi į sausuosius ir šlapiuosius. Plačiau taikomi sausieji oro valymo įrenginiai, įgalinantys surinktas dulkes panaudoti kaip žaliavą. Tai ypač svarbu įmonėms, kurios naudoja brangias medžiagas (pvz., spalvotuosius metalus), bei iš oro valyti lipnias dulkes (cementą, kalkes ir kt.). Šlapiuoju būdu oras valomas veiksmingiau, tačiau, eksploatuojant šlapiuosius oro valymo įrenginius, didėja valymo kaštai (reikia daug vandens, vandens valymo įrenginių, šildomų patalpų, daugiau darbuotojų ir pan.). Kadangi smulkiosios kietosios dalelės (dulkės) gali būti naudojamos kaip žaliava tolimesniame gamybos procese, dėl to dulkėto oro valymas plačiai taikomas pramonės įmonėse – sulaikoma ir utilizuojama iki 90–95 % dulkių.

1.1.3. Kietųjų dalelių ribinės vertės ir jas reglamentuojantys teisės aktai

Pagal šiuo metu Lietuvoje galiojančius teisės aktus, teršalų kiekis aplinkos ore vertinamas pagal Lietuvos Respublikos aplinkos ministro ir Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2007 m. birželio 11 d. įsakymą Nr. D1–329/V–469 „Dėl teršalų, kurių kiekis aplinkos ore ribojamas pagal Europos Sąjungos kriterijus, sąrašo ir teršalų, kurių kiekis aplinkos ore ribojamas pagal nacionalinius kriterijus, sąrašo ir ribinių aplinkos oro užterštumo verčių patvirtinimo“.

Nuo 2007 m. liepos 1 d. patalpų oro kokybei vertinti taikoma Lietuvos higienos norma HN 35:2007 „Didžiausia leidžiama cheminių medžiagų (teršalų) koncentracija gyvenamosios aplinkos ore“.

Kietųjų dalelių (KD_{10} ir $KD_{2,5}$) ribinės vertės patvirtintos Tarybos direktyvoje 1999/30/EB „Dėl sieros dioksido, azoto dioksido, azoto oksidų, kietųjų dalelių ir švino ribinių verčių aplinkos ore“ 1999 m. balandžio 22 d. ir LR aplinkos ministro bei LR sveikatos apsaugos ministro 2010 m. liepos 7 d. įsakymu Nr. D1–585/V–611 „Aplinkos oro užterštumo sieros dioksidu, azoto dioksidu, azoto oksidais, benzeno, anglies monoksidu, švinu, kietosiomis dalelėmis ir ozonu normos“.

Vadovaujantis ES direktyvų ir nacionalinių teisės aktų reikalavimais, KD_{10} koncentracijos vertinimui taikomos ribinės vertės:

- vidutinė metinė (kalendoriniai metai) – $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- vidutinė 24 valandų – $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o 24 valandų (paros) vidurkio ribinė vertė neturi būti viršyta daugiau kaip 7 kartus per kalendorinius metus (Europos Sąjungos...1999).

Aplinkos oro užterštumo normose nustatytos $KD_{2,5}$ koncentracijos kalendorinių metų ribinė vertė, taikoma žmogaus sveikatos apsaugai, yra $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o iki 2020 m. reikia pasiekti

20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ribą. Pasaulio sveikatos organizacija rekomenduoja 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ naudoti kaip orientacinę ribinę vertę metiniam $\text{KD}_{2,5}$ vidurkiui vertinti (Lietuvos Respublikos...2010).

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2001 m. gruodžio 12 d. įsakymas Nr. 596 „Dėl aplinkos oro kokybės vertinimo“. Šio įsakymo paskirtis – nustatyti aplinkos oro kokybės vertinimo tvarką pagal Europos Sąjungoje galiojančius kriterijus ir metodus, kad visoje Lietuvos Respublikos teritorijoje būtų galima patikimai ir tiksliai įvertinti aplinkos oro kokybę (Lietuvos Respublikos...2001).

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 1998 m. Liepos 13 d. įsakymas Nr. 125 „Dėl teršiančių medžiagų, išmetamų į atmosferą iš mašinų su vidaus degimo varkliais, vertinimo metodikos patvirtinimo“. Pagal šią metodiką galima nustatyti mašinų, turinčių vidaus degimo variklius, išmetamų į atmosferą teršalų kiekį. Apskaičiuojama teršalų: anglies monoksido (CO), anglies dioksido (CO_2), angliavandenilių (CH), azoto oksidų (NO_x), sieros dioksido (SO_2) ir kietų dalelių (k.d.) masė sudegus benzinui, dyzeliniam kurui, suskystintoms naftos ir suslėgtoms gamtinėms dujoms vidaus degimo varikliuose (Lietuvos Respublikos...1998).

Lietuvos Respublikos 1999 m. gegužės 13 d. įstatymas Nr. VIII–1183 „Mokesčiai už aplinkos teršimą“. Įstatymo paskirtis – ekonominėmis priemonėmis skatinti teršėjus mažinti aplinkos teršimą, vykdyti atliekų prevenciją ir tvarkymą, neviršyti nustatytų teršalų išmetimo į aplinką normatyvų, taip pat iš mokesčio kaupti lėšas aplinkosaugos priemonėms įgyvendinti (Lietuvos Respublikos...1999).

1.1.4. Esama situacija Lietuvoje

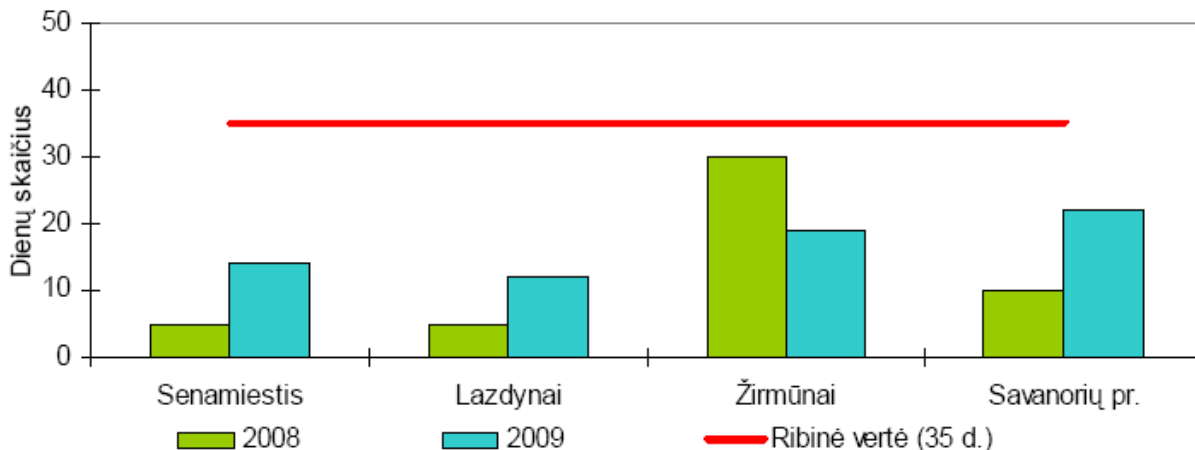
Aplinkos oro kokybės matavimai yra pagrindinis oro kokybės vertinimo metodas. Naudojant oro kokybės monitoringą gaunama svarbi informacija, reikalinga oro kokybės politikai parengti ir įgyvendinti bei oro kokybei valdyti. Oro kokybės tyrimų (OKT) duomenys naudojami sveikatos apsaugai, teritorijų ir ūkio plėtros planavimui, mokslo reikmėms, o taip pat ieškant optimalių būdų galimų ekologinių avarių ir katastrofų padariniams likviduoti (Aplinkos apsaugos...2004).

Siekiant optimizuoti oro kokybės vertinimą ir valdymą, Lietuvos teritorijoje išskirtos trys zonos – Vilniaus ir Kauno aglomeracijos bei zona (likusi šalies teritorija be Vilniaus ir Kauno miestų).

Vilniaus aglomeracija

2009 m. oro kokybės tyrimų duomenys rodo, kad užterštumas kietosiomis dalelėmis atskiromis dienomis ar periodais viršijo leistiną normą visose Vilniaus stotyse. Dažniausiai

per didelis oro užterštumas kietosiomis dalelėmis fiksuotas transporto ir pramonės įtaką atspindinčioje Savanorių pr. OKT stotyje – 22 dienas per metus. Žirmūnuose užfiksuota 19 dienų kai KD_{10} koncentracija viršijo paros ribinę vertę ir skirtingai nei kitose stotyse, jų buvo mažiau nei 2008 metais (1.5 pav.).



1.5 pav. Dienų skaičius, kai buvo viršyta KD_{10} koncentracijos paros vidurkio ribinė vertė Vilniaus OKT stotyse

Lazdynuose ir Senamiestyje šis teršalas viršijo paros ribinę vertę atitinkamai 12 ir 14 dienų. Didžiausios paros vidurkio vertės svyravo nuo $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Senamiestyje iki $105 \mu\text{g}/\text{m}^3$ prie intensyvaus eismo gatvės įrengtoje Žirmūnų OKT stotyje ir viršijo ribinę vertę nuo 1,7 iki 2 kartų.

Kietųjų dalelių (KD_{10}) koncentracija 2010 m. matuota visose keturiose Vilniaus OKT stotyse. Vadovaujantis nacionalinių teisės aktų ir ES direktyvų reikalavimais, KD_{10} koncentracijos vertinimui taikomos normos (1.3 lentelė):

1.3 lentelė. Kietųjų dalelių ribinės vertės

Teršalas	Žmonių sveikatos apsaugai nustatytos normos	
	Koncentracija, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Vidurkinimo laikotarpis
Kietosios dalelės KD_{10}	50	24 val. (neturi būti viršyta daugiau kaip 35 kartus per kalendorinius metus)
	40	Kalendoriniai metai

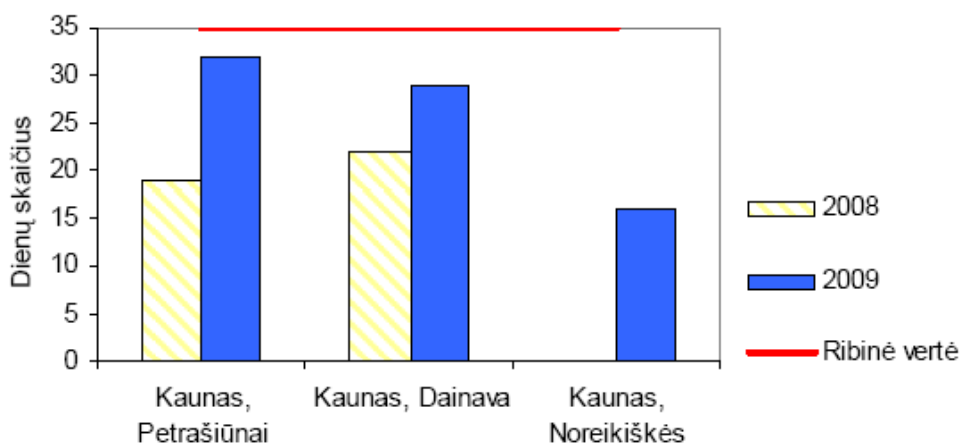
2003–2008 m. Vilniuje buvo stebima KD_{10} koncentracijos mažėjimo tendencija, tačiau 2009–2010 m. oro užterštumo kietosiomis dalelėmis lygis padidėjo. Didžiausią įtaką tam turėjo po kelerių metų pertraukos grįžę žiemos šalčiai, nes dėl intensyvesnio kūrenimo siekiant apšildyti patalpas daugiau šių teršalų buvo išmetama į aplinkos orą. Vidutinė metinė KD_{10} koncentracija Vilniaus stotyse svyravo nuo 24 iki $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ir neviršijo metinės ribinės

vertės, tačiau, palyginus su 2009 m. duomenimis, Senamiesčio, Lazdynų ir Savanorių prospekto stotyse padidėjo 13–21 %, tik Žirmūnuose beveik nepasikeitė.

Kaip minėta aukščiau, vidutinis metinis oro užterštumo kietosiomis dalelėmis lygis Vilniuje neviršijo leistinos normos, tačiau atskiromis dienomis KD_{10} koncentracija buvo ženkiai padidėjusi. Didžiausias paros vidurkis siekė $102\text{--}152\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ir viršijo paros ribinę vertę 2–3 kartus. Senamiestyje įrengtoje OKT stotyje, kur dėl tankaus užstatymo teršalų sklaidos sąlygos yra blogesnės nei kitose Vilniaus stotyse ir didelę įtaką oro užterštumo padidėjimui gali turėti dėl intensyvaus kūrenimo į orą patenkantys teršalai, paros ribinė vertė buvo viršyta 41 dieną per metus, t. y., viršijimo atvejų užfiksuota daugiau nei leidžiama pagal Lietuvos ir Europos Sąjungos teisės aktų reikalavimus. Kitose stotyse šis reikalavimas (vidutinė paros KD_{10} koncentracija neturi viršyti $50\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ daugiau kaip 35 dienas per metus) nebuvo pažeistas – Savanorių prospekto rajone paros ribinė vertė buvo viršyta 35 dienas per metus, Žirmūnuose ir Lazdynuose – atitinkamai 18 ir 23 dienas.

Kauno aglomeracija

2009 m. Kauno aglomeracijoje vidutinė paros kietųjų dalelių (KD_{10}) koncentracija viršijo 24 valandų ribinę vertę visose stotyse. Didžiausias paros vidurkis Kaune svyravo nuo $97\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ Noreikiškių OKT stotyje iki $121\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ Petrašiūnuose ir viršijo paros ribinę vertę 1,9–2,4 karto. Tačiau, kaip ir 2008 m., KD_{10} paros ribinės vertės viršijimų skaičius nesiekė leistinų 35 dienų (1.6 pav.).



1.6 pav. Dienų skaičius, kai KD_{10} koncentracija viršijo paros ribinę vertę

Petrašiūnų OKT stotyje viršijimai stebėti dažniausiai – 32 dienas per metus, prie Dainavos žiedinės sankryžos – 29 dienas. Noreikiškių oro kokybės stotyje, įrengtoje toliau nuo taršos šaltinių, nustatyta 16 atvejų, kai KD_{10} paros vidurkis viršijo $50\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ribą.

KD_{10} koncentracija 2010 m. buvo matuojama 3–jose Kauno aglomeracijos OKT stotyse.

2003–2008 m. Kauno aglomeracijos aplinkos ore buvo stebima kietųjų dalelių mažėjimo tendencija, tačiau 2009–2010 m. užterštumo lygis vėl žymiai padidėjo. Kaip ir Vilniaus aglomeracijoje, didžiausią įtaką tam turėjo po kelerių metų pertraukos grįžę žiemos šalčiai.

2010 m. vidutinė metinė kietųjų dalelių KD_{10} koncentracija Kauno aglomeracijoje svyravo nuo 27 iki 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ir neviršijo nustatytos ribinės vertės. Palyginti su 2009 m., šis rodiklis visose stotyse padidėjo nuo 11 iki 17 %.

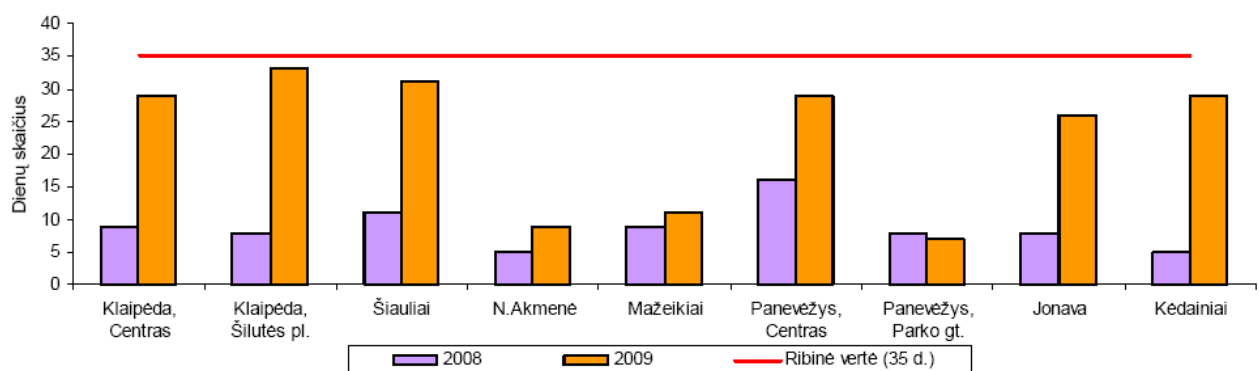
Nors metinis vidurkis ir neviršijo nustatytos normos, tačiau atskiromis dienomis ar periodais Kauno aglomeracijoje stebėtas didelis oro užterštumas kietosiomis dalelėmis. Didžiausias paros vidurkis Petrašiūnuose siekė 143 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ir viršijo paros ribinę vertę beveik 3 kartus, o Noreikiškių ir Dainavos OKT stotyse – beveik 2,5 karto.

Petrašiūnų rajone įrengtoje OKT stotyje, kur didelę įtaką oro užterštumui gali turėti dėl intensyvaus kūrenimo, pramonės įmonių veiklos bei intensyvių transporto srautų į orą patenkantys teršalai, vidutinė paros KD_{10} koncentracija viršijo ribinę vertę 41 dieną per metus. Tiek pat viršijimo atvejų stebėta ir prie ypač intensyvaus transporto eismo Dainavos žiedinės sankryžos įrengtoje stotyje, t. y., viršijimo atvejų šiose stotyse užfiksuota daugiau nei leidžiama pagal Lietuvos ir Europos Sąjungos teisės aktų reikalavimus.

Daugiausia kietųjų dalelių paros ribinės vertės viršijimų – nuo 25 iki 33 dienų, t.y. 78–86 % viso viršijimų skaičiaus per metus – Kaune buvo užfiksuota šaltuoju metų laiku (spalio–kovo mėn.).

Zona (likusi šalies teritorija be Vilniaus ir Kauno miestų)

2009 m. vidutinė paros KD_{10} koncentracija visuose miestuose atskiromis dienomis ar periodais viršijo ribinę vertę (1.7 pav.). Didžiausios paros vidurkio vertės svyravo nuo 66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Naujojoje Akmenėje iki 115 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Jonavoje, t.y., viršijo ribinę vertę 1,3–2,3 karto. Tokių atvejų užfiksuota nuo 7–9 dienų miestų foninėse OKT stotyse iki 26–33 dienų transporto, pramonės ar būstų šildymo įtaką atspindinčiose stotyse.



1.7 pav. Dienų skaičius, kai KD_{10} koncentracijos paros vidurkis viršijo ribinę vertę

Visuose miestuose viršijimų nustatyta daugiau negu 2008 m., tačiau dienų, kai buvo viršyta paros ribinė vertė, skaičius antrus metus iš eilės niekur nesiekė leistinos 35 dienų per metus ribos. Dažniausiai didesnė už ribinę vertę koncentracija buvo stebima Klaipėdoje ir Šiauliuose, rečiausiai – Naujojoje Akmenėje ir Mažeikiuose. Daugiausia ribinės vertės viršijimų užfiksuota per pirmuosius keturis metų mėnesius (nuo 67 iki 94% metinio viršijimų skaičiaus), o per šį laikotarpį ypač daug jų stebėta balandžio mėnesį.

Kietųjų dalelių (KD_{10}) koncentracija 2010 m. matuota visose zonos teritorijoje veikiančiose miestų OKT stotyse.

2003–2008 m. kietųjų dalelių koncentracija zonos miestų aplinkos ore mažėjo, tačiau 2009–2010 m. dėl žymiai šaltesnių, palyginti su ankstesniais metais žiemų, KD_{10} koncentracija vėl žymiai padidėjo. Esant šaltiems orams, dėl didesnio šiluminės energijos poreikio, intensyvesnio kūrenimo siekiant apšildyti būstus, padidėja ir teršalų išmetimai į orą.

Vidutinė metinė KD_{10} koncentracija, palyginti su 2009 m., zonos teritorijoje esančiose stotyse padidėjo, tačiau niekur neviršijo metinės ribinės vertės. Didžiuosiuose zonos teritorijos miestuose šis oro kokybės rodiklis svyravo tarp $26\text{--}34\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ir palyginti su ankstesniais metais, padidėjo 12–31 % (tik Klaipėdoje, Šilutės plento OKT stotyje buvo šiek tiek mažesnis). Didžiausia metinė koncentracija nustatyta Šiauliuose, transporto įtaką atspindinčioje OKT stotyje. Didesniuose pramonės centruose vidutinė metinė kietųjų dalelių koncentracija svyravo nuo $22\text{--}25\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ Naujojoje Akmenėje ir Mažeikiuose iki $29\text{--}30\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ Kėdainiuose ir Jonavoje. Palyginti su 2009 m., metinis vidurkis šiuose miestuose padidėjo 9–16 %.

Vidutinė paros KD_{10} koncentracija visuose miestuose atskiromis dienomis ar periodais viršijo ribinę vertę ir buvo ženkliai didesnė, nei 2009 m. Didžiausios paros vidurkio vertės svyravo nuo $106\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ Naujojoje Akmenėje iki $178\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ Šiauliuose, t.y., viršijo ribinę vertę nuo 2 iki 3,5 karto.

Daugiausia kietųjų dalelių (KD_{10}) paros ribinės vertės viršijimų buvo nustatyta Šiaulių OKT stotyje, kur oro užterštumą labiausiai įtakoja intensyvūs transporto srautai, taip pat jaučiama ir individualių namų šildymo įrenginių įtaka. Per metus čia užfiksuotas 51 paros ribinės vertės viršijimo atvejis, t. y., buvo viršyta leistina 35 dienų per metus riba. Panevėžio Centro oro kokybės tyrimų stotyje, esančioje kiek atokiau nuo intensyvaus eismo gatvių, labiausiai įtakojamoje netoliese esančių individualių namų šildymo įrenginių išmetamų teršalų, taip pat nustatyta daugiau nei leidžiama tokių atvejų – 43 dienos. Kitose zonos miestų OKT stotyse, atspindinčiose transporto, pramonės ar būstų šildymo įtaką, dienų, kai KD_{10} vidutinė paros koncentracija viršijo ribinę vertę, užfiksuota mažiau – nuo 14 iki 34 dienų.

1.2. Kietųjų dalelių įtaka klimato kaitai

Kioto protokolai pramonės įmones visame pasaulyje verčia mažinti atmosferos užterštumą baiminantis globalaus klimato atšilimo. Šiuo metu netgi manoma, jog atmosferos temperatūra gali tapti dar aukštesnė nei buvo modeliuota. Mat pramonės įmonės, kuriose vyksta degimas, išmeta daug CO₂. Jo koncentracija, nors ir imamasi priemonių, vis didėja. Iki šiol nėra dar išaiškinta kietųjų dalelių (aerolių) įtaka klimato kaitai, nors jau suvokiama, jog aerolio įtaka yra didžiulė, jog jis yra vienas iš klimato reguliatorių. Taigi baiminamasi dėl šiltnamio efekto, nes dar sunku tiksliai numatyti jo pasekmes. Tačiau ne mažiau pavojingos ir smulkios kietosios dalelės, nes jos gali būti kenksmingos žmogaus sveikatai. Aerolius gali formuoti pramonės įmonės, automobilių (ypač dyzeliniai) varikliai, nemenką įtaką turi ir gamta. Atmosfera – labai jautri sistema. Joje smulkiųjų dalelių koncentracija gali sparčiai kisti nuo 10 iki 100 kartų.

Vertinant klimato kaitą, yra labai daug prieštaringų nuomonių. Kietosios dalelės sukelia šaldymo efektą, t. y. sklaido saulės šviesą, tačiau dalis jų absorbuoja saulės šviesą ir kaista. Pavyzdžiui, dalelės, turinčios juodosios anglies, atmosferoje kaista. Lyginant su CO₂, vandens garais, aerolių atmosferoje yra labai mažai. Tačiau be aerolių nebūtų lietaus – vandens lašai neturėtų kur kondensuotis. Vadinasi, kaip ir viskas gamtoje, jie turi savo paskirtį ir būtini trapijoje atmosferos sistemoje. Pažeidus pusiausvyrą, vienur ima kilti potvyniai, kitur lietaus išvis nesulaukiama. Taigi, keičiasi kondensaciniai procesai: vienur jų nelieta, o kitur jie vystosi itin sparčiai. Todėl žmogaus veikla neturėtų griauti gamtos procesų. Tačiau norint tai pasiekti, reikia sukaupti dar daug mokslo žinių. Šiandien aišku viena – nepažeista aerolio sistema – įprasto lietaus palydovas ir tai jo teigiamoji pusė (Kriščiukaitienė 2006).

1.2.1. Kietųjų dalelių tiesioginis ir netiesioginis poveikis

Kietosios dalelės atmosferoje vaidina svarbų vaidmenį pasaulinėje klimato kaitoje. Gamtiniai aeroliai, ypač dėl didelių ugnikalnių išsiveržimų, yra svarbus klimato kaitos veiksnys, kuris keičia Žemės spinduliavimo balansą ir taip sukelia pasaulinius temperatūros pokyčius (Winker *et al.* 2010).

Dėl žmogaus ūkinės veiklos atmosferoje daugėja antropogeninės kilmės kietųjų dalelių (aerolių). Antropogeninės kilmės aeroliai, ypač išsiskiriantys iškastinio kuro deginimo metu, sukelia klimato vėsinimo efektą, kuris iš dalies neutralizuoja atšilimą sukeliančių šiltnamio dujų, tokių kaip anglies dioksidas (CO₂), efektą (Romanou *et al.* 2007).

Kietosios dalelės veikia klimatą dviem skirtingais būdais. Tiesioginis poveikis – kai dalelės atmosferoje sugeria saulės ir infraraudonuosius spindulius. Kietųjų dalelių netiesioginis poveikis yra sudėtingesnis ir sunkiau įvertinamas. Dalelės atmosferoje veikdamos kaip debesų kondensacijos branduliai, sukelia debesų savybių pokyčius. Šie kietųjų dalelių poveikiai yra laikomi vieni iš sudėtingiausių klimato modelių, skirtų prognozuoti įvairius atmosferos reiškinius. Kietosios dalelės yra labai skirtingos laiko ir erdvės atžvilgiu, todėl jų poveikį klimatui sunku išmatuoti ir įvertinti (Panicker *et al.* 2010).

Sulfatiniai ir karbonatiniai aerosoliai

Pavienės dalelės gali būti skirtingų rūšių, pavyzdžiui, sulfatai, organinės medžiagos, juoda anglis ar dulkės. Dažniausiai jie yra sudaryti iš ugniai atsparių medžiagų (juoda anglis, dulkės, jūros druska), sulfatų ir nitratų mišinio (Penner 2001). Antropogeninės kilmės aerosoliai, kurie daro didžiausią įtaką klimato kaitai, yra Sulfatiniai ir karbonatiniai aerosoliai. Sulfatai daugiausiai išsiskiria iškastinio kuro (ypač anglies) deginimo metu. Juodoji anglis yra iškastinio kuro ir biomasės deginimo nepilno degimo rezultatas (Goosse *et al.* 2010).

Sulfatiniai aerosoliai išsklaido saulės spindulius ir sukelia vėsinimo efektą. Dėl tokių aerosolių, padidėjęs saulės spinduliuotės srauto atspindėjimas atmosferoje yra identiškas saulės atspindėjimui nuo Žemės paviršiaus. Viso to rezultatas yra tiek atmosferos, tiek paviršiaus vėsimas, kurį sukelia atmosferoje esančios dalelės (Ramaswamy 2001).

Karbonatiniai aerosoliai (juodoji anglis ir organinės medžiagos) sugeria ir išsklaido saulės spindulius. Juodoji anglis sugeria saulės spinduliuotę ir iš esmės sumažina saulės spindulių patekimą į Žemės paviršių. Be to, juodoji anglis sugeria saulės spindulius, atspindėtus nuo paviršiaus bei debesų ir sumažina jų grąžinimą atgal į kosmosą. Juodosios anglies poveikis atmosferoje prieštarauja sulfatų vėsinimo poveikiui, nes ant paviršiaus esantys aerosoliai sumažina saulės radiaciją. Aerosolių sukelti saulės spinduliuotės srauto į paviršių pokyčiai yra žymiai didesni nei pokyčiai atmosferoje (Ramanathan *et al.* 2001).

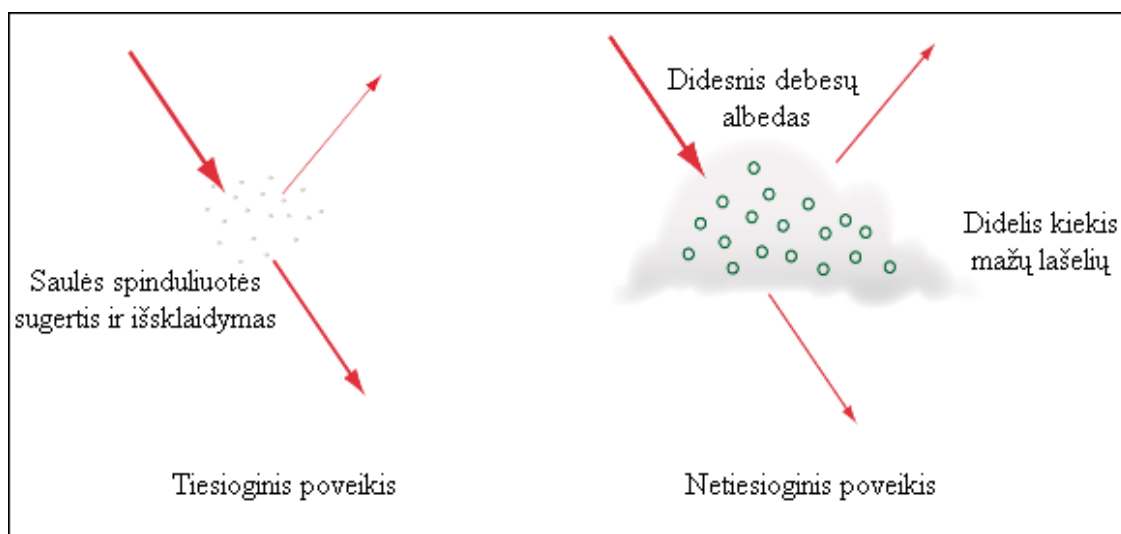
Tiesioginis kietųjų dalelių poveikis

Tiesioginis aerosolių poveikis yra susijęs su tuo, kaip jie sugeria ir išsklaido trumpuosius ir ilguosius spindulius. Sulfatinių aerosolių pagrindinis poveikis – didelę dalį saulės radiacijos išsklaido atgal į kosmosą (1.8 pav.). Tai sukelia neigiamą radiacinį poveikį, vidutiniškai $-0,4 \text{ W/m}^2$ visame pasaulyje. Šis paplitimas yra labai nevienodas dėl kietųjų dalelių koncentracijų pasiskirstymo įvairiuose regionuose. Priešingai nei sulfatų, juodosios anglies pagrindinis poveikis yra stiprus saulės radiacijos sugėrimas. Tai yra teigiamas

radiacinis poveikis, vidutiniškai $+0,2 \text{ W/m}^2$. Be to, juodosios anglies nuosėdos ant sniego keičia sniego albedą, generuodamas papildomas teigiamas jėgas ($\sim +0,1 \text{ W/m}^2$). Atsižvelgiant į visus aerozolių (išskyrus juodosios anglies albedo efektą) tiesioginis kietųjų dalelių poveikis yra apie $+0,50 \text{ W/m}^2$ (Goosse *et al.* 2010).

Netiesioginis kietųjų dalelių poveikis

Netiesioginis aerozolių poveikis apima jų įtaką debesų mikrofizikai (pokyčiai debesyse, jų susidarymo dažnumas ir egzistavimo trukmė). Visų pirma, aerozoliai veikia kaip debesų kondensavimosi branduoliai, ant kurių kondensuojasi vanduo. Debesys, kuriuos sudaro daugiau ir mažesnių vandens lašelių, turi didesnę atspindėjimą, t. y. didesnis jų albedo. Tai sukelia neigiamą radiacinį poveikį, kuris dar vadinamas pirminiu netiesioginiu kietųjų dalelių poveikiu. Kietųjų dalelių įtaka debesų aukščiui, jų egzistavimo laikui ir vandens kiekiui (susijusiu su reikalingu vandens kiekiu prieš kritulių susidarymą) – tai antrasis netiesioginis poveikis. Galiausiai, aerozolių saulės spinduliuotės absorbcija pakeičia oro temperatūrą, drėgnumą bei oro vertikalų stabilumą. Tai turi įtakos debesų formavimuisi ir egzistavimo laikui ir vadinama pusiau tiesioginiu aerozolių poveikiu.



1.8 pav. Kietųjų dalelių tiesioginis ir pirminis netiesioginis poveikis

Pagal naujausius duomenis, radiacinis poveikis, susijęs su debesų albedo efektu, yra tarp $-0,3$ ir $-1,8 \text{ W/m}^2$, pagal geriausius vertinimus – maždaug $-0,7 \text{ W/m}^2$. Pusiau tiesioginio poveikio dydis, nors radiacinių poveikių požymiai nėra gerai žinomi, yra mažesnis nei netiesioginio poveikio. Tai parodo, kad kietosios dalelės sukelia didžiausius neaiškumus vertinant praeities ir ateities pokyčius (Goosse *et al.* 2010).

1.2.2. Kietųjų dalelių vaidmuo pastaraisiais metais ir numatoma įtaka klimato kaitai

Kadangi antropogeninės kilmės kietosios dalelės sudaro palyginti didelę dalį bendros taršos kiekio, svarbu pabandyti suprasti galimą šių aerozolių įtaką praeities ir ateities klimatui. Vienas iš metodų įvertinti jų galimą įtaką klimatui – nustatyti radiacinį poveikį, susijusį su antropogeninės kilmės aerozoliais. Pasaulinės vidutinės paviršiaus temperatūros pokytis yra susijęs su radiaciniu poveikiu:

$$\Delta F \cdot T_s \approx \lambda \cdot \Delta F ; \quad (1.1)$$

čia: λ – klimato jautrumas;

ΔF – radioaktyvus poveikis.

Klimato jautrumas priklauso nuo vandens garų (svarbiausių šiltnamio efektą sukeliančių dujų), debesų, jūros ledo dangos ir sniego ir gali labai skirtis tarp įvairių klimato modelių su skirtingais fizikiniais procesais.

Radiacinis poveikis tik apytiksliai įvertina klimato kaitos poveikį. Tai remiasi prielaida, kad paviršiaus temperatūros pokytis troposferoje yra ryškus dėl konvekcinių ir spinduliavimo proceso. Kadangi išmetimai konkrečiuose regionuose gali sukelti vertikalios temperatūros ir/ar debesų savybių pokyčius, prielaida tik iš esmės galioja. Nepaisant to, tai suteikia galimybę įvertinti išmetamų teršalų poveikį. Kietųjų dalelių radiacinį poveikį galima lyginti su šiltnamio efektą sukeliančių dujų poveikiu ir su saulės spinduliuotės pokyčiais per pastaruosius šimtą metų (Penner 2009).

Pagal naujausius duomenis įvertinti tiesioginiai antropogeninių sulfatinių ir karbonatinių aerozolių sukelti pokyčiai: tarp $-0,3$ ir $-0,9 \text{ W/m}^2$ sulfatams, tarp $-0,15$ ir $-0,25 \text{ W/m}^2$ kietosioms dalelėms iš biomasės, tarp $+0,15$ ir $+0,2 \text{ W/m}^2$ kietosioms dalelėms iš iškastinio kuro ir pramoninių šaltinių. Dulkių iš antropogeninių taršos šaltinių poveikis įvertintas $+0,09 \text{ W/m}^2$. Klimato pokyčiai, susiję su šiais vertinimais, galėtų kompensuoti šiltnamio dujų sukeliantį klimato atšilimą. Jeigu kietųjų dalelių ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimų santykis išliktų pastovus, ateityje jie turėtų sumažėti, nes trumpai egzistuojančios kietosios dalelės užtikrina, kad ateityje jų koncentracijų didėjimas neatsiliks nuo ilgai išliekančių šiltnamio efektą sukeliančių dujų didėjimo (Penner 2009).

Nors tiesioginius klimato pokyčius dėl saulės spinduliuotės sklaidos ir sugėrimo įvertinti yra pakankamai paprasta, įvertinti netiesioginį kietųjų dalelių poveikį yra daug sunkiau. Taip yra, nes netiesioginis poveikis priklauso nuo gamtinių bei antropogeninių šaltinių, susimaišiusių aerozolio komponentų būvio (ar susiformavę aerozoliai yra debesų kondensacijos branduoliai, ar aerozoliai prilimpa prie jau egzistuojančių dalelių), taip pat nuo galimybės traktuoti debesuotumo pokyčius reaguojant į antropogeninių dalelių koncentracijų

padidėjimą. Susimaišiusių kietųjų dalelių būvis kelia dideles abejones dėl sulfatinių aerozolių, sukeliančių debesuotumo pokyčius, poveikio. Lašelio koncentracijų pokyčiai dėl karbonatinių aerozolių, susidariusių biomasės, iškastinio kuro deginimo metu bei pramonėje, taip pat sukelia daug įvairių neigiamų poveikio vertinimų (Penner 2009).

Kalbant apie pasaulinio klimato atšilimo grėsmę ne visi mokslininkai sutinka su atšilimo prognozėmis ir vertinimais. Dalis šių globalinių procesų tyrinėtojų nurodo, kad padidėjusi antropogeninė emisija į orą gali sukelti ne pasaulinį klimato atšilimą, o atvirkščiai – gana esminį atšalimą. Kietosios dalelės sugeria arba atspindi dalį saulės spindulių, taip sumažindami į žemę patenkančios energijos kiekį. Kita dalis mokslininkų pripažįsta, kad kietosios dalelės dalinai kompensuoja šiltnamio efektą sukeliančių dujų poveikį ir pasaulinis klimato atšilimas turėtų vykti beveik dvigubai lėčiau nei buvo manyta anksčiau.

Kietųjų dalelių sukiamą efektą gali lemti paklotinio paviršiaus albedas (1.9 pav.): kai jis yra mažas (pvz., vasarą) – išryškėja ekranuojantis Saulės spinduliuotę kietųjų dalelių poveikis (rezultatas – atvėsimas).



1.9 pav. Aerosolio terminio efekto priklausomybė nuo paklotinio paviršiaus albedo

Kai albedas didelis (pvz., žiemą) – dalelės sugeria nuo Žemės paviršiaus atspindėtą trumpabangę spinduliuotę ir energija lieka tarp Žemės paviršiaus ir atitinkamų atmosferos sluoksnių, o tai lemia atšilimą. Todėl žiemą kietųjų dalelių poveikis yra „šildantis“ (Balevičius ir kt. 2007).

1.3. Kietųjų dalelių šalinimas nusodinimo kameromis

Kietųjų dalelių šalinimas iš oro srautų panaudojant nusodinimo kameras seniai taikomas pramonėje. Paprasta technologija, mažos investicijos bei paprasta techninė priežiūra, maži slėgio nuostoliai ir paprastas teršalų šalinimas kameroje – privalumai, kuriais vadovaujantis parenkamas šis valymo būdas.

Nepaisant mažo dalelių surinkimo efektyvumo, nusodinimo kameros plačiai naudojamos iki šiol. Metalų apdirbimo pramonė naudoja šias kameras stambioms dalelėms rinkti, pavyzdžiui, arseno trioksidui, išsiskiriančiam arseninės vario rūdos lydymo metu. Elektros ir šilumos gamybos pramonėje nusodinimo kameros yra naudojamos nesudegusioms stambioms anglies dalelėms sugaudyti. Taip pat šie įrenginiai yra naudingi pramonės įmonėse, kuriose nusodinant daleles, oro srautas, prieš patekdamas į efektyvesnius valymo įrenginius, turi atvėsti (Cheremisinoff 2002).

Nusodinimo kameros naudojamos kaip pirminis valymas, norint apsaugoti nuo per didelės trinties ir dulkių pertekliaus antrinio valymo įrenginius, pašalinant iš užteršto oro srauto stambias daleles (Trzupek 2003).

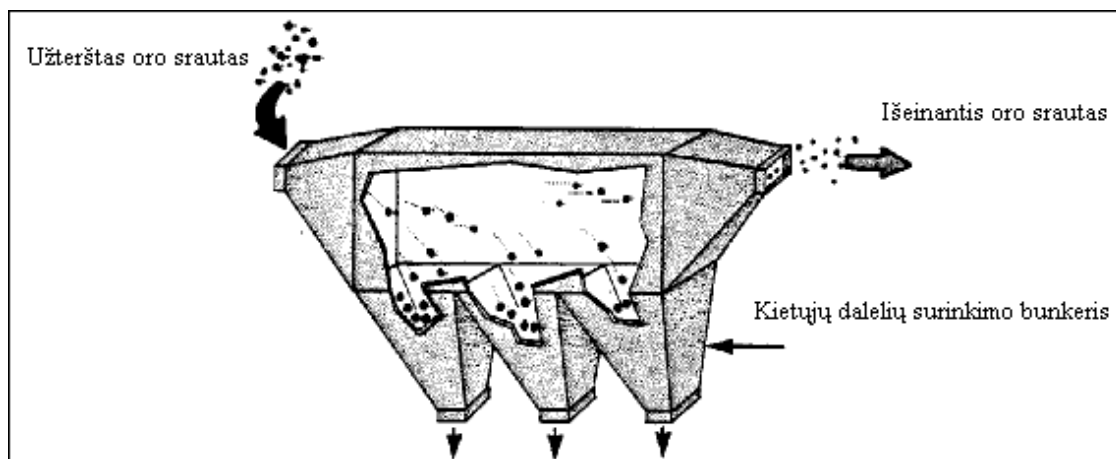
Ši technologija buvo viena pirmųjų, siekiant kontroliuoti kietųjų dalelių išmetimą į atmosferą. Veikimo principas pagrįstas oro srauto greičio mažėjimu bei sunkio jėga, kuriai veikiant, didesnio diametro dalelės nusėda surinkimo talpoje. Šios nusodinimo kameros montuojamos pramonėje, tačiau didžiausias efektyvumas šalinant 20–60 μm daleles.

Galimi trys kamerų tipai:

- Horizontali nusodinimo kamera;
- Nusodinimo kamera su plokštelėmis;
- Nusodinimo kamera su pertvaromis.

Horizontali nusodinimo kamera

Horizontali nusodinimo kamera pavaizduota 1.10 paveiksle.



1.10 pav. Kietųjų dalelių nusodinimo kamera

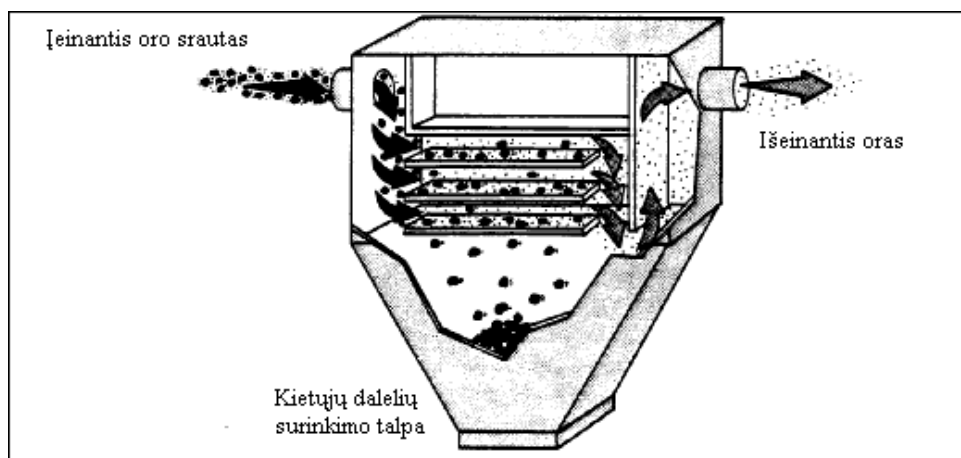
Tai ilga horizontali dėžė su kietųjų dalelių įėjimo ir išėjimo anga bei dulkių surinkimo bunkeriu. Užterštas horizontalaus oro srautas su kietomis dalelėmis teka tam tikru greičiu ir per įėjimo angą patenka į nusodinimo kamerą, kur dalelės išsisklaido ir taip sumažėja jų

greitis. Didesnės dalelės, veikiamos sunkio jėgos, sėda į dulkių surinkimo bunkerius, o išvalytas oro srautas išeina per išėjimo angą. Teoriškai, kuo ilgesnė horizontali nusodinimo kamera, tuo labiau yra išvalomas užterštas oro srautas, nusodinamos net labai mažos dalelės ($< 10 \mu\text{m}$).

Nusodinimo kamera su plokštelėmis

Nusodinimo kamera su horizontaliomis plokštelėmis, žinoma dar kaip Hovardo nusodinimo kamera, pavaizduota 1.11 paveiksle. Šis patobulintas įrenginys nuo paprastos kameros skiriasi viduje esančiomis horizontaliomis plokštelėmis, kurios sutrumpina kietųjų dalelių nusėdimo kelią bei pagerina smulkių dalelių ($\sim 15 \mu\text{m}$) surinkimo efektyvumą. Svarbiausias rodiklis Hovardo kameroje – plokštelių ilgis, skaičius ir atstumas tarp jų.

Plokštelės montuojamos kameros viduje, paskirstant jų buvimo vietą pagal įrenginio efektyvumą. Dalelės nusėda ant plokštelių veikiamos gravitacinių jėgų. Kadangi vertikalus atstumas, kuriuo dalelė sėda į surinkimo talpą yra mažesnis nei horizontaliose nusodinimo kameroje, todėl dalelių surinkimo efektyvumas Hovardo kameroje yra didesnis.

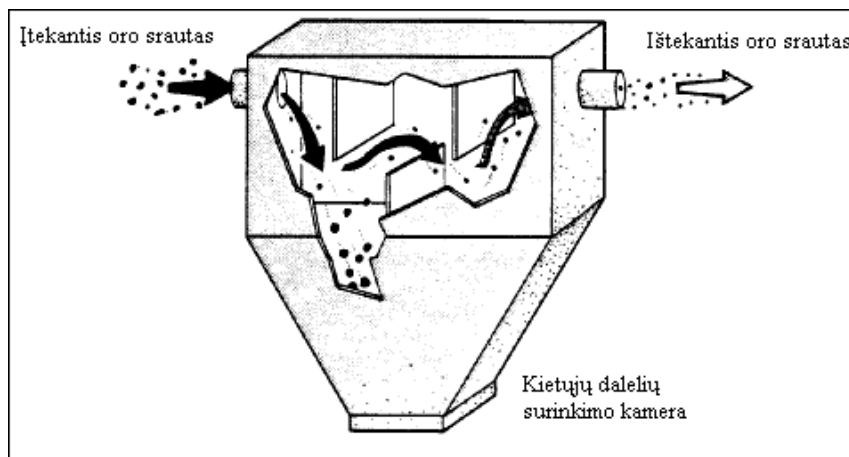


1.11 pav. Kietųjų dalelių nusodinimo kamera su plokštelėmis

Oro srautas tarp visų plokštelių turi būti tolygiai pasiskirstęs, o dalelės nusėdusios ant atskirų plokštelių turi būti periodiškai valomos. Vertikalus atstumas tarp plokštelių gali būti labai mažas, todėl šių kamerų valymas yra daug sunkesnis nei horizontaliųjų kamerų. Pagrindiniai įrenginio trūkumai – kamera veikia esant žemoms temperatūroms ir mažoms kietųjų dalelių koncentracijoms. Dėl šių dviejų priežasčių Hovardo nusodinimo kamera nėra plačiai naudojama kietųjų dalelių emisijų kontrolei.

Nusodinimo kamera su pertvaromis

Nusodinimo kamera su pertvaromis, dar vadinama inertiniu separatoriumi, pavaizduota 1.12 paveiksle. Šis įrenginys skiriasi nuo kitų nusodinimo kamerų viduje esančiomis pertvaromis, kurios pagerina kietųjų dalelių atskyrimą iš užteršto oro srauto bei jų nusodinimą.

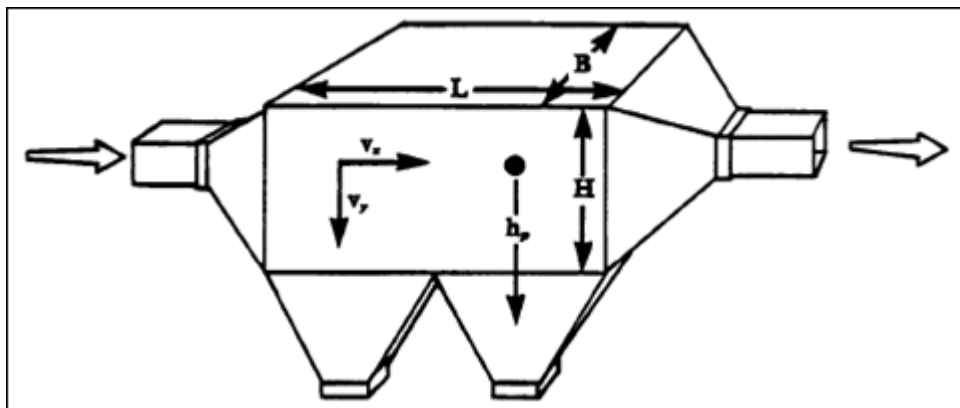


1.12 pav. Nusodinimo kamera su pertvaromis

Tekėdamas srautas atsimuša į pertvaras, taip sumažindamas greitį, sunkiosios dalelės dėl veikiančios sunkio jėgos nukrenta palei sienelę žemyn į surinkimo kamerą. Sugaudomos kietosios dalelės, kurių diametras 20–40 μm dydžio. Šis įrenginys kompaktiškesnis nei kitos nusodinimo kameros, reikalauja mažesnio užstatymo ploto (Lee and Huffman 2007).

1.3.1. Nusodinimo kameros parametrai

Kietųjų dalelių nusodinimo gravitacinėse nusodinimo kamerose principų supratimas prasideda nagrinėjant vienos sferinės dalelės elgesį kameroje (1.13 pav).



1.13 pav. Nusodinimo kameros parametrai

Kietosios dalelės juda tokiu pat greičiu kaip ir visas oro srautas, kurio greitis visoje kameroje yra vienodas. Šis horizontalaus judėjimo greitis yra žymimas v_x . Dalelės taip pat juda vertikaliai, greičiu v_y – tai nusėdimo greitis. Kameros ilgis, plotis ir aukštis atitinkamai žymimi L , B ir H .

Tarkime, dalelė juda kameroje aukštyje h_p . Dalelė, judėdama visu kameros ilgiu, turi nukristi atstumą h_p kol nusės į dulkių surinkimo bunkerį. Kitaip tariant, dalelė nusės, kai laikas, per kurį ji nusės, bus mažesnis už laiką, kurį praleis judėdama nusodinimo kameros viduje.

Teorinis nusodinimo kameros efektyvumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\eta = (v_y L) / (v_x H); \quad (1.2)$$

čia: v_y – vertikalus dalelių nusėdimo greitis, m/s;

v_x – horizontalus oro srauto greitis, m/s;

L – kameros ilgis;

H – kameros aukštis.

Nusodinimo greitis gali būti apskaičiuojamas pagal Stokslo lygtį. Ši lygtis taikoma, kai dalelių dydis d_p yra mažesnis nei 100 μm . Nusodinimo greitis yra lygus:

$$v_t = \frac{g d_p^2 (\rho_p - \rho_a)}{18\mu}, \text{ m/s}; \quad (1.3)$$

čia: g – laisvasis kritimo pagreitis, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$;

d_p – dalelės skersmuo, μm ;

ρ_p – dalelės tankis, kg/m^3 ;

ρ_a – oro tankis, kg/m^3 ;

μ – oro srauto klampumas, $\text{Pa} \cdot \text{s}$.

(1.3) lygtis gali būti pertvarkyta siekiant nustatyti minimalų dalelių dydį, su kuriuo būtų pasiektas didžiausias nusodinimo efektyvumas. Minimalus dalelių dydis d_p^* apskaičiuojamas pagal formulę:

$$d_p^* = \sqrt{\frac{18\mu}{g(\rho_p - \rho_a)}}, \mu\text{m}; \quad (1.4)$$

Dalelių tankis ρ_p paprastai yra daug didesnis nei oro tankis ρ_a , todėl reikšmė $\rho_p - \rho_a$ sumažėja iki ρ_p . Greitis gali būti užrašytas taip:

$$v = Q/BL, \text{ m/s}; \quad (1.5)$$

čia: Q – srauto tūris;

B – kameros plotis;

L – kameros ilgis.

Perrašoma (1.4) formulė:

$$d_p^* = \sqrt[3]{8\mu Q / \rho_p BL}, \text{ } \mu\text{m}; \quad (1.6)$$

Efektyvumo formulė gali būti išreikšta taip:

$$\eta = \sqrt[3]{\rho_p BL N_c} \sqrt[3]{8\mu Q / \rho_p}; \quad (1.7)$$

čia: N_c – lygiagrečių kamerų skaičius: paprastoms nusodinimo kameroms – 1, Hovardo nusodinimo kameroms – N plokštelių + 1.

(1.7) formulė dažnai yra dauginama iš bedimensinio empirinio koeficiento, kuris susieja teorinius efektyvumus su eksperimentiniais duomenimis. Jeigu nėra informacijos, koeficientas priimamas 0,5. Tuomet (1.7) formulė perrašoma:

$$\eta = 0,5 \sqrt[3]{\rho_p BL N_c} \sqrt[3]{8\mu Q / \rho_p}; \quad (1.8)$$

(1.2) ir (1.7) lygtys duoda teorinį dalelių surinkimo efektyvumą nusodinimo kameroje, esant vieno dydžio dalelei. Kai oro srautas patenka į kamerą, jos viduje pasiskirsto įvairaus dydžio dalelės. Bendras nusodinimo efektyvumas apskaičiuojamas:

$$\eta_{TOT} = \sum \eta_i w_i; \quad (1.9)$$

čia: η_i – efektyvumai prie tam tikro dydžio dalelių;

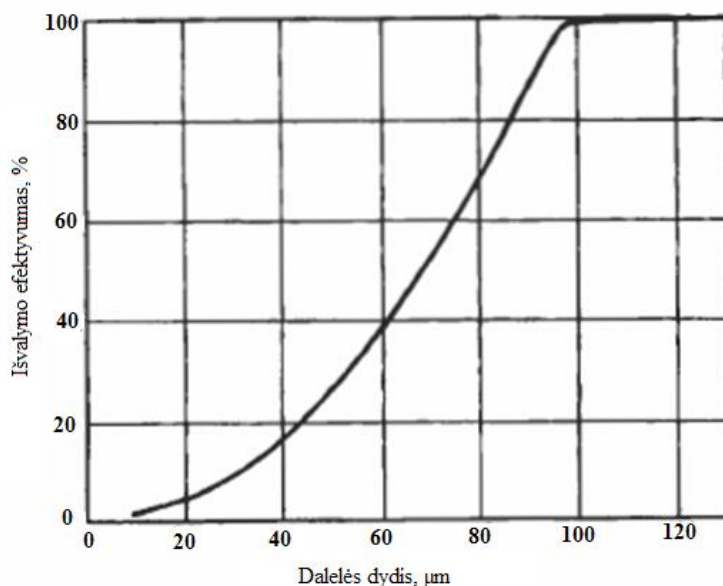
w_i – tam tikro dydžio dalelių svoriai.

(1.2) ir (1.3) formulės aprašytos su prielaida, kad oro srautas nusodinimo kameroje yra laminarinis, tačiau ši prielaida paprastai yra neteisinga. Dujų srautas paprastai yra turbulentinis. Efektyvumas, kai srautas yra turbulentinis:

$$\eta = \exp \left[- \frac{v_y}{H v_x} \right]; \quad (1.10)$$

Parametrai nusodinimo kameroms parenkami pagal šalinamų dalelių specifinį dydį. Kameros konstrukcija turi sudaryti sąlygas pakankamam dalelių sėdimo greičiui užfiksuoti gaudant norimo dydžio daleles. Tą galima pasiekti laikant kameroje kuo mažesnę oro srauto greitį. Jei greitis bus per didelis, dalelės bus išnešamos atgal.

1.14 paveiksle pateiktas kietųjų dalelių išvalymo efektyvumas nusodinimo kameroje. Matoma, jog mažiausias efektyvumas, kai tiriamos dalelės dydis 10 μm , siekia tik 2–4 %. Didėjant dalelių dydžiui, proporcingai didėja valymo efektyvumas. Matyti, jog esant 100 μm dalelėms, nusodinimo kameros valymo efektyvumas siekia 100 %. Tai dar kartą įrodo, jog kietųjų dalelių nusodinimo kameros pritaikytos valyti didesnio diametro kietoms dalelėms.



1.14 pav. Kietųjų dalelių išvalymo efektyvumas

Nusodinimo kamerų privalumai:

- Mažos pastatymo ir eksploatavimo išlaidos;
- Lengva techninė priežiūra;
- Temperatūros ir slėgio nustatymai parenkami pagal konstrukcines medžiagas;
- Sausas kietųjų dalelių šalinimas.

Nusodinimo kamerų trūkumai:

- Reikalauja daug erdvės;
- Netinkamos naudoti esant lipnioms medžiagoms;
- Palyginti žemas kietųjų dalelių nusodinimo efektyvumas (~ 60 %), ypač kai dalelių dydis mažiau kaip 50 μm .

Dauguma gravitacinių nusodinimo kamerų yra naudojamos iš užteršto oro srauto pašalinti stambioms kietosioms dalelėms (60 μm ir didesnėms) prieš srautui patenkant į efektyvesnius valymo renginius, tokius kaip ciklonai, rankoviniai, elektrostatiniai filtrai ar skruberiai.

1.4. Kompiuterinio modeliavimo principai tiriant dulkių koncentracijas

Oro taršai modeliuoti plačiausiai yra naudojami modeliavimo programų grupė, pagrįsta Gauso difuzijos modeliu, pavyzdžiui „Caline3“, „ISC3“, „Prime“, „Screen3“, „Slab“, „Varsa“ (Petraitis ir Vasarevičius 2001). Kita grupė modeliavimo programų, tokių kaip „Phoenics“, „Fluent“, remiasi skaitiniu lygčių sprendimu perdavimo procesuose. Šie modeliai buvo rengiami siekiant skirtingų tikslų – vieni iš jų taikomi modeliuojant teršalų sklaidą, kiti labiau tinka modeliuojant išmetamų teršalų kiekius (Baltrėnas ir kt. 2008).

Programos „Phoenics“ panaudojimas.

„Phoenics“ matematinio modeliavimo programa paremta artutiniais lygčių sprendimo metodais. Ši programa naudojama kietųjų dalelių pasklidimo aplinkoje skaitinio modeliavimo uždaviniui spręsti, įvertinant realioje aplinkoje vykstančius šio proceso ypatumus (Mathiesen and Solberg 1999; Baltrėnas ir kt. 1998; Petraitis 2003).

„Phoenics“ programinės įrangos matematinio modeliavimo galimybės yra plačios, t.y. pernašos procesų modeliavimas atmosferoje, hidrosferoje ir geosferoje (Paulauskienė 2008).

Programos CopertIII panaudojimas.

Ši programa dažniausiai naudojama autotransporto sukeltos taršos poveikio aplinkai analizavimui, jo išmetamų teršalų sklaidos modeliavimui.

Copert III programos panaudojimas modeliavimui taip pat susijęs su vykstančių procesų aprašymu matematinėmis išraiškomis.

Programos Varsa panaudojimas.

Ši programa skirta orą teršiančių medžiagų, išmetamų iš energetinių, pramonės įmonių, stacionarių ir mobilių taršos šaltinių sklaidai modeliuoti. Didelė dalis tų išmetamų teršalų sudaro ir kietosios dalelės, aerozoliai. Didėjant ir augant pramonei Lietuvoje šios programos panaudojimas didės. Nors programinis paketas ir pasenęs, tačiau jo naudojimas yra gerai išvystytas, kadangi pa prastesnio ir alternatyvaus programinio paketo nėra.

Programos MathCad panaudojimas.

Ši programa dažniausiai naudojama matematinių reiškinių sprendimui, tačiau ją galima taikyti ir aplinkos procesų, vykstančių aplinkoje modeliavimui – dulkių ir kitų teršalų išsiskyrimo iš taršos šaltinių sklaidos modeliavimui, šių procesų kitimo aprašymui.

1.5. Išvados

1. Daugelis tyrinėtojų nurodo, kad padidėjusi antropogeninė kietųjų dalelių emisija į orą sukelia ne klimato atšilimą, o atvirkščiai – atšalimą. Kietosios dalelės ir aerozoliai sugeria arba atspindi dalį saulės spindulių ir sumažina energijos kiekį, esantį žemėje. Tačiau esant mažam paklotinio paviršiaus albedui, kietosios dalelės sugeria nuo Žemės paviršiaus atspindėtą spinduliuotę ir energija lieka tarp Žemės ir atmosferos sluoksnių, o tai lemia klimato atšilimą.

2. Vadovaujantis ES direktyvų ir nacionalinių teisės aktų reikalavimais, KD_{10} koncentracijos vertinimui taikomos ribinės vertės: vidutinė metinė – $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$; vidutinė 24 valandų – $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Aplinkos oro užterštumo normose nustatytos $KD_{2,5}$ koncentracijos kalendorinių metų ribinė vertė yra $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o iki 2020 m. ji turi pasiekti $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ribą.

3. Kietųjų dalelių šalinimas panaudojant nusodinimo kameras – paprasta technologija, reikalaujanti mažų investicijų bei paprastos techninės priežiūros. Kameros privalumai – maži slėgio nuostoliai ir paprastas teršalų šalinimas kameroje.

4. Nusodinimo kameros naudojamos kaip pirminis valymas, norint apsaugoti nuo per didelės trinties ir dulkių pertekliaus antrinio valymo įrenginius, pašalinant iš užteršto oro srauto stambias daleles.

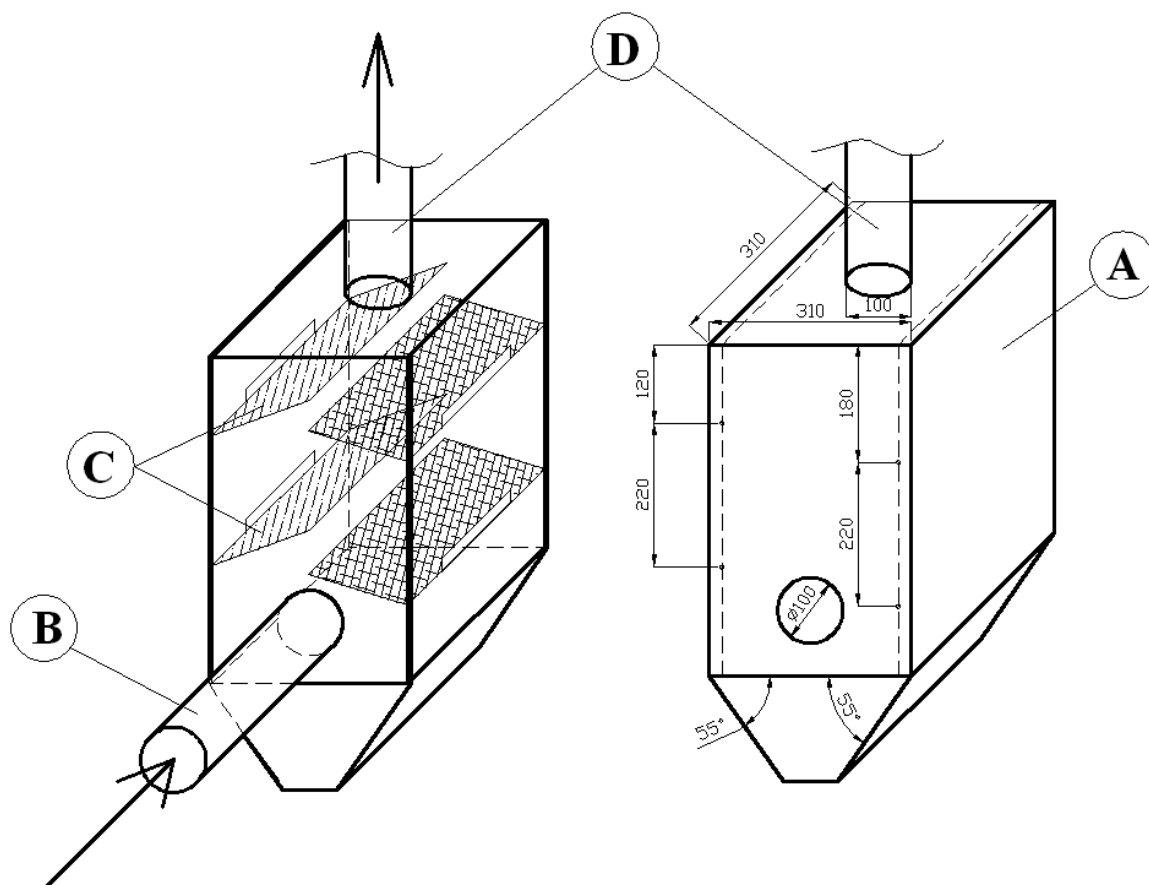
5. Nusodinimo kameros montuojamos pramonėje, didžiausias efektyvumas pasiekiamas šalinant 20–60 μm daleles.

2. KIETŲJŲ DALELIŲ ŠALINIMO NUSODINIMO KAMEROJE EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

Mokslo vaidmuo, sparčiai keičiantis ir tobulėjant visuomenėje vykstantiems procesams, tampa ypač svarbus ir aktualus. Pastaraisiais dešimtmečiais vis labiau akcentuojama investicijų į mokslinius tyrimus svarba. Yra žinoma, kad žmonių gyvenimo kokybė gerėja per mokslinius tyrimus, per mokslo pasiekimus įvairiose žmonių gyvenimo srityse. Tai reikalauja aukštos ir patikimos tyrimų atlikimo kokybės, atsižvelgiant į atskirų mokslo sričių specifiškumą (Sirvydis 2004).

2.1. Tyrimams naudojama nusodinimo kamera

Tyrimui buvo sukurta bei pagaminta kietųjų dalelių nusodinimo kamera su reguliuojamomis plokštelėmis (2.1 pav.).



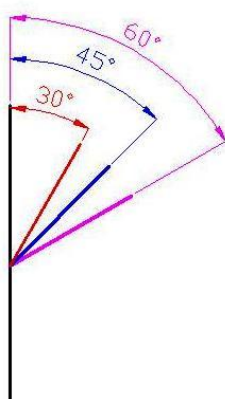
2.1 pav. Projektuojamo įrenginio schema: A – nusodinimo kameros korpusas, B – oro įėjimo anga, C – nusodinimo plokštelės, D – oro išėjimo anga

Nusodinimo kameros korpusas pagamintas iš nerūdijančio plieno skardos ir organinio stiklo, tam, kad būtų galima stebėti oro srauto judėjimą kameroje. Kameros ilgis – 310 mm, plotis – 310 mm, aukštis – 500 mm. Priekinėje įrenginio dalyje, oro įėjimo angoje, kurios diametras 100 mm, montuojamas ventiliatorius. Oro įėjimo vamzdyje yra tiriamų medžiagų subėrimo anga. Pagamintas įrenginys, kuriuo bus atliekami bandymai, pavaizduotas 2.2 paveiksle.



2.2 pav. Pagamintas oro valymo įrenginio maketas: 1 – nusodinimo kameros korpusas, 2 – kameros laikančioji konstrukcija, 3 – oro įtraukimo ventiliatorius, 4 – tiriamų medžiagų įbėrimo anga, 5 – nusodinimo plokštelės, 6 – oro išraukimo anga, 7 – kietųjų dalelių surinkimo bunkeris

Kietųjų dalelių nusodinimo kameros viduje projektuojamos 4 nusodinimo plokštelės (pagamintos iš cinkuotos skardos, 1 mm storio). Siekiant nustatyti nusodinimo kameros efektyvumą, keičiamas plokštelių pasvirimo kampas (2.3 pav.).



2.3 pav. Nusodinimo plokštelių pasvirimo kampai

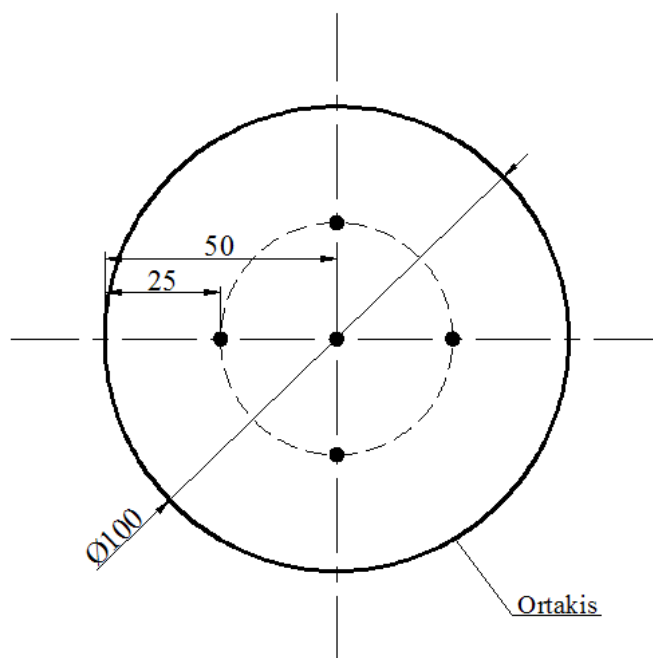
Nusodintos stambios kietosios dalelės surenkamos surinkimo bunkeryje, esančiame įrenginio apačioje.

Nusodinimo kameros veikimo principas

Užterštas oro srautas su kietomis dalelėmis teka tam tikru greičiu ir per įėjimo angą patenka į nusodinimo kamerą, kur dalelės išsisklaido ir taip sumažėja jų greitis. Stambiausios kietosios dalelės atsimuša į nusodinimo plokšteles ir veikiamos gravitacinės jėgos nusėda į surinkimo bunkerį. Smulkesnės dalelės juda su oro srautu aukštyn ir atsimušusios į aukščiau esančias plokšteles, nusėda ant žemiau esančių plokštelių paviršiaus. Išvalytas oro srautas išeina per išėjimo angą.

2.2 Fizinių parametrų nusodinimo kameroje matavimas

Oro srauto greitis ir oro srauto temperatūra matuojami vokiečių gamintojo „Testo“ prietaisu „Testo 400“ prie jo prijungiant termoporą. Termoporos matavimo tikslumas kai oro srauto greitis nuo 0 m/s iki 2 m/s yra $\pm 0,01$ m/s, o kai nuo 2 m/s iki 10 m/s tai $\pm 0,2$ m/s. Dėl nevienodo oro srauto greičio pasiskirstymo ortakio skerspjūvyje greitis matuotas nuo ortakio sienelės 25 mm ir ortakio centre (2.4 pav.).



2.4 pav. Oro srauto greičio, temperatūros ir slėgio matavimo vietų ortakio skerspjūvyje schema

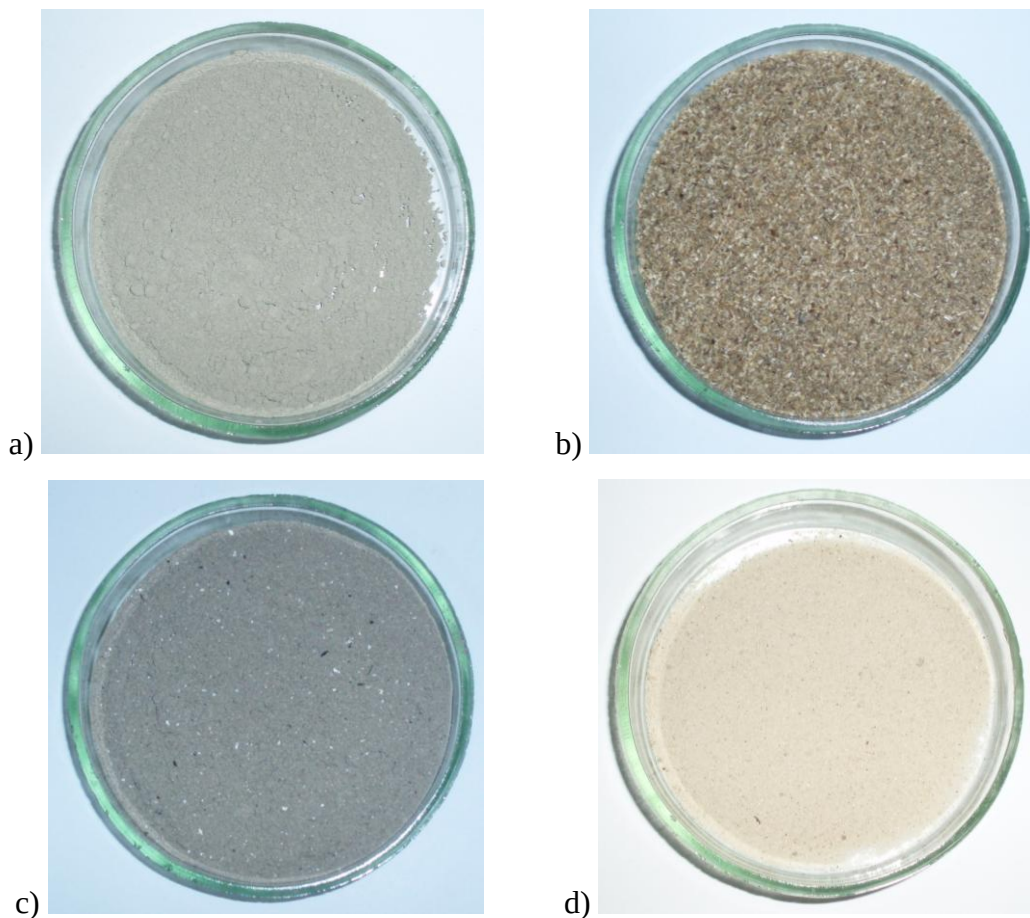
Oro srauto greičiui nusistovėjus užfiksuojamas rezultatas. Greitis matuojamas 5 taškuose. Temperatūra matuojama viename taške – ortakio centre. Šių parametrų matavimo vietos pateiktos 2.4 paveiksle.

Oro srauto greičiai taip pat matuojami kameros viduje, 27 taškuose. Matavimo vietos pateiktos 3.16 paveiksle.

2.3. Kietųjų dalelių koncentracijos matavimas

Atliekant kietųjų dalelių eksperimentinius tyrimus su nusodinimo kamera, kaip taršos šaltinis naudojama žinomos dispersijos medžiagos (2.5 pav.):

1. Cemento dulkės (5–30 μm);
2. Medienos pjuvenos ($\sim 100 \mu\text{m}$);
3. Biokuro pelenai (8–10 μm);
4. Kvarcinio smėlio dulkės (10–50 μm).



2.5 pav. Tyrimams naudojamos medžiagos: a) cemento dulkės, b) medienos pjuvenos, c) biokuro pelenai, d) kvarcinio smėlio dulkės

Dulkės kartu su oro srautu leidžiamos į nusodinimo kamerą. Oro srauto greitis matuojamas prieš ir po nusodinimo kameros įrengtose matavimo vietose. Greičio matavimo taškai pateikti 2.4 paveiksle. Pamatavus greitį ortakyje, matuojama temperatūra. Galiausiai matuojama dulkių koncentracija prieš ir po nusodinimo kameros. Siekiant efektyvesnių rezultatų, tyrimai su viena medžiaga kartojami 3 kartus.

Dažniausiai atliekant praktinius matavimus, atliekant aplinkos taršos energetikos ir pramonės įmonėse, technologinių procesų kontrolei ir reguliavimui naudojamas yra svorinis metodas. Šio metodo panaudojimas siekia iki 85 % visų dulkių ir aerozolių koncentracijų nustatymo metodų panaudojimo.

Svorinis metodas skirtas dulkių (kietųjų dalelių) koncentracijai išmetamosiose dujose į atmosferą nustatyti.

Metodo santykinė paklaida neviršija $\pm 25 \%$.

Principas. Dujų srauto dulkėtumas ortakiuose matuojamas išorinio ir vidinio filtravimo būdais. Išorinio filtravimo būdu dulkių bandinys paimamas, siurbiant dujas iš ortakio per bandinių paėmimo vamzdelį ir sulaikant dulkes filtravimo patrone, esančiame ortakio išorėje. Išmetamosiose dujose esant dideliame drėgmės kiekiui (rasos taško temperatūra daugiau kaip 200°C), dujų dulkėtumui įvertinti bandinius tikslinga paimti vidinio filtravimo būdu: dulkes nusodinant filtravimo patrone, kuris įstatytas ortakyje. Dujų srauto dulkėtumas nustatomas pagal filtro masių skirtumą (Miller 1989).

$$C = \frac{m_2 - m_1}{V_0} ; \quad (2.1)$$

čia: m_1 – filtro masė prieš bandinio paėmimą;

m_2 – filtro masė po bandinio paėmimo;

V – prasiurbto oro tūris;

t – laikas, kurį traukiamas oro srautas.

Per filtrą prasiurbto oro tūris normaliosiomis sąlygomis ($t = 0^\circ\text{C}$; $T_0 = 273 \text{ K}$ ir $p_0 = 760 \text{ mm Hg}$ stulpelio (101,3 kPa)) perskaičiuojamas pagal formulę:

$$V_0 = \frac{T_0 P}{p_0 (273 + t)} u (t_2 - t_1) = K \frac{pV}{273 + t} ; \quad (2.2)$$

čia: V_0 – per filtrą prasiurbto oro tūris, perskaičiuotas normaliosioms sąlygoms, dm^3 ;

u – oro siurbimo greitis paimant bandinį, dm^3/min ;

V – per filtrą prasiurbto oro tūris, dm^3 ;

T_0 – siurbiamo oro temperatūra, $^\circ\text{C}$;

$(t_2 - t_1)$ – bandinio paėmimo trukmė, min;

p – atmosferos slėgis oro bandinio paėmimo metu, mm Hg stulpelio arba kPa;

K – perskaičiavimo koeficientas (jei atmosferos slėgis p matuojamas kPa – $K = 2,7$ ir jeigu mm Hg stulpelio – $K = 0,358$). KD koncentracija aplinkos ore apskaičiuojama vienos tūkstantosios (0,001 mg/m³) ir vienos dešimtosios tikslumu (Baltrėnas ir kt. 2005).

Nustatant dujų srauto dulkėtumą ortakyje, svarbiausi faktoriai yra bandinio ėmimo vietos parinkimas, dujų siurbimo greitis ir prasiurbtas dujų tūris, imant dulkių bandinį. Bandinį būtina paimti, esant pastoviam technologiniam režimui. Patikimiausi rezultatai gaunami, imant bandinius tiesioje ortakio atkarpoje, kur per 5–6 D iki paėmimo vietos ir per 3–4 D už paėmimo vietos (D – ortakio skersmuo) nėra jokio dujų srauto trikdytojo: ventiliatoriaus, sklendės, alkūnės, ortakio susiaurėjimo ar platėjimo ir pan.

Teisingiausiai išmatuojamas dulkių kiekis tuomet, kai laikomasi izokinetiškumo sąlygų, t.y. kai dujų srauto greitis bandinio paėmimo taške yra lygus per vamzdelio antgalį siurbiamų dujų greičiui ir paimto bandinio dulkės yra beveik tokios pačios granulimetrinės sudėties kaip ir ortakyje. Jeigu nesilaikoma izokinetiškumo sąlygų, didėjant dujų dulkėtumui, daugėja matavimo klaidų. Dėl per didelio bandinio ėmimo greičio didesnės dalelės pralėks pro šaltį, nepateks į bandinio paėmimo vamzdelį, dulkių koncentracija bus gaunama mažesnė, negu yra iš tikrųjų. Dėl per mažo bandinio paėmimo greičio didelės dalelės iš inercijos paklius į vamzdelį ir padidins dulkių koncentraciją bandinyje. Jei vamzdelio angos įėjimo skerspjūvis nėra tiksliai nukreiptas prieš dujų srauto kryptį (leidžiamas $\pm 5^\circ$ pakrypimo kampas), tai dulkių koncentracija gaunama mažesnė, negu yra iš tikrųjų.

Prieš svėrimą filtrai 20–30 min. džiovinami džiovinimo spintoje, esant 80 °C temperatūrai, arba 2–3 val. laikomi eksikatoriuje (džioviklis – lydytas kalcio chloridas). Pasverti filtrai pincetu įdedami į kalkės (permatomo popieriaus) vokelius, po to dar į polietileninius maišelius.

2.4. Eksperimentiniams tyrimams atlikti naudojama įranga

Greičio ir temperatūros matuoklis „Testo–400“

Matuoklis naudojamas oro srauto greičio, temperatūros, slėgio nustatymui užteršto oro srauto įeinančiame bei išeinančiame ortakiuose bei nusodinimo kameros viduje. Daugiafunkcinio matuoklio „Testo–400“ pavaizduotas 2.6 paveiksle.



2.6 pav. Daugiafunkcinis matyuoklas „Testo–400”

Elektroaspiratorius

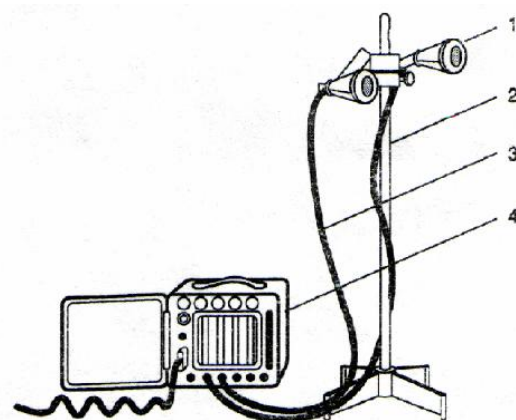
Įrenginys, kuriuo traukiamas oras. Aspiratoriai būna įvairūs. Jie dažniausiai turi kelias oro traukimo angas, bet gali būti ir tokių, kurie turi tik vieną angą orui traukti. Aspiratoriais galima traukti orą skirtingu greičiu, kuris reguliuojamas rankenėle. Pasitaiko aspiratorių pritaikytų konkrečiam prietaisui, kurių traukiamo oro greitis (kiekis) yra pastovus. Reguliuojamų aspiratorių traukimo greitis (traukiamo oro kiekis) gali kisti nuo 0,1 l/min iki 1 l/min, ir nuo 1 l/min iki 10 l/min ar daugiau.

Tyrimams naudojamas elektroaspiratorius pavaizduotas 2.7 paveiksle.



2.7 pav. Elektroaspiratorius

2.8 paveiksle pavaizduota elektroaspiratoriaus sujungimo schema.



2.8 pav. Elektroaspiratoriaus sujungimo schema: 1 – galvutė su filtru, 2 – stovas, 3 – guminės žarnos, 4 – elektroaspiratorius

Svarstyklės

Kad sužinoti kokia dulkių koncentracija matuojamame oro sraute, filtrai, ant kurių nusodintos bandinio traukimo metu dalelės, sveriami. Filtrai sveriami svarstyklėmis, kurios būna mechaninės arba elektroninės. Ir mechaninės, ir elektroninės svarstyklės būna skirtingo matavimo tikslumo. Laboratorinių svarstyklių paklaida dažniausiai būna nuo 0,01 g iki 0,001 g, bet paklaida gali būti (ypač elektroninių) ir mažesnė. Atliekant tyrimus naudojamosi mechaninėmis ir elektroninėmis svarstyklėmis. Abiejų svarstyklių paklaida – 0,01 g.

Filtrai, jų laikiklis ir jungiamosios žarnos

Dulkių koncentracijai gravimetriniu metodu nustatyti naudojami filtrai, kurie sveriami prieš bandinio paėmimą ir po to. Tyrimams naudojami АΦА – ВП filtrai, kurių skersmuo yra 50 mm (2.9 pav.).



2.9 pav. Filtro laikiklis su filtru АΦА – ВП

Filtrams įstatyti naudojami filtrų laikikliai (2.9 pav.), kurių dydis priklauso nuo filtro matmenų. Oro bandinių paėmimui naudojamos ir žarnos, kurios reikalingos orą aspiratoriumi traukti dulkėtą orą pro filtrus.

2.5. Išvados

1. Eksperimentiniams tyrimams buvo sukurta bei pagaminta kietųjų dalelių nusodinimo kamera su reguliuojamomis plokštelėmis. Siekiant nustatyti nusodinimo kameros efektyvumą, keičiamas plokštelių pasvirimo kampas – 30° , 45° , 60° .
2. Oro srauto greitis ir oro srauto temperatūra matuojami vokiečių gamintojo „Testo“ prietaisu „Testo 400“ prie jo prijungiant termoporą.
3. Atliekant kietųjų dalelių eksperimentinius tyrimus su nusodinimo kamera, kaip taršos šaltinis naudojama žinomos dispersijos medžiagos: cemento dulkės ($5\text{--}30\text{ }\mu\text{m}$), medienos pjuvenos ($\sim 100\text{ }\mu\text{m}$), biokuro pelenai ($8\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$), kvarcinio smėlio dulkės ($10\text{--}50\text{ }\mu\text{m}$).
4. Kietųjų dalelių koncentracijoms nustatyti naudojamas svorinis (gravimetrinis) metodas.

3. KIETŲJŲ DALELIŲ ŠALINIMO NUSODINIMO KAMEROJE TYRIMŲ REZULTATŲ ANALIZĖ

Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami su suprojektuota nusodinimo kamera. Visų tyrimų metu buvo siekiama nustatyti įrenginio efektyvumą bei išsiaiškinti, kaip oro srautas juda kameros viduje.

Atliekant tyrimus, kaip taršos šaltinis buvo pasirinktos žinomos dispersijos medžiagos: cemento dulkės (5–30 μm), medienos pjuvenos (~ 100 μm), biokuro pelenai (8–10 μm) ir kvarcinio smėlio dulkės (10–50 μm). Tyrimų metu, į kamerą tiekiant dulėmis užterštą orą 3,0 m/s, 7,0 m/s ir 10,0 m/s greičiais, buvo tirtas nusodinimo kameros valymo efektyvumas. Tiekiamo oro srautas reguliuojamas sklende. Tyrimų metu, prieš nustatant kietųjų dalelių koncentracijas, buvo matuojama oro srauto temperatūra, kuri svyravo nuo 17,5 °C iki 20 °C.

Bandymai buvo atliekami esant skirtingoms pradinėms kietųjų dalelių koncentracijoms: pirmuoju bandymu pradinė koncentracija kito nuo 100 mg/m^3 iki 125 mg/m^3 , antruoju – nuo 250 mg/m^3 iki 275 mg/m^3 ir trečiuoju – nuo 450 mg/m^3 iki 475 mg/m^3 . Dulkės į oro srautą buvo pilamos 15 minučių per reguliuojamąjį piltuvėlį.

Eksperimentinių tyrimų metu kietųjų dalelių koncentracijos buvo sulaikomos ant **AΦA** – **BII** filtrų, prasiurbiant per jį orą 15 l/min greičiu. Kietųjų dalelių koncentracijos, įeinančio ir išeinančio užteršto oro srauto iš nusodinimo kameros buvo nustatomos svoriniu metodu.

Kameros efektyvumas buvo nustatomas esant skirtingiems nusodinimo plokštelių pasvirimo kampams – 30°, 45° ir 60°.

Bandymai su visomis trimis medžiagomis buvo kartojami 3 kartus. Eksperimentiniai tyrimai su kiekvienu taršos šaltiniu atliekami atskirai.

Kameros viduje, 27 matavimo taškuose buvo matuojami oro srauto greičiai.

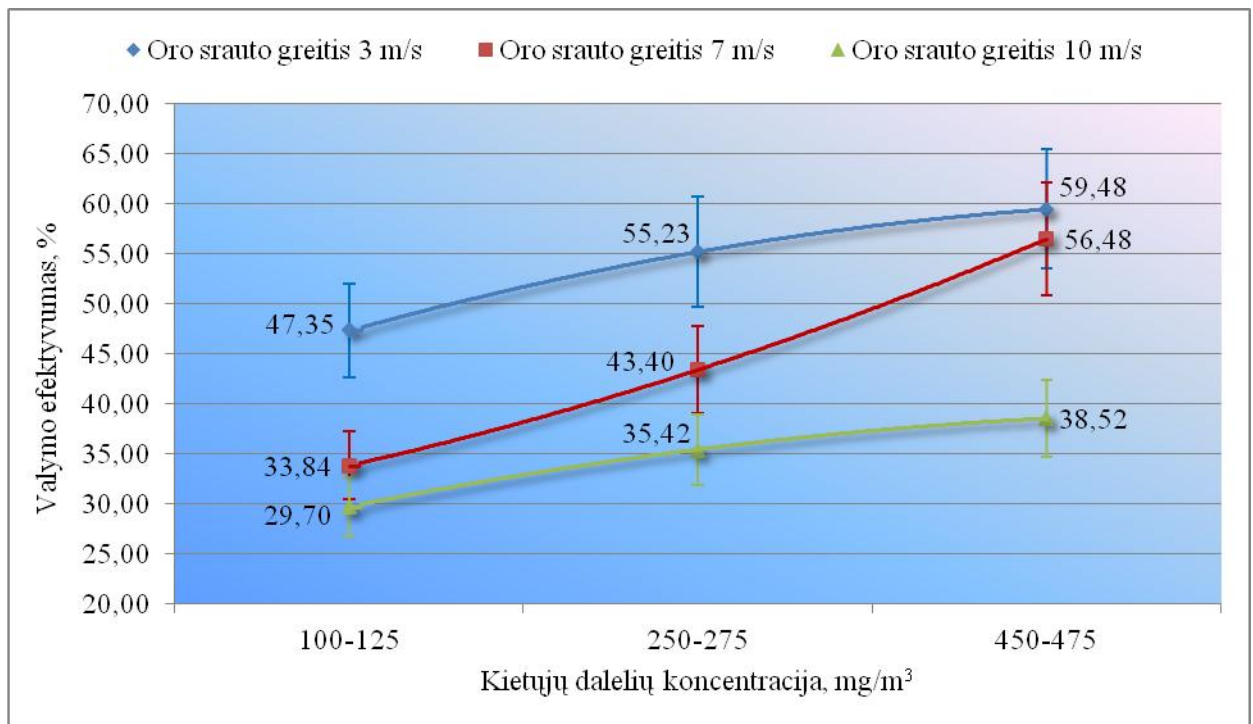
Tyrimai buvo atliekami vadovaujantis 2 skyriuje aprašyta metodika.

3.1. Nusodinimo kameros efektyvumas

3.1.1. Nusodinimo kameros efektyvumas, kai oro srautas užterštas cemento dulėmis

Nusodinimo kameros efektyvumas buvo nustatomas į kamerą tiekiant cemento dulėmis užterštą orą. Išmatuota oro srauto temperatūra lygi 20 °C.

3.1 paveiksle pavaizduota nusodinimo kameros efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių koncentracijos, tiekiant cemento dulėmis (5–30 μm) užterštą oro srautą skirtingais greičiais ir esant 30° nusodinimo plokštelės pasvirimo kampui.

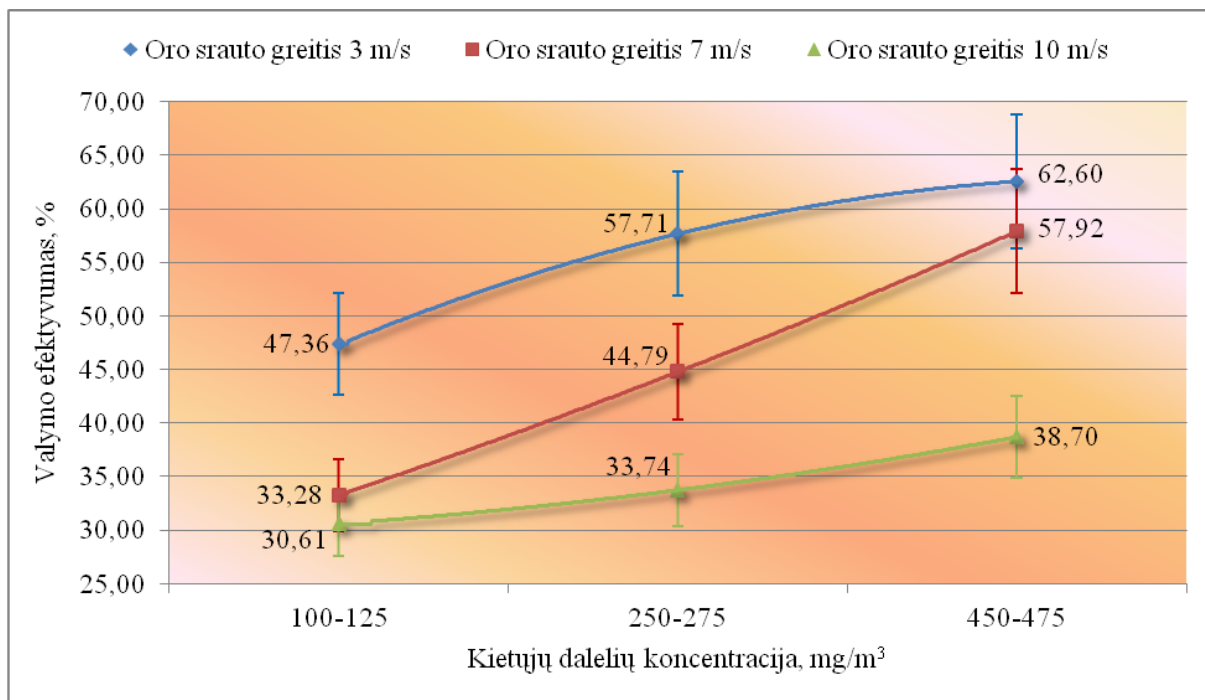


3.1 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo cemento dulkių koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 30° plokštelių pasvirimo kampui

Kaip matyti iš grafiko, esant 30° plokštelių pasvirimo kampui, didinant cemento dulkių koncentraciją, nusodinimo kameros valymo efektyvumas didėja. Didžiausi valymo efektyvumai pasiekiami, kai dulkių koncentracija 450–475 mg/m³, o mažiausi – kai koncentracija 100–125 mg/m³. Ta pati valymo efektyvumo didėjimo didinant kietųjų dalelių koncentraciją tendencija išlieka tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja nuo 47,35 % iki 59,48 %; t.y. efektyvumas padidėja 12,13 %. Tiekiant orą 7 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja 22,64 %, o esant 10 m/s greičiui – valymo efektyvumas padidėja 8,82 %.

Tačiau, tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais, kinta nusodinimo kameros valymo efektyvumas. Didinant oro srauto greitį, valymo efektyvumas mažėja, nes tiekiant dulkėmis užterštą orą dideliu greičiu, didesnė dalis kietųjų dalelių yra išnešama kartu su oro srautu. Kai cemento dulkių koncentracija yra 100–125 mg/m³, didžiausias valymo efektyvumas pasiekiamas tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu – jis siekia 47,35 %. Padidinus oro greitį iki 10 m/s – efektyvumas sumažėja 1,5 karto. Kai dulkių koncentracija 250–275 mg/m³ ir 450–475 mg/m³, didinant oro srauto greitį nuo 3 m/s iki 10 m/s, efektyvumas sumažėja atitinkamai 1,5 ir 1,2 karto.

3.2 paveiksle pavaizduota nusodinimo kameros efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių koncentracijos, tiekiant cemento dulkėmis (5–30 μm) užterštą oro srautą skirtingais greičiais ir esant 45° nusodinimo plokštelės pasvirimo kampui.



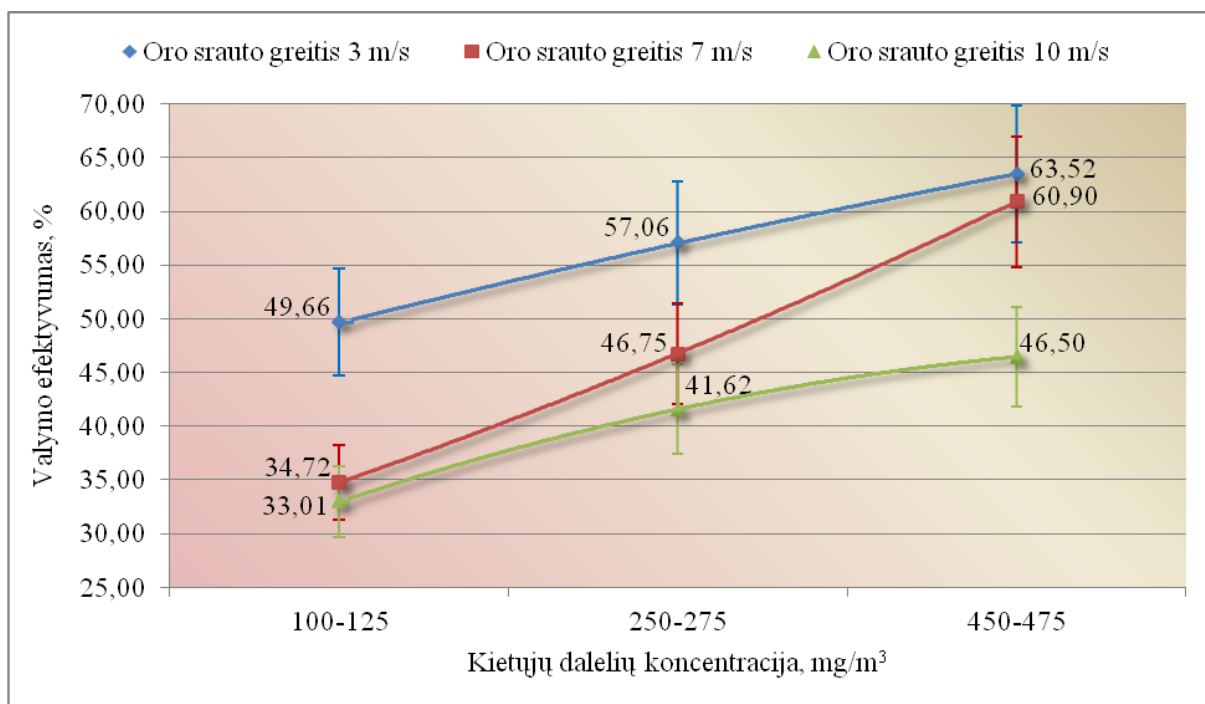
3.2 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo cemento dulkių koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 45° plokštelių pasvirimo kampui

Kaip matyti iš grafiko, esant 45° plokštelių pasvirimo kampui, didinant cemento dulkių koncentraciją nuo 100–125 mg/m^3 iki 450–475 mg/m^3 , nusodinimo kameros valymo efektyvumas didėja. Ši valymo efektyvumo didėjimo didinant kietųjų dalelių koncentraciją tendencija išlieka tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja nuo 47,36 % iki 62,60 %; t.y. efektyvumas padidėja 15,24 %. Tiekiant orą 7 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja 24,64 %, o esant 10 m/s greičiui – valymo efektyvumas padidėja 8,09 %.

Tačiau, tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais, kinta nusodinimo kameros valymo efektyvumas. Didinant oro srauto greitį, valymo efektyvumas mažėja, nes tiekiant dulkėmis užterštą orą dideliu greičiu, didesnė dalis kietųjų dalelių yra išnešama kartu su oro srautu. Kai cemento dulkių koncentracija yra 100–125 mg/m^3 , didžiausias valymo efektyvumas pasiekiamas tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu – jis siekia 47,36 %. Padidinus oro greitį iki 10 m/s – efektyvumas sumažėja 1,5 karto. Kai dulkių koncentracija 250–275 mg/m^3 ir 450–475 mg/m^3 , didinant oro srauto greitį nuo 3 m/s iki 10 m/s, efektyvumas sumažėja atitinkamai 1,7 ir 1,6 karto.

Palyginus šiuos valymo efektyvumus su efektyvumais, kai plokštelių pasvirimo kampas 30° , matyti, kad didėjant plokštelių pasvirimo kampui, efektyvumas taip pat didėja. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, esant mažiausiai koncentracijai ($100\text{--}125\text{ mg/m}^3$) abiem atvejais efektyvumas gautas toks pat – 47,36 %, tačiau padidinus koncentraciją iki $450\text{--}475\text{ mg/m}^3$, esant 45° kampui, efektyvumas gautas 3,12 % didesnis, nei esant 30° kampui. Tiekiant oro srautą 7 m/s greičiu, kai dulkių koncentracija mažiausia, esant 30° kampui, efektyvumas gautas 0,56 % didesnis nei esant 45° kampui, o kai dulkių koncentracija didžiausia – efektyvumas gautas 1,44 % didesnis esant 45° kampui. Tiekiant orą 10 m/s greičiu, abiem atvejais efektyvumai pakito labai nežymiai: padidinus kampą, esant mažiausiai koncentracijai, padidėjo 0,91 %, o esant didžiausiai koncentracijai – 0,18 %.

3.3 paveiksle pavaizduota nusodinimo kameros efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių koncentracijos, tiekiant cemento dulkėmis ($5\text{--}30\text{ }\mu\text{m}$) užterštą oro srautą skirtingais greičiais ir esant 60° nusodinimo plokštelės pasvirimo kampui.



3.3 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo cemento dulkių koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 60° plokštelių pasvirimo kampui

Kaip matyti iš grafiko, esant 60° plokštelių pasvirimo kampui, didinant cemento dulkių koncentraciją nuo $100\text{--}125\text{ mg/m}^3$ iki $450\text{--}475\text{ mg/m}^3$, nusodinimo kameros valymo efektyvumas didėja. Ši valymo efektyvumo didėjimo didinant kietųjų dalelių koncentraciją tendencija išlieka tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja nuo 49,66 % iki 63,52 %; t.y. efektyvumas padidėja 13,86 %. Tiekiant orą 7 m/s greičiu, didinant kietųjų

dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja 26,18 %, o esant 10 m/s greičiui – valymo efektyvumas padidėja 13,49 %.

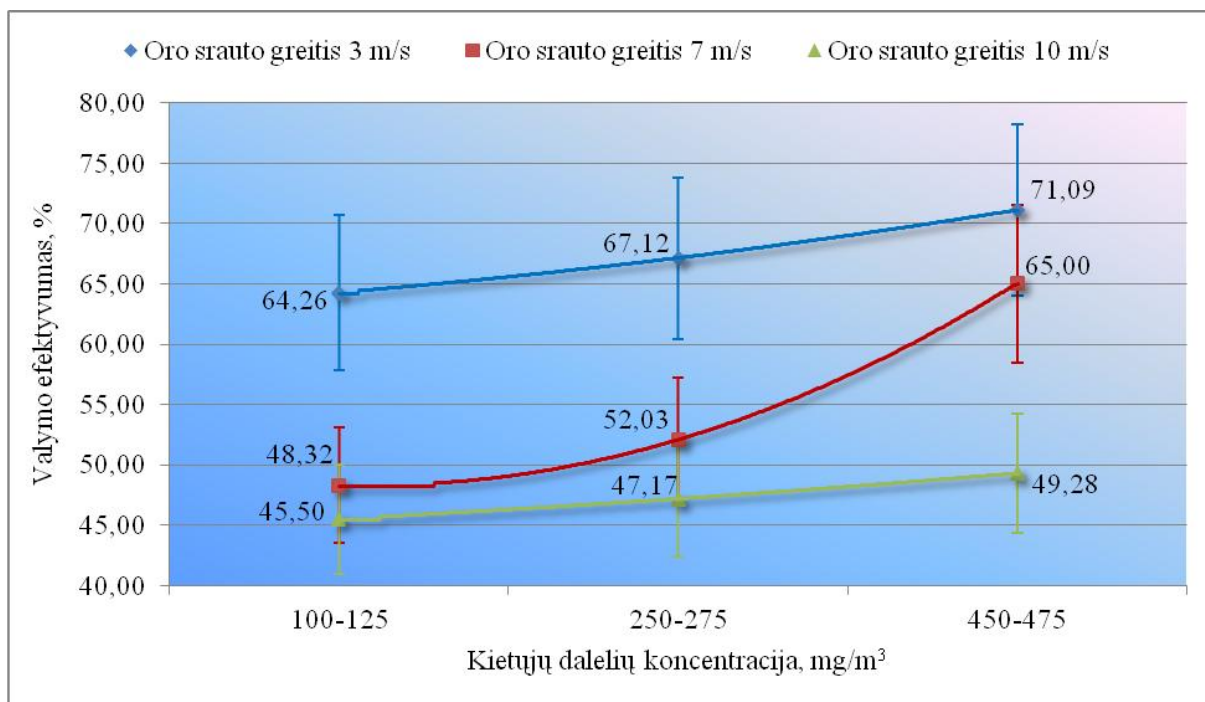
Tačiau, tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais, kinta nusodinimo kameros valymo efektyvumas. Didinant oro srauto greitį, valymo efektyvumas mažėja, nes tiekiant dulkėmis užterštą orą dideliu greičiu, didesnė dalis kietųjų dalelių yra išnešama kartu su oro srautu. Kai cemento dulkių koncentracija yra 100–125 mg/m³, didžiausias valymo efektyvumas pasiekiamas tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu – jis siekia 49,66 %. Padidinus oro greitį iki 10 m/s – efektyvumas sumažėja 1,5 karto. Kai dulkių koncentracija 250–275 mg/m³ ir 450–475 mg/m³, didinant oro srauto greitį nuo 3 m/s iki 10 m/s, efektyvumas sumažėja 1,4 karto.

Palyginus nusodinimo kameros valymo efektyvumus esant 3 skirtingiems kampams – 30°, 45° ir 60° (3.1–3.3 pav.), matyti, kad didėjant plokštelių pasvirimo kampui, efektyvumas taip pat didėja. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, esant mažiausiai koncentracijai (100–125 mg/m³) didžiausias efektyvumas (49,66 %) gautas esant 60° kampui, o mažiausias (47,35 %) – esant 30° kampui. Padidinus koncentraciją iki 450–475 mg/m³, esant 60° kampui, efektyvumas gautas 4,0 % didesnis, nei esant 30° kampui. Tiekiant oro srautą 7 m/s greičiu, didinant plokštelių pasvirimo kampą, esant 100–125 mg/m³, 250–275 mg/m³ ir 450–475 mg/m³ dulkių koncentracijoms, efektyvumai padidėja atitinkamai 0,88 %, 3,35 % ir 4,42 %, o tiekiant orą 10 m/s greičiu, padidėja atitinkamai 3,31 %, 6,20 % ir 7,98 %.

3.1.2. Nusodinimo kameros efektyvumas, kai oro srautas užterštas medienos pjuvenomis

Nusodinimo kameros efektyvumas buvo nustatomas į kamerą tiekiant medienos pjuvenomis užterštą orą. Išmatuota oro srauto temperatūra lygi 17,5 °C.

3.4 paveiksle pavaizduota nusodinimo kameros efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių koncentracijos, tiekiant medienos pjuvenomis (~100 µm) užterštą oro srautą skirtingais greičiais ir esant 30° nusodinimo plokštelės pasvirimo kampui.

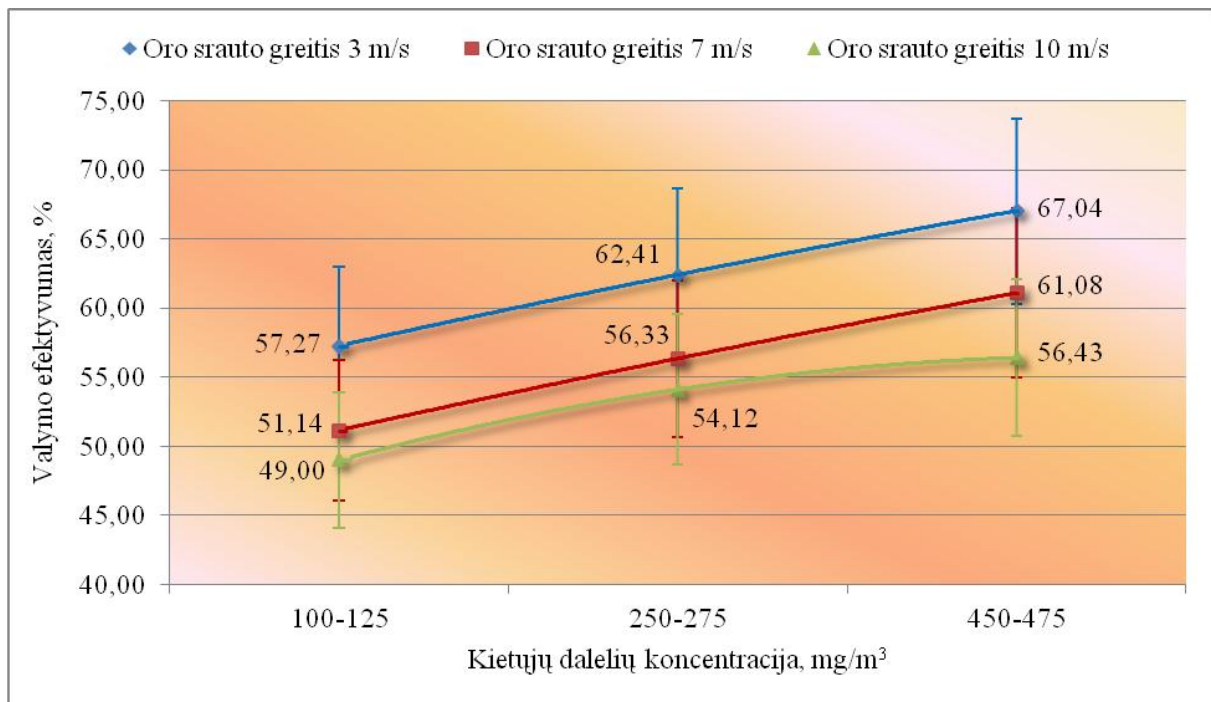


3.4 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo medienos pjuvenų koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 30° plokštelių pasvirimo kampui

Kaip matyti iš grafiko, esant 30° plokštelių pasvirimo kampui, didinant medienos pjuvenų koncentraciją, nusodinimo kameros valymo efektyvumas didėja. Didžiausi valymo efektyvumai pasiekiami, kai dulkių koncentracija 450–475 mg/m³, o mažiausi – kai koncentracija 100–125 mg/m³. Ta pati valymo efektyvumo didėjimo didinant kietųjų dalelių koncentraciją tendencija išlieka tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja nuo 64,26 % iki 71,09 %; t.y. efektyvumas padidėja 6,83 %. Tiekiant orą 7 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja 16,68 %, o esant 10 m/s greičiui – valymo efektyvumas padidėja 3,78 %.

Tačiau, tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais, kinta nusodinimo kameros valymo efektyvumas. Didinant oro srauto greitį, valymo efektyvumas mažėja, nes tiekiant dulkėmis užterštą orą dideliu greičiu, didesnė dalis kietųjų dalelių yra išnešama kartu su oro srautu. Kai medienos pjuvenų koncentracija yra 100–125 mg/m³, didžiausias valymo efektyvumas pasiekiamas tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu – jis siekia 64,26 %. Padidinus oro greitį iki 10 m/s – efektyvumas sumažėja 1,4 karto. Kai dulkių koncentracija 250–275 mg/m³ ir 450–475 mg/m³, didinant oro srauto greitį nuo 3 m/s iki 10 m/s, efektyvumas sumažėja taip pat 1,4 karto.

3.5 paveiksle pavaizduota nusodinimo kameros efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių koncentracijos, tiekiant medienos pjuvenomis (~100 μm) užterštą oro srautą skirtingais greičiais ir esant 45° nusodinimo plokštelės pasvirimo kampui.



3.5 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo medienos pjuvenų koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 45° plokštelių pasvirimo kampui

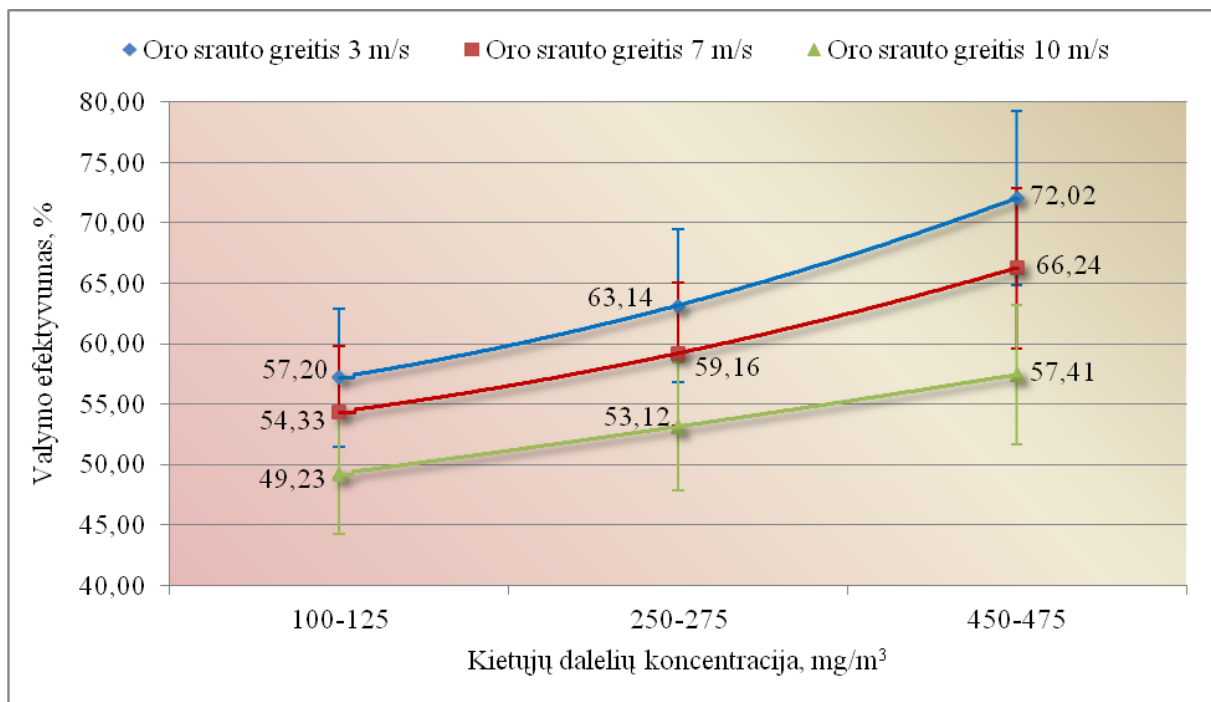
Kaip matyti iš grafiko, esant 45° plokštelių pasvirimo kampui, didinant medienos pjuvenų koncentraciją nuo 100–125 mg/m³ iki 450–475 mg/m³, nusodinimo kameros valymo efektyvumas didėja. Ši valymo efektyvumo didėjimo didinant kietųjų dalelių koncentraciją tendencija išlieka tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja nuo 57,27 % iki 67,04 %; t.y. efektyvumas padidėja 9,77 %. Tiekiant orą 7 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja 9,94 %, o esant 10 m/s greičiui – valymo efektyvumas padidėja 7,43 %.

Tačiau, tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais, kinta nusodinimo kameros valymo efektyvumas. Didinant oro srauto greitį, valymo efektyvumas mažėja, nes tiekiant dulkėmis užterštą orą dideliu greičiu, didesnė dalis kietųjų dalelių yra išnešama kartu su oro srautu. Kai medienos pjuvenų koncentracija yra 100–125 mg/m³, didžiausias valymo efektyvumas pasiekiamas tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu – jis siekia 57,27 %. Padidinus oro greitį iki 10 m/s – efektyvumas sumažėja 1,2 karto. Kai dulkių koncentracija 250–275 mg/m³ ir 450–475 mg/m³, didinant oro srauto greitį nuo 3 m/s iki 10 m/s, efektyvumas sumažėja taip pat 1,2 karto.

Palyginus šiuos valymo efektyvumus su efektyvumais, kai plokštelių pasvirimo kampas 30°, matyti, kad keičiant plokštelių pasvirimo kampą, efektyvumas taip pat keičiasi. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, esant mažiausiai koncentracijai (100–125 mg/m³), 6,99 % didesnis efektyvumas gautas esant 30° kampui, o padidinus koncentraciją iki 450–475 mg/m³,

efektyvumas gautas 4,05 % didesnis, nei esant 45° kampui. Tiekiant oro srautą 7 m/s greičiu, kai dulkių koncentracija mažiausia, esant 45° kampui, efektyvumas gautas 2,82 % didesnis nei esant 30° kampui, o kai dulkių koncentracija didžiausia – efektyvumas gautas 3,92 % didesnis esant 30° kampui. Tiekiant orą 10 m/s greičiu, padidinus kampą, esant mažiausiai koncentracijai, efektyvumas padidėjo 3,5 %, o esant didžiausiai koncentracijai – 7,15 %.

3.6 paveiksle pavaizduota nusodinimo kameros efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių koncentracijos, tiekiant medienos pjuvenomis (~100 μm) užterštą oro srautą skirtingais greičiais ir esant 60° nusodinimo plokštelės pasvirimo kampui.



3.6 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo medienos pjuvenų koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 60° plokštelių pasvirimo kampui

Kaip matyti iš grafiko, esant 60° plokštelių pasvirimo kampui, didinant medienos pjuvenų koncentraciją nuo 100–125 mg/m³ iki 450–475 mg/m³, nusodinimo kameros valymo efektyvumas didėja. Ši valymo efektyvumo didėjimo didinant kietųjų dalelių koncentraciją tendencija išlieka tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja nuo 57,20 % iki 72,02 %; t.y. efektyvumas padidėja 14,82 %. Tiekiant orą 7 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja 11,91 %, o esant 10 m/s greičiui – valymo efektyvumas padidėja 8,18 %.

Tačiau, tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais, kinta nusodinimo kameros valymo efektyvumas. Didinant oro srauto greitį, valymo efektyvumas mažėja, nes tiekiant dulkėmis užterštą orą dideliu greičiu, didesnė dalis kietųjų dalelių yra išnešama kartu su oro

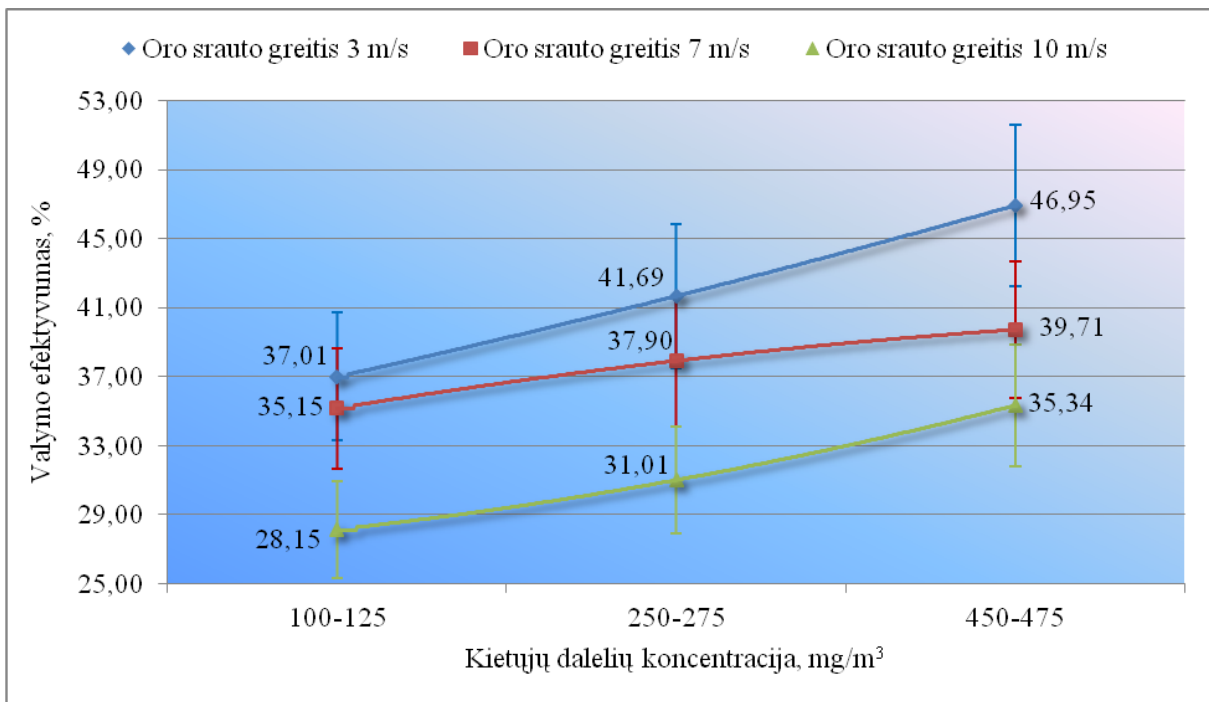
srautu. Kai medienos pjuvenų koncentracija yra 100–125 mg/m³, didžiausias valymo efektyvumas pasiekiamas tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu – jis siekia 57,20 %. Padidinus oro greitį iki 10 m/s – efektyvumas sumažėja 1,2 karto. Kai dulkių koncentracija 250–275 mg/m³ ir 450–475 mg/m³, didinant oro srauto greitį nuo 3 m/s iki 10 m/s, efektyvumas sumažėja atitinkamai 1,2 ir 1,3 karto.

Palyginus nusodinimo kameros valymo efektyvumus esant 3 skirtingiems kampams – 30°, 45° ir 60° (3.4–3.6 pav.), matyti, kad didėjant plokštelių pasvirimo kampui, efektyvumas taip pat didėja. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, didžiausias efektyvumas (64,26 %) gautas esant 30° kampui, o esant 45° ir 60° kampams, efektyvumas gautas beveik toks pat – ~57,20 %. Tačiau padidinus koncentraciją iki 450–475 mg/m³, esant 60° kampui, efektyvumas gautas 1,0 % didesnis, nei esant 30° kampui. Tiekiant oro srautą 7 m/s greičiu, didinant plokštelių pasvirimo kampą, esant 100–125 mg/m³, 250–275 mg/m³ ir 450–475 mg/m³ dulkių koncentracijoms, efektyvumai padidėja atitinkamai 6,01 %, 7,13 % ir 1,24 %, o tiekiant orą 10 m/s greičiu, padidėja atitinkamai 3,73 %, 5,95 % ir 8,13 %.

3.1.3. Nusodinimo kameros efektyvumas, kai oro srautas užterštas biokuro pelenais

Nusodinimo kameros efektyvumas buvo nustatomas į kamerą tiekiant biokuro pelenais užterštą orą. Išmatuota oro srauto temperatūra lygi 18,0 °C.

3.7 paveiksle pavaizduota nusodinimo kameros efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių koncentracijos, tiekiant biokuro pelenais (8–10 µm) užterštą oro srautą skirtingais greičiais ir esant 30° nusodinimo plokštelės pasvirimo kampui.

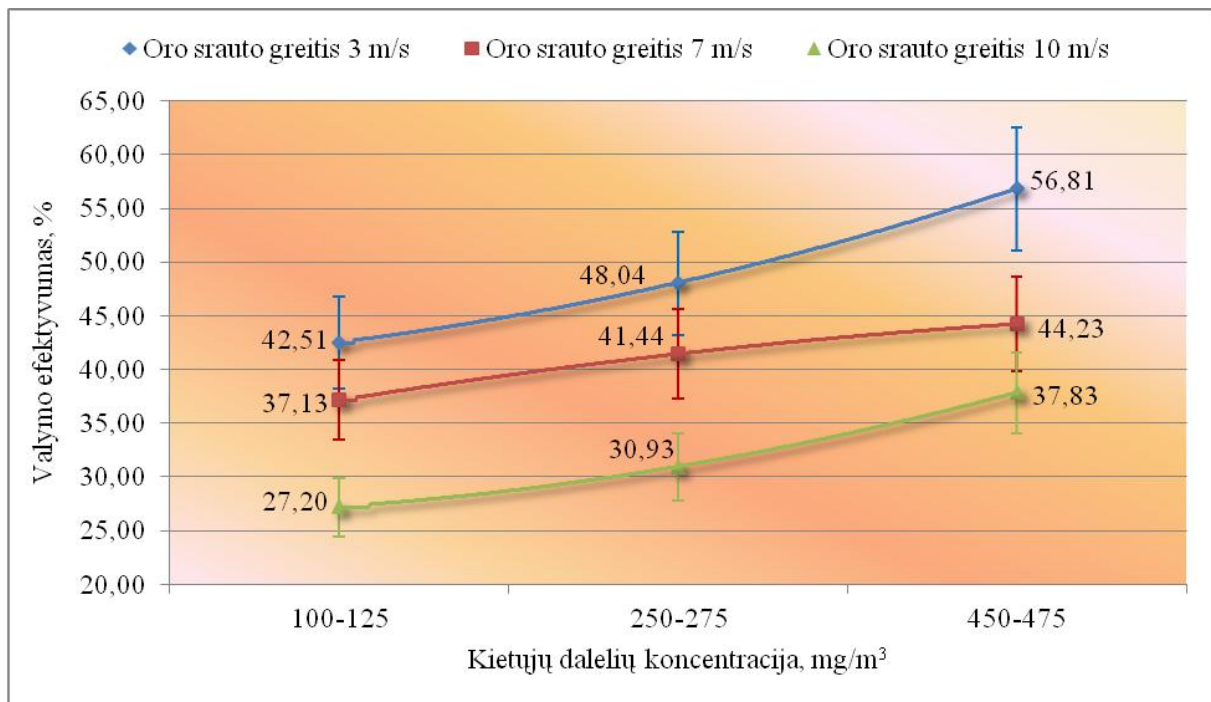


3.7 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo biokuro pelenų koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 30° plokštelių pasvirimo kampui

Kaip matyti iš grafiko, esant 30° plokštelių pasvirimo kampui, didinant biokuro pelenų koncentraciją, nusodinimo kameros valymo efektyvumas didėja. Didžiausi valymo efektyvumai pasiekiami, kai dulkių koncentracija 450–475 mg/m³, o mažiausi – kai koncentracija 100–125 mg/m³. Ta pati valymo efektyvumo didėjimo didinant kietųjų dalelių koncentraciją tendencija išlieka tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja nuo 37,01 % iki 46,95 %; t.y. efektyvumas padidėja 9,94 %. Tiekiant orą 7 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja 4,56 %, o esant 10 m/s greičiui – valymo efektyvumas padidėja 7,19 %.

Tačiau, tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais, kinta nusodinimo kameros valymo efektyvumas. Didinant oro srauto greitį, valymo efektyvumas mažėja, nes tiekiant dulkėmis užterštą orą dideliu greičiu, didesnė dalis kietųjų dalelių yra išnešama kartu su oro srautu. Kai biokuro pelenų koncentracija yra 100–125 mg/m³, didžiausias valymo efektyvumas pasiekiamas tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu – jis siekia 37,01 %. Padidinus oro greitį iki 10 m/s – efektyvumas sumažėja 1,3 karto. Kai dulkių koncentracija 250–275 mg/m³ ir 450–475 mg/m³, didinant oro srauto greitį nuo 3 m/s iki 10 m/s, efektyvumas sumažėja taip pat 1,3 karto.

3.8 paveiksle pavaizduota nusodinimo kameros efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių koncentracijos, tiekiant biokuro pelenais (8–10 µm) užterštą oro srautą skirtingais greičiais ir esant 45° nusodinimo plokštelės pasvirimo kampui.



3.8 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo biokuro pelenų koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 45° plokštelių pasvirimo kampui

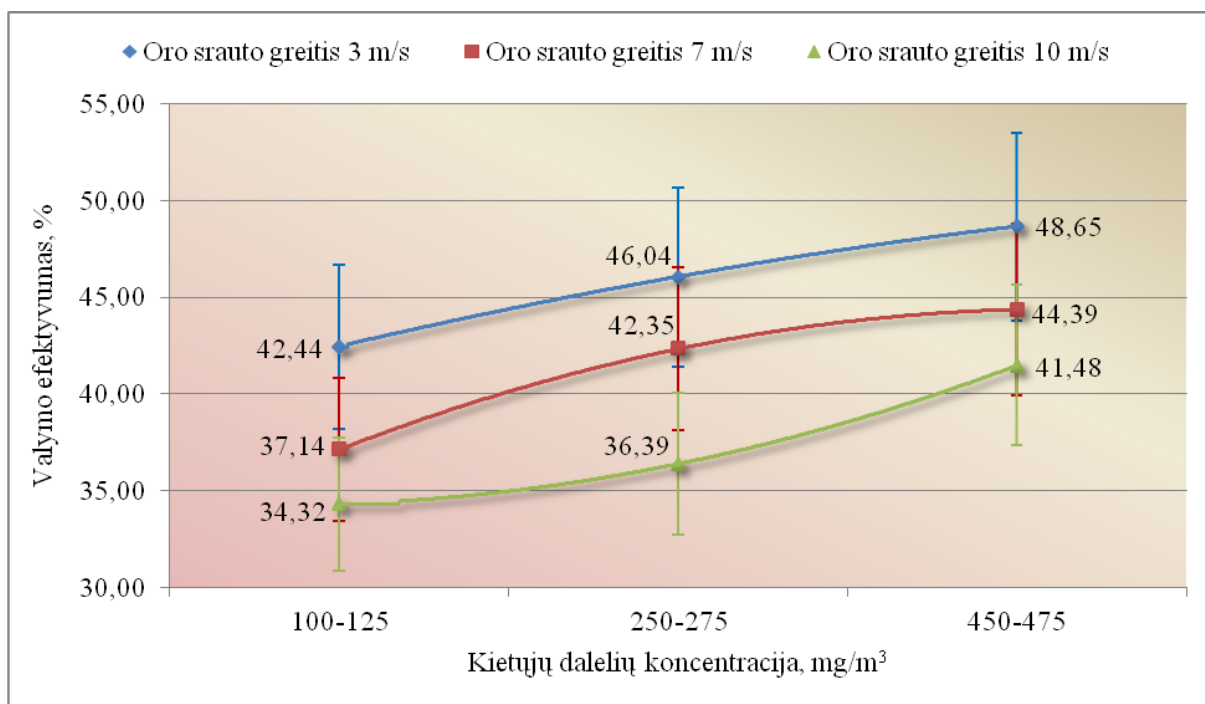
Kaip matyti iš grafiko, esant 45° plokštelių pasvirimo kampui, didinant biokuro pelenų koncentraciją nuo 100–125 mg/m³ iki 450–475 mg/m³, nusodinimo kameros valymo efektyvumas didėja. Ši valymo efektyvumo didėjimo didinant kietųjų dalelių koncentraciją tendencija išlieka tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja nuo 42,51 % iki 56,81 %; t.y. efektyvumas padidėja 14,30 %. Tiekiant orą 7 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja 7,10 %, o esant 10 m/s greičiui – valymo efektyvumas padidėja 10,63 %.

Tačiau, tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais, kinta nusodinimo kameros valymo efektyvumas. Didinant oro srauto greitį, valymo efektyvumas mažėja, nes tiekiant dulkėmis užterštą orą dideliu greičiu, didesnė dalis kietųjų dalelių yra išnešama kartu su oro srautu. Kai biokuro pelenų koncentracija yra 100–125 mg/m³, didžiausias valymo efektyvumas pasiekiamas tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu – jis siekia 42,51 %. Padidinus oro greitį iki 10 m/s – efektyvumas sumažėja 1,6 karto. Kai dulkių koncentracija 250–275 mg/m³ ir 450–475 mg/m³, didinant oro srauto greitį nuo 3 m/s iki 10 m/s, efektyvumas sumažėja atitinkamai 1,6 ir 1,5 karto.

Palyginus šiuos valymo efektyvumus su efektyvumais, kai plokštelių pasvirimo kampas 30°, matyti, kad keičiant plokštelių pasvirimo kampą, efektyvumas taip pat keičiasi. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, tiek esant mažiausiai koncentracijai (100–125 mg/m³), tiek padidinus koncentraciją iki 450–475 mg/m³, didesnis efektyvumas gautas esant 45° kampui, kuris

padidėja atitinkamai 5,5 % ir 9,86 %. Tiekiant orą 7 m/s greičiu, padidinus kampą, esant mažiausiai koncentracijai, efektyvumas padidėjo 1,98 %, o esant didžiausiai koncentracijai – 4,52 %. Tiekiant oro srautą 10 m/s greičiu, kai dulkių koncentracija mažiausia, esant 30° kampui, efektyvumas gautas 0,95 % didesnis nei esant 45° kampui, o kai dulkių koncentracija didžiausia – efektyvumas gautas 2,49 % didesnis esant 45° kampui.

3.9 paveiksle pavaizduota nusodinimo kameros efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių koncentracijos, tiekiant biokuro pelenais (8–10 μm) užterštą oro srautą skirtingais greičiais ir esant 60° nusodinimo plokštelės pasvirimo kampui.



3.9 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo biokuro pelenų koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 60° plokštelių pasvirimo kampui

Kaip matyti iš grafiko, esant 60° plokštelių pasvirimo kampui, didinant biokuro pelenų koncentraciją nuo 100–125 mg/m^3 iki 450–475 mg/m^3 , nusodinimo kameros valymo efektyvumas didėja. Ši valymo efektyvumo didėjimo didinant kietųjų dalelių koncentraciją tendencija išlieka tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja nuo 42,44 % iki 48,65 %; t.y. efektyvumas padidėja 6,21 %. Tiekiant orą 7 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja 7,25 %, o esant 10 m/s greičiui – valymo efektyvumas padidėja 7,16 %.

Tačiau, tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais, kinta nusodinimo kameros valymo efektyvumas. Didinant oro srauto greitį, valymo efektyvumas mažėja, nes tiekiant dulkėmis užterštą orą dideliu greičiu, didesnė dalis kietųjų dalelių yra išnešama kartu su oro

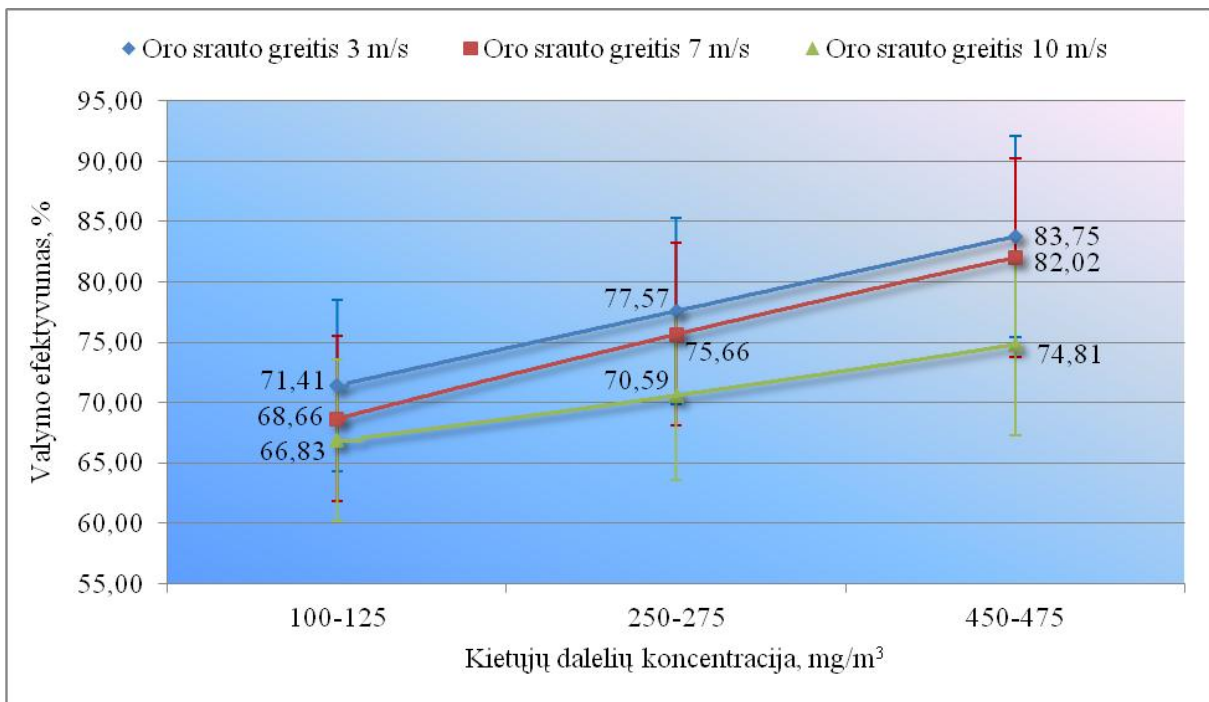
srautu. Kai biokuro pelenų koncentracija yra 100–125 mg/m³, didžiausias valymo efektyvumas pasiekiamas tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu – jis siekia 42,44 %. Padidinus oro greitį iki 10 m/s – efektyvumas sumažėja 1,2 karto. Kai dulkių koncentracija 250–275 mg/m³ ir 450–475 mg/m³, didinant oro srauto greitį nuo 3 m/s iki 10 m/s, efektyvumas sumažėja atitinkamai 1,3 ir 1,2 karto.

Palyginus nusodinimo kameros valymo efektyvumus esant 3 skirtingiems kampams – 30°, 45° ir 60° (3.7–3.9 pav.), matyti, kad didėjant plokštelių pasvirimo kampui, efektyvumas taip pat didėja. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, mažiausias efektyvumas (37,01 %) gautas esant 30° kampui, o esant 45° ir 60° kampams, efektyvumas gautas beveik toks pat – ~ 42,50 %. Tačiau padidinus koncentraciją iki 450–475 mg/m³, esant 60° kampui, efektyvumas gautas 8,16 % mažesnis, nei esant 45° kampui ir 1,7 % didesnis nei esant 30° kampui. Tiekiant oro srautą 7 m/s greičiu, didinant plokštelių pasvirimo kampą, esant 100–125 mg/m³, 250–275 mg/m³ ir 450–475 mg/m³ dulkių koncentracijoms, efektyvumai padidėja atitinkamai 1,99 %, 4,45 % ir 4,68 %, o tiekiant orą 10 m/s greičiu, padidėja atitinkamai 6,17 %, 5,38 % ir 6,14 %.

3.1.4. Nusodinimo kameros efektyvumas, kai oro srautas užterštas kvarcinio smėlio dulkėmis

Nusodinimo kameros efektyvumas buvo nustatomas į kamerą tiekiant kvarcinio smėlio dulkėmis užterštą orą. Išmatuota oro srauto temperatūra lygi 18,5 °C.

3.10 paveiksle pavaizduota nusodinimo kameros efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių koncentracijos, tiekiant kvarcinio smėlio dulkėmis (10–50 µm) užterštą oro srautą skirtingais greičiais ir esant 30° nusodinimo plokštelės pasvirimo kampui.

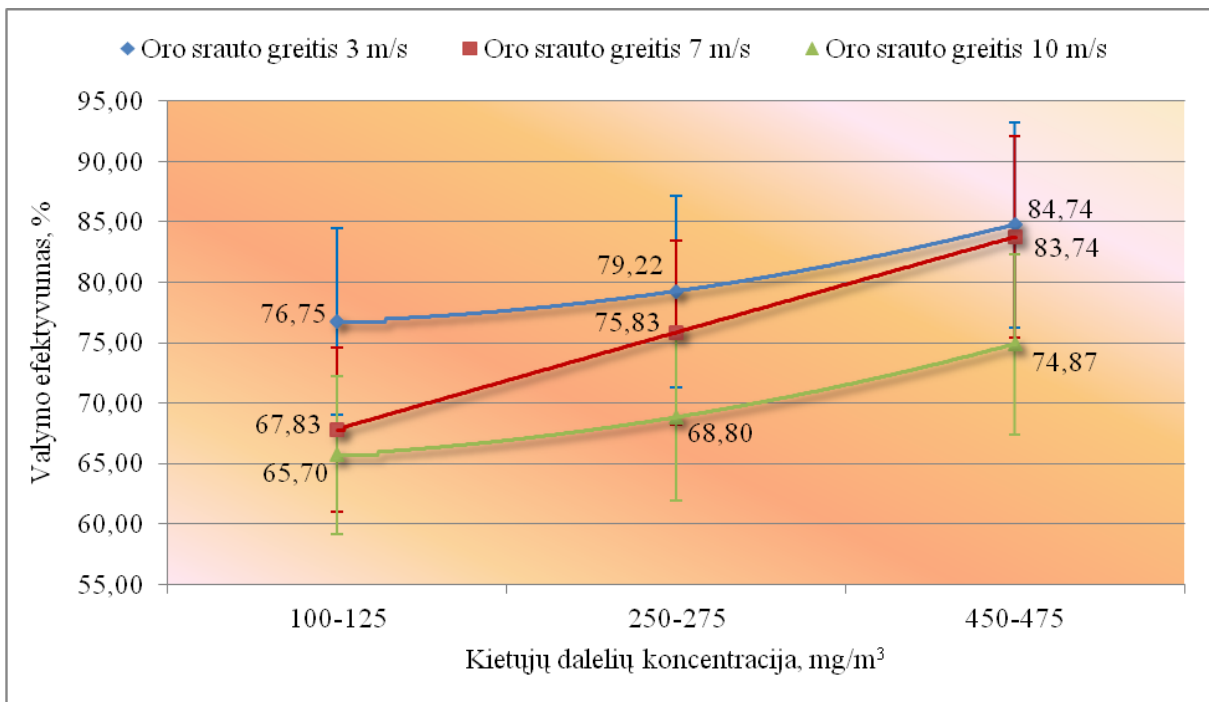


3.10 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo kvarcinio smėlio dulkių koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 30° plokštelių pasvirimo kampui

Kaip matyti iš grafiko, esant 30° plokštelių pasvirimo kampui, didinant kvarcinio smėlio dulkių koncentraciją, nusodinimo kameros valymo efektyvumas didėja. Didžiausi valymo efektyvumai pasiekiami, kai dulkių koncentracija 450–475 mg/m³, o mažiausi – kai koncentracija 100–125 mg/m³. Ta pati valymo efektyvumo didėjimo didinant kietųjų dalelių koncentraciją tendencija išlieka tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja nuo 71,41 % iki 83,75 %; t.y. efektyvumas padidėja 12,34 %. Tiekiant orą 7 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja 13,36 %, o esant 10 m/s greičiui – valymo efektyvumas padidėja 7,98 %.

Tačiau, tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais, kinta nusodinimo kameros valymo efektyvumas. Didinant oro srauto greitį, valymo efektyvumas mažėja, nes tiekiant dulkėmis užterštą orą dideliu greičiu, didesnė dalis kietųjų dalelių yra išnešama kartu su oro srautu. Kai kvarcinio smėlio dulkių koncentracija yra 100–125 mg/m³, didžiausias valymo efektyvumas pasiekiamas tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu – jis siekia 71,41 %. Padidinus oro greitį iki 10 m/s – efektyvumas sumažėja 1,1 karto. Kai dulkių koncentracija 250–275 mg/m³ ir 450–475 mg/m³, didinant oro srauto greitį nuo 3 m/s iki 10 m/s, efektyvumas sumažėja taip pat 1,1 karto.

3.11 paveiksle pavaizduota nusodinimo kameros efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių koncentracijos, tiekiant kvarcinio smėlio dulkėmis (10–50 µm) užterštą oro srautą skirtingais greičiais ir esant 45° nusodinimo plokštelės pasvirimo kampui.



3.11 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo kvarcinio smėlio dulkių koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 45° plokštelių pasvirimo kampui

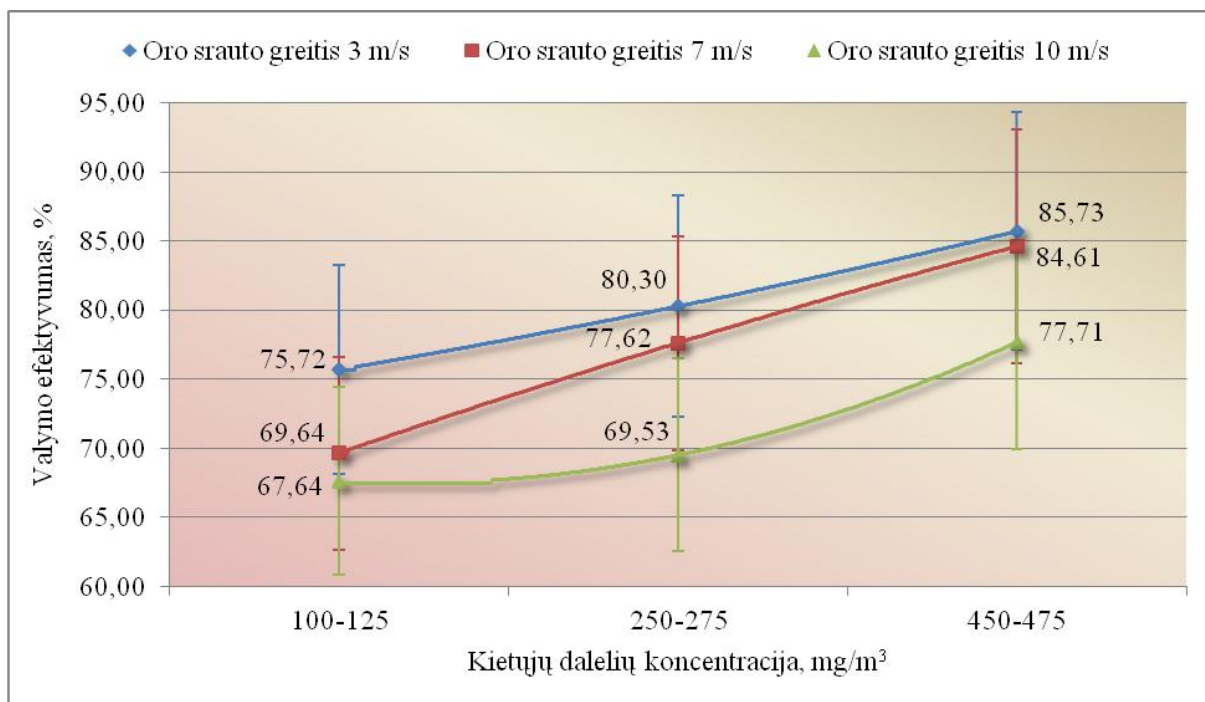
Kaip matyti iš grafiko, esant 45° plokštelių pasvirimo kampui, didinant kvarcinio smėlio dulkių koncentraciją nuo 100–125 mg/m³ iki 450–475 mg/m³, nusodinimo kameros valymo efektyvumas didėja. Ši valymo efektyvumo didėjimo didinant kietųjų dalelių koncentraciją tendencija išlieka tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja nuo 76,75 % iki 84,74 %; t.y. efektyvumas padidėja 7,99 %. Tiekiant orą 7 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja 15,91 %, o esant 10 m/s greičiui – valymo efektyvumas padidėja 9,17 %.

Tačiau, tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais, kinta nusodinimo kameros valymo efektyvumas. Didinant oro srauto greitį, valymo efektyvumas mažėja, nes tiekiant dulkėmis užterštą orą dideliu greičiu, didesnė dalis kietųjų dalelių yra išnešama kartu su oro srautu. Kai kvarcinio smėlio dulkių koncentracija yra 100–125 mg/m³, didžiausias valymo efektyvumas pasiekiamas tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu – jis siekia 76,75 %. Padidinus oro greitį iki 10 m/s – efektyvumas sumažėja 1,2 karto. Kai dulkių koncentracija 250–275 mg/m³ ir 450–475 mg/m³, didinant oro srauto greitį nuo 3 m/s iki 10 m/s, efektyvumas sumažėja atitinkamai 1,2 ir 1,1 karto.

Palyginus šiuos valymo efektyvumus su efektyvumais, kai plokštelių pasvirimo kampas 30°, matyti, kad keičiant plokštelių pasvirimo kampą, efektyvumas taip pat keičiasi. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, tiek esant mažiausiai koncentracijai (100–125 mg/m³), tiek padidinus koncentraciją iki 450–475 mg/m³, didesnis efektyvumas gautas esant 45° kampui, kuris

padidėja atitinkamai 5,34 % ir 0,99 %. Tiekiant oro srautą 7 m/s greičiu, kai dulkių koncentracija mažiausia, esant 30° kampui, efektyvumas gautas 0,83 % didesnis nei esant 45° kampui, o kai dulkių koncentracija didžiausia – efektyvumas gautas 1,72 % didesnis esant 45° kampui. Tiekiant oro srautą 10 m/s greičiu, kai dulkių koncentracija mažiausia, esant 30° kampui, efektyvumas gautas 1,13 % didesnis nei esant 45° kampui, o kai dulkių koncentracija didžiausia – abiem atvejais efektyvumas gautas panašus: ~ 74,85 %.

3.12 paveiksle pavaizduota nusodinimo kameros efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių koncentracijos, tiekiant kvarcinio smėlio dulkėmis (10–50 μm) užterštą oro srautą skirtingais greičiais ir esant 60° nusodinimo plokštelės pasvirimo kampui.



3.12 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo kvarcinio smėlio dulkių koncentracijos ir oro srauto judėjimo greičio, esant 60° plokštelių pasvirimo kampui

Kaip matyti iš grafiko, esant 60° plokštelių pasvirimo kampui, didinant kvarcinio smėlio dulkių koncentraciją nuo 100–125 mg/m^3 iki 450–475 mg/m^3 , nusodinimo kameros valymo efektyvumas didėja. Ši valymo efektyvumo didėjimo didinant kietųjų dalelių koncentraciją tendencija išlieka tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja nuo 75,72 % iki 85,73 %; t.y. efektyvumas padidėja 10,01 %. Tiekiant orą 7 m/s greičiu, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, valymo efektyvumas padidėja 14,97 %, o esant 10 m/s greičiui – valymo efektyvumas padidėja 10,07 %.

Tačiau, tiekiant užterštą oro srautą skirtingais greičiais, kinta nusodinimo kameros valymo efektyvumas. Didinant oro srauto greitį, valymo efektyvumas mažėja, nes tiekiant

dulkėmis užterštą orą dideliu greičiu, didesnė dalis kietųjų dalelių yra išnešama kartu su oro srautu. Kai kvarcinio smėlio dulkių koncentracija yra 100–125 mg/m³, didžiausias valymo efektyvumas pasiekiamas tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu – jis siekia 75,72 %. Padidinus oro greitį iki 10 m/s – efektyvumas sumažėja 1,1 karto. Kai dulkių koncentracija 250–275 mg/m³ ir 450–475 mg/m³, didinant oro srauto greitį nuo 3 m/s iki 10 m/s, efektyvumas sumažėja atitinkamai 1,2 ir 1,1 karto.

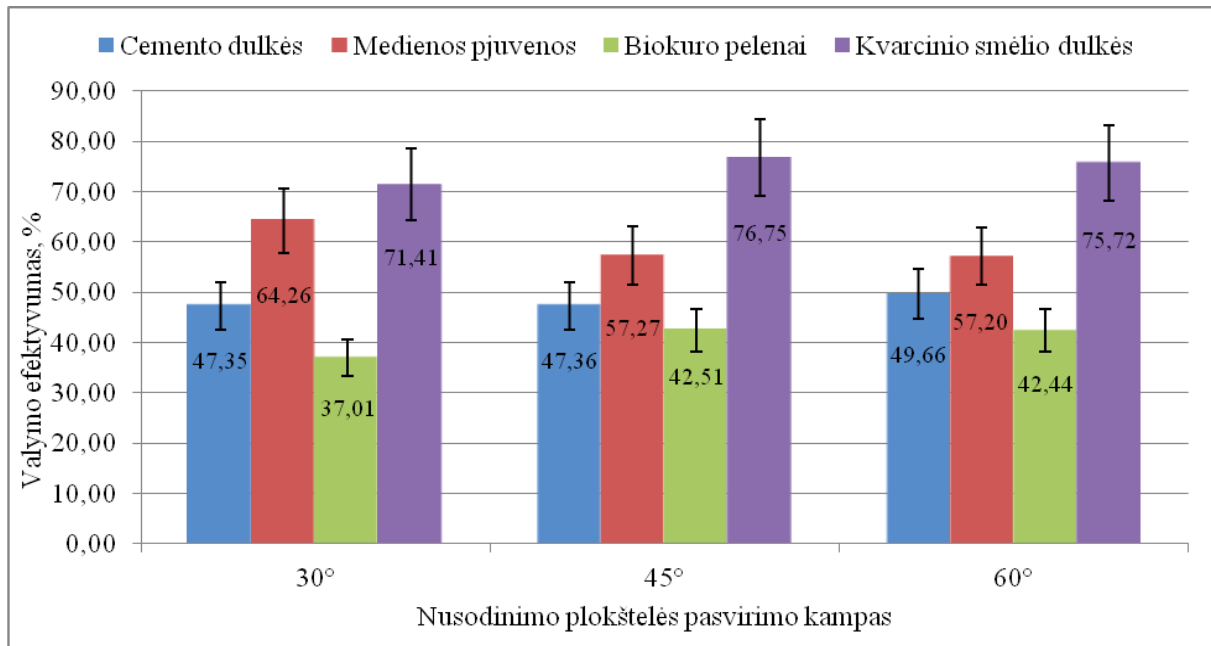
Palyginus nusodinimo kameros valymo efektyvumus esant 3 skirtingiems kampams – 30°, 45° ir 60° (3.7–3.9 pav.), matyti, kad didėjant plokštelių pasvirimo kampui, efektyvumas taip pat didėja. Tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, mažiausias efektyvumas (71,41 %) gautas esant 30° kampui, o didžiausias (76,75 %) – esant 45° kampui. Tačiau padidinus koncentraciją iki 450–475 mg/m³, esant 60° kampui, efektyvumas gautas 1,98 % didesnis, nei esant 30° kampui. Tiekiant oro srautą 7 m/s greičiu, didinant plokštelių pasvirimo kampą, esant 100–125 mg/m³, 250–275 mg/m³ ir 450–475 mg/m³ dulkių koncentracijoms, efektyvumai padidėja atitinkamai 0,98 %, 1,96 % ir 2,59 %. Tiekiant orą 10 m/s greičiu, didinant plokštelių pasvirimo kampą, esant koncentracijoms 100–125 mg/m³ ir 450–475 mg/m³ efektyvumas padidėja atitinkamai 0,81 % ir 2,9 %, o esant 250–275 mg/m³ dulkių koncentracijai, efektyvumas sumažėja 1,06 %.

Iš gautų rezultatų analizės, matyti, kad nusodinimo kameros efektyvumas labiausiai priklauso nuo šalinamų dalelių dydžio bei oro srauto judėjimo greičio. Mažėjant oro srauto greičiui ir didėjant nusodinamų dalelių dydžiui, efektyvumas didėja.

3.1.5. Nusodinimo kameros efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių prigimtės

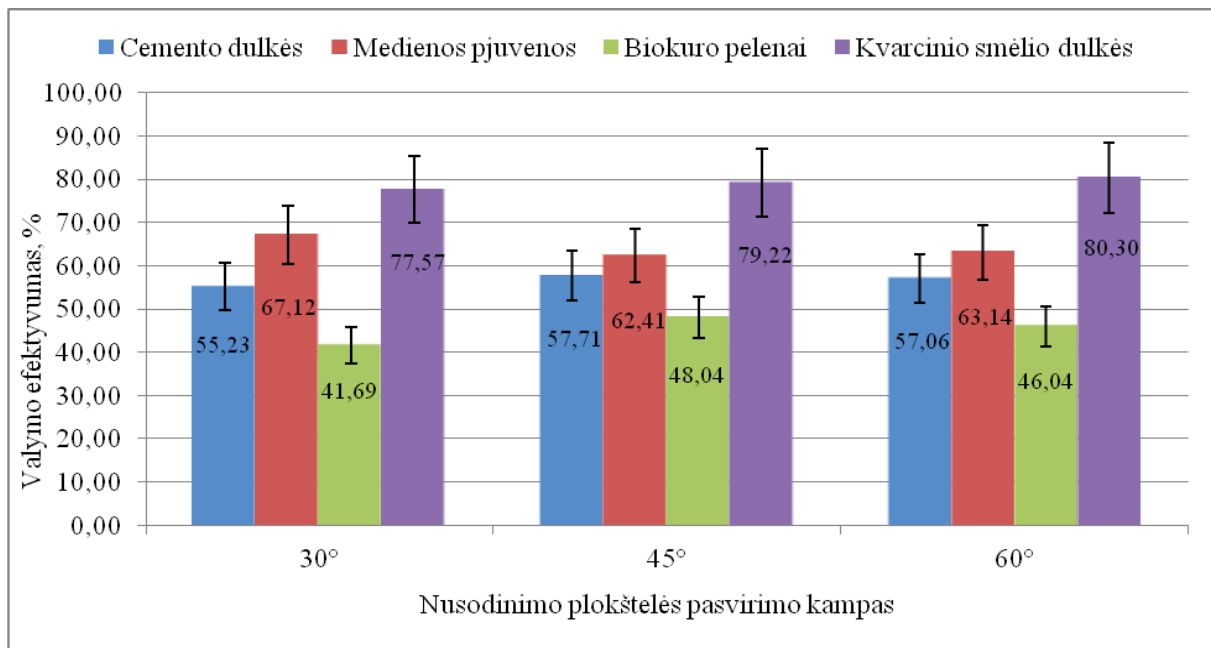
Eksperimentinių tyrimų metu buvo atliekami bandymai su skirtingomis medžiagomis – cemento dulkėmis, medienos pjuvenomis, biokuro pelenais ir kvarcinio smėlio dulkėmis. Buvo nustatomas nusodinimo kameros efektyvumas šalinant šias skirtingas medžiagas. Taip pat eksperimentinių tyrimų metu buvo keičiamas nusodinimo plokštelių kampas – 30°, 45°, 60°. Šioje dalyje palyginami nusodinimo kameros efektyvumai su skirtingomis medžiagomis. Tyrimai buvo atlikti tiekiant orą skirtingu greičiu – 3 m/s, 7 m/s ir 10 m/s. Kadangi iš aukščiau pateiktos rezultatų analizės matyti, kad esant visiems 3 greičiams, didinant kietųjų dalelių koncentraciją, efektyvumai taip pat didėja, todėl palyginimui pasirinkta valymo efektyvumai, gauti leidžiant oro srautą 3 m/s greičiu. Atliekant bandymus su šiuo greičiu, šalinant skirtingas tiriamąsias medžiagas, efektyvumai gauti didžiausi.

3.13–3.15 paveiksluose pateikta nusodinimo kameros efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių prigimties ir plokštelių pasvirimo kampo, esant skirtingoms pradinėms kietųjų dalelių koncentracijoms – 100–125 mg/m³, 250–275 mg/m³ ir 450–475 mg/m³.



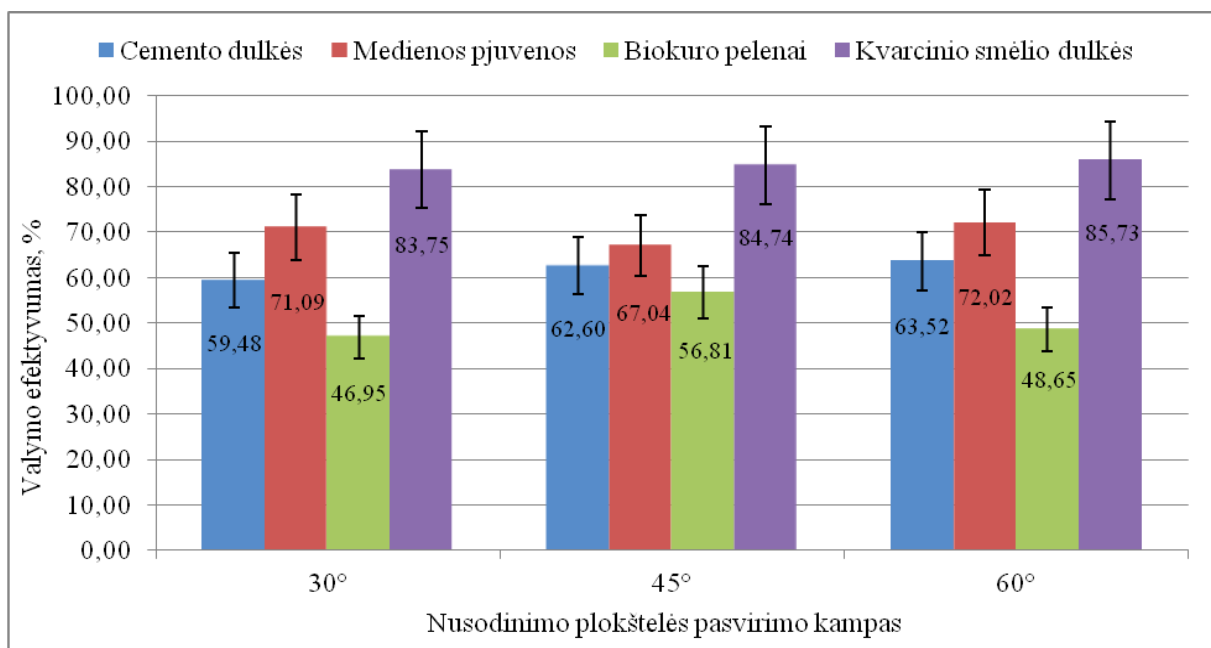
3.13 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių prigimties, kai pradinė kietųjų dalelių koncentracija 100–125 mg/m³

Iš pateikto grafiko matyti, kad esant pradinei dulkių dalelių koncentracijai 100–125 mg/m³, nusodinimo kameros valymo efektyvumas gautas didžiausias šalinant kvarcinio smėlio dulkes, o mažiausias – biokuro pelenus. Esant 30°, 45° ir 60° nusodinimo plokštelės pasvirimo kampui, kvarcinio smėlio dulkių šalinimo efektyvumas atitinkamai 34,40 %, 34,24 % ir 33,28 % didesnis už valymo efektyvumą, kai šalinami biokuro pelenai.



3.14 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių prigimtės, kai pradinė kietųjų dalelių koncentracija 250–275 mg/m³

Iš pateikto grafiko matyti, kad esant pradinei dulkių dalelių koncentracijai 250–275 mg/m³, nusodinimo kameros valymo efektyvumas gautas didžiausias šalinant kvarcinio smėlio dulkes, o mažiausias – biokuro pelenus. Esant 30°, 45° ir 60° nusodinimo plokštelės pasvirimo kampui, kvarcinio smėlio dulkių šalinimo efektyvumas atitinkamai 35,88 %, 31,18 % ir 34,26 % didesnis už valymo efektyvumą, kai šalinami biokuro pelenai.



3.15 pav. Valymo efektyvumo priklausomybė nuo kietųjų dalelių prigimtės, kai pradinė kietųjų dalelių koncentracija 450–475 mg/m³

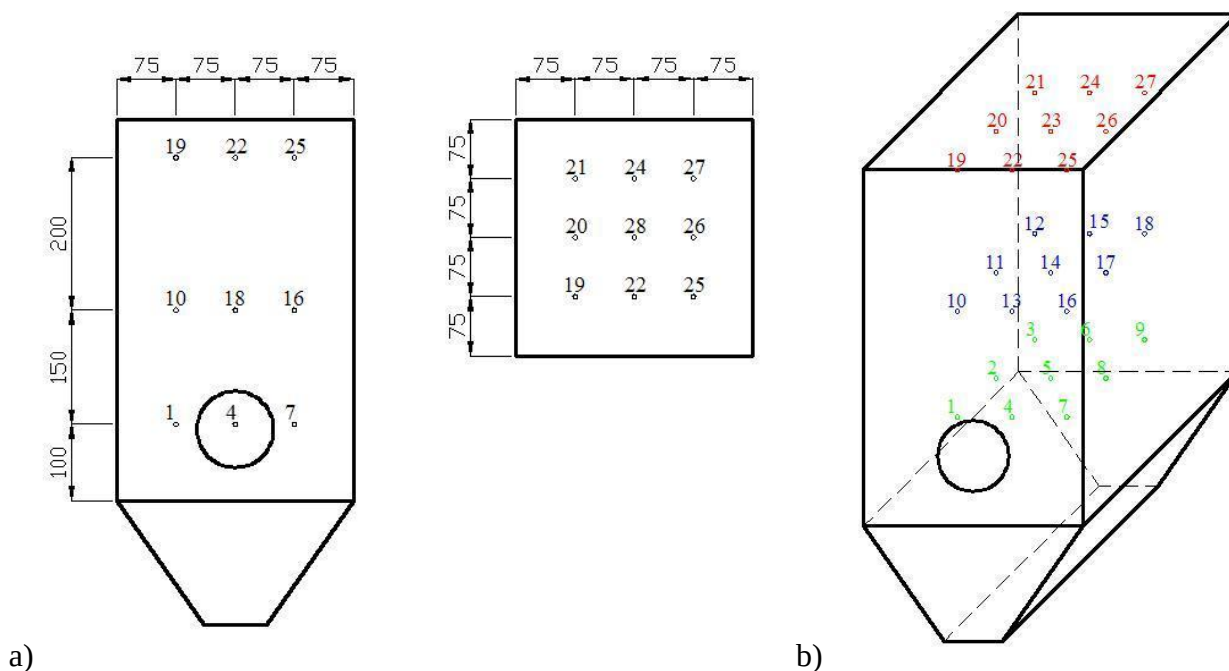
Iš pateikto grafiko matyti, kad esant pradinei dulkių dalelių koncentracijai 450–475 mg/m^3 , nusodinimo kameros valymo efektyvumas gautas didžiausias šalinant kvarcinio smėlio dulkes, o mažiausias – biokuro pelenus. Esant 30°, 45° ir 60° nusodinimo plokštelės pasvirimo kampui, kvarcinio smėlio dulkių šalinimo efektyvumas atitinkamai 36,80 %, 27,93 % ir 37,08 % didesnis už valymo efektyvumą, kai šalinami biokuro pelenai.

Kvarcinio smėlio dulkių dalelės yra didesnės (10–50 μm) ir sunkesnės, todėl valymo efektyvumai su šiomis dulkėmis gauti didžiausi – net 85,73 %. Šiuo atveju biokuro pelenai (8–10 μm) yra mažiausios dispersijos ir lengviausios dalelės, todėl jų šalinimo efektyvumai yra mažiausi – nuo 37,01 % iki 56,81 %. Cemento dulkių dalelės taip pat yra labai mažos (5–30 μm), tačiau jos yra sunkesnės už biokuro pelenus ar medienos pjuvenas. Todėl valymo efektyvumas didesnis šalinant cemento dulkes, nei šalinant biokuro pelenus.

Iš atliktos analizės matyti, kad suprojektuotas pirminio oro valymo įrenginys – nusodinimo kamera, efektyviausiai veikia, kai plokštelių pasvirimo kampas yra 60° ir kai šalinamos kvarcinio smėlio dulkės.

3.2. Oro srauto greičiai kameros viduje

Ekspperimentinių tyrimų metu buvo matuojamas oro srauto greitis kameros viduje 27 taškuose. Matavimų tikslas – išsiaiškinti, kaip pasiskirsto oro srauto greičiai kameros viduje, keičiant plokštelių pasvirimo kampą. Greičiai buvo matuojami su „Testo 400“. Matavimo taškai pavaizduoti 3.16 paveiksle.



3.16 pav. Oro srauto greičių kameros viduje matavimo taškai: a) vaizdas iš priekio ir iš viršaus; b) bendras vaizdas: žalia spalva pavaizduoti matavimo taškai kameros apačioje, mėlyna – kameros viduryje, raudona – kameros viršuje

Oro srauto greičiai kameros viduje buvo matuojami tiekiant orą 7 m/s pradiniu greičiu. Oro srauto greičiui nusistovėjus užfiksuojamas rezultatas. Greičiai kiekviename taške buvo matuojami 3 kartus ir iš jų išvestas vidurkis.

Pirmuoju bandymu buvo matuojami oro srauto greičiai, kai plokštelių pasvirimo kampas 30°. Matavimų rezultatai pateikti 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Oro srauto greičiai, kai plokštelių pasvirimo kampas 30°

Matavimų skaičius	Oro srauto greitis, m/s	Matavimų skaičius	Oro srauto greitis, m/s	Matavimų skaičius	Oro srauto greitis, m/s
1	2,2	10	0,6	19	0,9
2	2,4	11	1,0	20	1,6
3	2,5	12	2,3	21	1,8
4	6,6	13	0,7	22	1,1
5	5,9	14	0,7	23	1,8
6	4,4	15	2,5	24	1,6
7	3,5	16	0,7	25	1,2
8	3,2	17	1,6	26	2,0
9	2,9	18	3,0	27	2,1

Iš pateiktų matavimo rezultatų matyti, koks oro srauto greitis yra atitinkamame taške, o iš to galima numatyti, kaip juda oro srautas kameros viduje esant 30° plokštelių pasvirimo kampui. 4 matavimo taške oro srauto greitis gautas didžiausias – 6,6 m/s, nes šis taškas yra arčiausiai oro įtekėjimo angos. Srautas tekėdamas, atsimuša į kameros galinę sienelę ir į nusodinimo plokšteles ir taip oro tekėjimo greičiai sumažėja iki 2,2–3,5 m/s. Oro srautas kildamas aukštyr atsimuša į aukščiau esančias nusodinimo plokšteles ir dar labiau sulėtėja. Kameros viduryje vyrauja greičiai nuo 0,6 m/s iki 3,0 m/s. Artėdamas prie ištekėjimo angos, oro srautas tampa pastovesnis – vyrauja greičiai nuo 0,9 m/s iki 2,1 m/s.

Antruoju bandymu buvo matuojami oro srauto greičiai, kai plokštelių pasvirimo kampas 45°. Matavimų rezultatai pateikti 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Oro srauto greičiai, kai plokštelių pasvirimo kampas 45°

Matavimų skaičius	Oro srauto greitis, m/s	Matavimų skaičius	Oro srauto greitis, m/s	Matavimų skaičius	Oro srauto greitis, m/s
1	1,5	10	0,6	19	1,0
2	1,9	11	0,5	20	1,5
3	2,4	12	1,5	21	1,5
4	6,5	13	0,6	22	1,5
5	6,0	14	0,6	23	2,0
6	4,4	15	1,4	24	1,1
7	2,0	16	0,7	25	1,5
8	2,5	17	0,7	26	1,9
9	2,7	18	1,9	27	1,3

Iš pateiktų matavimo rezultatų matyti, koks oro srauto greitis yra atitinkamame taške, o iš to galima numatyti, kaip juda oro srautas kameros viduje esant 45° plokštelių pasvirimo kampui. Oro srauto greitis didžiausias gautas 4 matavimo taške – 6,5 m/s, nes šis taškas yra arčiausiai oro įtekėjimo angos. Srautas tekėdamas, atsimuša į kameros galinę sienelę ir į nusodinimo plokšteles ir taip oro tekėjimo greičiai sumažėja iki 1,5–2,7 m/s. Oro srautas kildamas aukštyje atsimuša į aukščiau esančias nusodinimo plokšteles ir dar labiau sulėtėja. Kameros viduryje vyrauja greičiai nuo 0,5 m/s iki 1,9 m/s. Artėdamas prie ištekėjimo angos, oro srautas tampa pastovesnis – vyrauja greičiai nuo 1,0 m/s iki 2,0 m/s.

Trečiuoju bandymu buvo matuojami oro srauto greičiai, kai plokštelių pasvirimo kampas 60° . Matavimų rezultatai pateikti 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Oro srauto greičiai, kai plokštelių pasvirimo kampas 60°

Matavimų skaičius	Oro srauto greitis, m/s	Matavimų skaičius	Oro srauto greitis, m/s	Matavimų skaičius	Oro srauto greitis, m/s
1	1,7	10	0,9	19	1,5
2	2,2	11	1,2	20	1,8
3	2,3	12	2,3	21	1,9
4	6,9	13	0,7	22	2,2
5	6,1	14	0,6	23	3,0
6	4,5	15	2,0	24	2,3
7	2,7	16	0,8	25	2,1
8	3,2	17	1,4	26	2,5
9	3,0	18	2,6	27	1,8

Iš pateiktų matavimo rezultatų matyti, koks oro srauto greitis yra atitinkamame taške, o iš to galima numatyti, kaip juda oro srautas kameros viduje esant 60° plokštelių pasvirimo kampui. Oro srauto greitis didžiausias gautas 4 matavimo taške – 6,9 m/s, nes šis taškas yra arčiausiai oro įtekėjimo angos. Srautas tekėdamas, atsimuša į kameros galinę sienelę ir į nusodinimo plokšteles ir taip oro tekėjimo greičiai sumažėja iki 1,7–3,2 m/s. Oro srautas kildamas aukštyje atsimuša į aukščiau esančias nusodinimo plokšteles ir dar labiau sulėtėja. Kameros viduryje vyrauja greičiai nuo 0,6 m/s iki 2,6 m/s. Prie ištekėjimo angos oro srauto greitis 3,0 m/s.

Kadangi iš eksperimentinių matavimų sunku nustatyti oro srauto judėjimo trajektoriją nusodinimo kameros viduje esant skirtingiems plokštelių pasvirimo kampams, tai 4 skyriuje atliktas oro srauto judėjimo nusodinimo kameros viduje skaitinis modeliavimas su „Phoenics“ programa. Modeliavimo metu gauti duomenys palyginami su eksperimentinių matavimų duomenimis.

3.3. Išvados

1. Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami su 4 skirtingomis medžiagomis – cemento dulkėmis, medienos pjuvenomis, biokuro pelenais ir kvarcinio smėlio dulkėmis. Pradinės šių tiriamųjų medžiagų koncentracijos – $100\text{--}125\text{ mg/m}^3$, $250\text{--}275\text{ mg/m}^3$ ir $450\text{--}475\text{ mg/m}^3$.

2. Nustatant nusodinimo kameros efektyvumą su skirtingomis medžiagomis, buvo keičiamas nusodinimo plokštelių pasvirimo kampas – 30° , 45° ir 60° bei tiekiamo oro srauto greitis – 3 m/s, 7 m/s ir 10 m/s.

3. Esant skirtingiems plokštelių pasvirimo kampams, didinant dulkių koncentraciją, nusodinimo kameros valymo efektyvumas didėja. Didžiausi valymo efektyvumai pasiekiami, kai dulkių koncentracija $450\text{--}475\text{ mg/m}^3$, o mažiausi – kai koncentracija $100\text{--}125\text{ mg/m}^3$.

4. Didinant oro srauto greitį, nusodinimo kameros valymo efektyvumas mažėja. Didžiausias valymo efektyvumas gautas tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, o mažiausias – tiekiant orą 10 m/s greičiu.

5. Iš atliktų eksperimentinių tyrimų matyti, kad suprojektuotas pirminio oro valymo įrenginys – nusodinimo kamera, efektyviausiai veikia, kai plokštelių pasvirimo kampas yra 60° ir kai šalinamos kvarcinio smėlio dulkės.

6. Siekiant nustatyti kaip pasiskirsto oro srautas kameros viduje, tyrimų metu buvo matuojamas oro srauto greitis kameros viduje 27 taškuose esant skirtingiems nusodinimo plokštelių kampams. Didžiausi greičiai (6,5–6,9 m/s) gauti ties oro ištekimu anga. Kad būtų aiškiau numatyti oro judėjimo trajektoriją, 4 skyriuje atliekamas oro srauto modeliavimas su „Phoenics“ programa.

4. KIETŲJŲ DALELIŲ PASISKIRSTYMO NUSODINIMO KAMEROJE MODELIAVIMAS

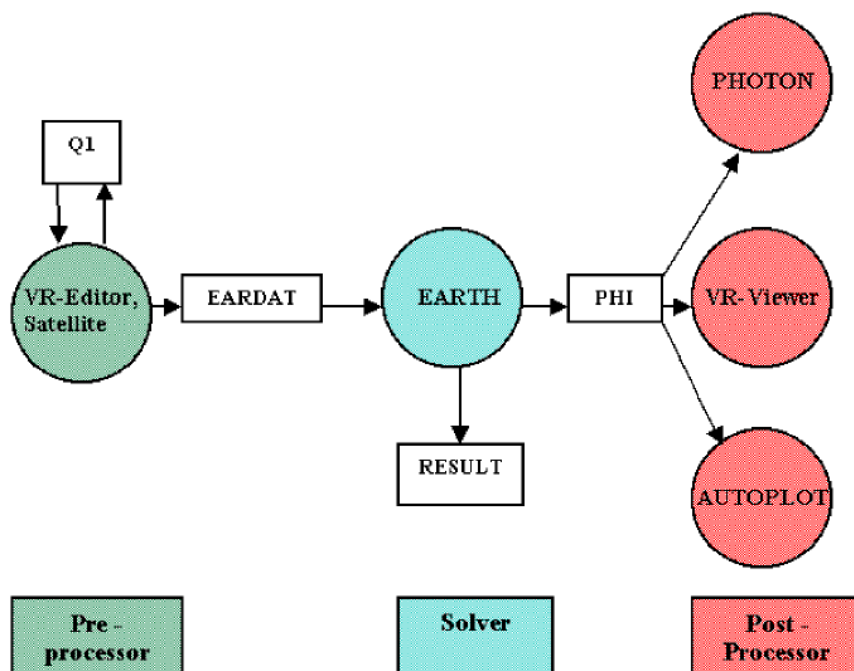
Modeliavimo tikslas – sumodeliuoti oro srauto tekėjimą nusodinimo kameros viduje ir palyginti gautus rezultatus su eksperimentinių tyrimų duomenimis.

Oro srauto tekėjimas nusodinimo kameroje sumodeliuotas kompiuterine programa „Phoenics“ – vienu plačiausiai pasaulyje naudojamu CFD (Computational Fluid Dynamics) programinių paketų.

4.1. Modeliavimo programos aprašymas

„Phoenics“ – tai kompiuteriniai kodai, kurie modeliuoja srautų tekėjimus, šilumos mainus, chemines reakcijas ir susietus su jais procesus. Tokie procesai vyksta daugelyje inžinerinių įrenginių, gamtoje, gyvuosiuose organizmuose. Modeliavimas „Phoenics“ programa palengvina numatyti, suprasti įrenginių veikimą, gamtinius procesus, gyvų organizmų organų funkcijas. Modeliavimą galima atlikti įvairiais aspektais.

„Phoenics“ susideda iš dviejų pagrindinių kompiuterinių kodų ir dviejų papildomų (4.1 pav.).



4.1 pav. Programos „Phoenics“ struktūra (Phoenics...2012)

Pagrindiniai yra priešprocesorius SATELLITE ir procesorius EARTH. Papildomi yra procesorius PHOTON ir atskira savarankiška informacinė programa – POLIS (Phoenix...2012).

„Phoenix“ programa modeliavimas atliekamas fizikinius dėsnius aprašius matematinėmis lygtimis. Modeliavimas apima viso objekto, kuriame vyksta numatytas modeliuoti procesas, sudarymą.

Bet kurį tekėjimą išsamiai aprašo Navje – Stokso ir energijos lygtys. Todėl norėdami gauti fizikinį vaizdą turime spręsti šias lygtis. Tačiau šiuo metu visą Navje – Stokso lygčių sistemą išspręsti neįmanoma. Tai galima atlikti artutiniais metodais, panaudojant šiuolaikinius kompiuterius. Išsamesniam fizikiniam vaizdui gauti į lygčių sistemą būtina įtraukti ir turbulencijos lygtis. Pilnos diferencialinių lygčių sistemos, kurios diskretizuotą versiją sprendžia „Phoenix“, apibendrinta forma yra tokia:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_i \Phi_i) + \text{div} (\vec{v}_i \Phi_i - r_i \Gamma_i \text{grad} \Phi_i) = r_i S_{\Phi_i}; \quad (4.1)$$

čia: t – laikas;

r – fazės i turinė dalis;

ρ_i – fazės i tankis;

Φ_i – fazės i priklausomasis kintamasis (koncentracija, entalpija, momentas masės vienetui, cheminio reagento masės dalis ir kt.);

$\vec{v}_i$ – fazės i greičio vektorius;

Γ_i – kintamojo Φ_i mainų koeficientas;

S_{Φ_i} – srauto narys kintamajam Φ_i .

Iš bendrosios (4.1) tipo lygties galima gauti reikiamą uždaviniui spręsti lygtį arba lygčių sistemą. Pavyzdžiui, fazės nenutrūkstamumo lygtis gaunama vietoje Φ_i įstačius 1:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_i) + \text{div} (\vec{v}_i \rho_i) = r_i S_i; \quad (4.2)$$

čia: S – yra masės šaltinis, t.y. masės įtekėjimas į srautą.

Nagrinėjant vienos fazės judėjimą (4.1) lygtyje išnyksta narys r_i , ir gaunama tokia lygtis:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varphi) + \text{div} (\vec{v} \rho \varphi - \rho \Gamma_\varphi \text{grad} \varphi) = S; \quad (4.3)$$

Jeigu nėra masės šaltinių, tai $S = 0$ ir gauname tokią lygtį:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{v}) = 0; \quad (4.4)$$

Pilnai lygčių sistemai gauti naudojamos ir papildomos lygtys, tokios kaip idealiųjų dujų dėsnis:

$$\rho = \frac{p\mu}{RT}. \quad (4.5)$$

Taip pat naudojamos tokios lygtys kaip difuzijos, šilumos laidumo, skirtingų fazių sąveikos, absorbcijos. Labai svarbi yra lygtis, aprašanti tekėjimą prie sienelių. Atsižvelgiant į sienelių paviršiaus savybes parenkama atitinkama lygtis.

Lygtys sprendžiamos baigtinių skirtumų metodu. Kiekviename tinkelio mazge yra apskaičiuojami visi kintamieji išskyrus greitį. Greičiai skaičiuojami ląstelių centruose. Diferencialinės lygtys yra integruojamos į kiekvienos ląstelės tūrį arba plotą.

Iš nenutrūkstamumo ir judėjimo kiekio tvermės lygčių gaunama lygtis slėgiui apskaičiuoti. Taip pat iš judėjimo kiekio tvermės lygties gaunama artima formulė jungianti slėgio pokytį p' su greičio pokyčiu U' , V' , W' . Įstačius pastarąsias išraiškas į nenutrūkstamumo lygtį apskaičiuojamas slėgio pokytis. Skirtuminės lygtys sprendžiamos išorinių ir vidinių iteracijų metodu. Išorinės iteracijos metu sprendžiama judėjimo kiekio tvermės lygtis ir gaunamas slėgis p^* , kurio pagalba skaičiuojami tarpiniai greičiai U^* , V^* , W^* , kurie dėl slėgio p^* netikslumo neatitinka nenutrūkstamumo lygties, todėl vėliau sprendžiama lygtis atliekanti slėgio korekciją ir vėliau perskaičiuojami visi greičiai.

Toliau sprendžiamos lygtys dėl likusių kintamųjų k , ε , T . Iteracijos kartojamos tol, kol nepasiekiamas reikiamas tikslumas.

Vidinės iteracijos taikomos skirtuminėms lygtims spręsti. Iteracijos metu išilgai kiekvienos tinkelio linijos apskaičiuojami visi kintamieji. Visa lygčių sistema, t.y. diferencialinės lygtys su dalinėmis išvestinėmis sprendžiamos esant atitinkamoms tam tikram uždaviniui charakteringoms ribinėms sąlygoms.

(4.1) lygties paskutinis narys, vadinamas srauto arba šaltinio nariu, gali turėti daug ir gana sudėtingų išraiškų. Pagrindinės jų yra skirtos įvertinti slėgio gradientui, išcentrinei, koriolio jėgai, gravitacijai ir kt. Naudojant „Phoenics“ programą, yra galimybė pasirinkti esamas arba įsivesti savo nuožiūra naujas išraiškas. Tai labai išplečia programų paketo pritaikymų galimybes.

Sprendžiant uždavinį, pritaikytas turbulentinis oro srauto tekėjimo modelis nusodinimo kameroje. Kad būtų galima išspręsti uždavinį, sukurama modeliavimo erdvė. Visa nusodinimo kamera tinkleliu sudalinta į mažas ląsteles, kuriose kompiuteris suskaičiuoja oro slėgį ir greitį pagal Navjė – Stokso lygtis. Navjė – Stokso lygtys – tai diferencialinės fluído (dujų) tekėjimo lygtys. Jose aprašomas srauto dalelės erdvinis judėjimas x , y ir z kryptimis. Paprasčiausiu atveju, pastovaus tankio ir temperatūros fluído (dujų) judėjimas, išreiškiamas trijų lygčių sistema (Dabužinskas 1984):

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 v_x ; \quad (4.6)$$

.....

čia: t – laikas;

x, y, z – skysčio ar dujų dalelės koordinatės;

v – jos greitis (v_x, v_y, v_z – greičio projekcijos į atitinkamas ašis);

X, Y, Z – jėgos projekcijos į atitinkamas ašis;

p – slėgis;

μ – kinematinis klampumas;

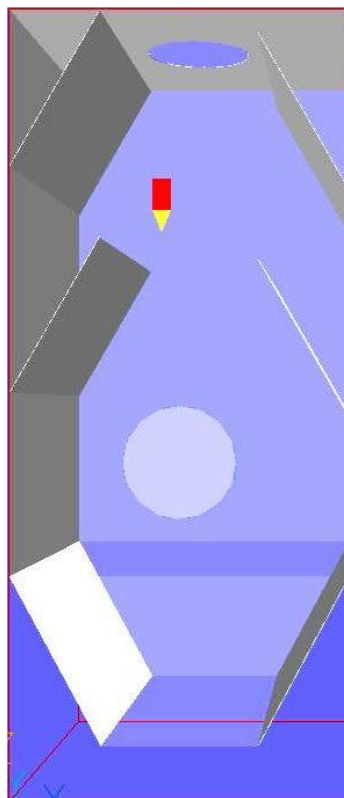
$$\nabla^2 v_x = \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + v \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + v_z \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2}.$$

Kadangi analitinėje formoje šių lygčių sprendiniai negaunami, tai sprendimas galimas tik skaitmeniniu būdu.

4.2. Modeliavimo rezultatų analizė

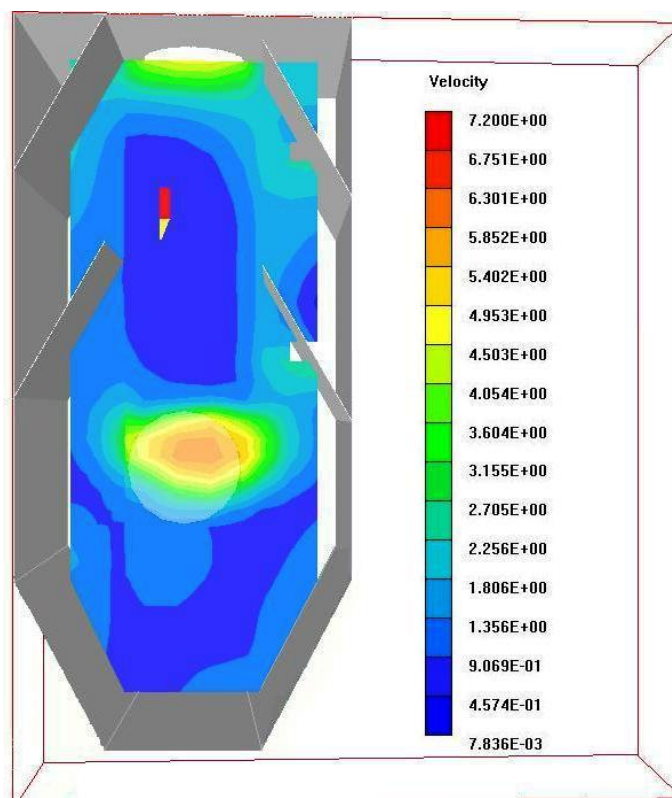
Sukurta nusodinimo kameros forma ir matmenys (4.2 pav.) yra analogiški eksperimentinio tyrimo stendui, su kuriuo buvo atliekami tyrimai. Pradinis oro srauto greitis buvo parinktas toks pat kaip ir eksperimentinių tyrimų metu – 7 m/s.

Modeliavimo uždavinio rezultatai, t.y. srauto greičio pasiskirstymas nusodinimo kameros viduje, esant 30°, 45° ir 60° plokštelių pasvirimo kampams, grafiškai pateikti atitinkamai 4.3–4.8 paveiksluose. Oro srauto greičių pasiskirstymas turi atitikti dulkių dalelių koncentracijų pasiskirstymus. Didesnio greičio zonoje ir dalelių pernešama daugiau.



4.2 pav. Modeliavimo uždavinio erdvė

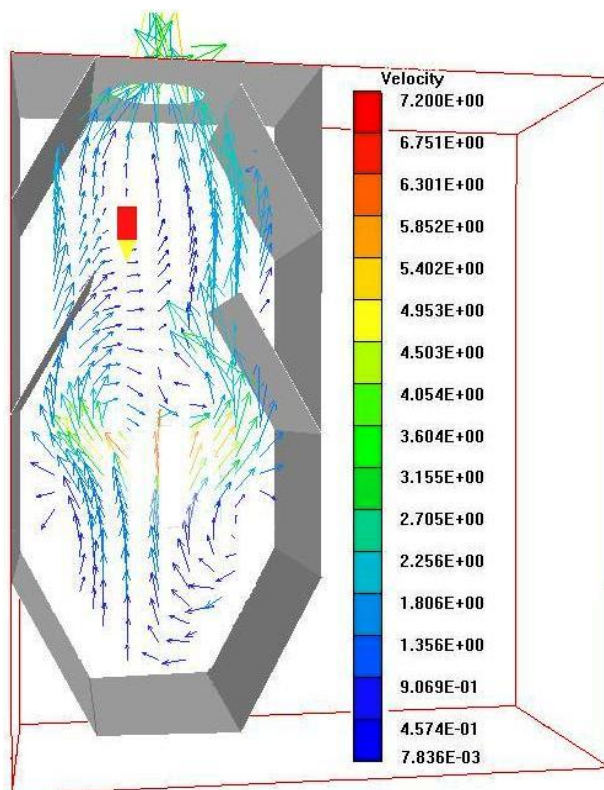
4.3 paveiksle pateikti oro srauto modeliavimo rezultatai, kai nusodinimo plokštelių pasvirimo kampas yra 30° .



4.3 pav. Greičio izopaviršių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, kai plokštelės pasvirusios 30° kampui

Kaip matyti iš 4.3 paveikslo, oro srauto greičiai kameros viduje kinta nuo 0,0078 m/s iki 7,2 m/s. Didžiausi oro srauto greičiai pastebimi ties oro įtekėjimo anga – apie 6,5 m/s bei ties oro ištekėjimo anga – apie 4,7 m/s. Kameros viduryje ir apačioje greičiai pasiskirstę maždaug vienodai, čia jie vyrauja nuo 1,15 m/s iki 2,0 m/s.

4.4 paveiksle pateiktas oro srauto greičio vektorių pasiskirstymas.

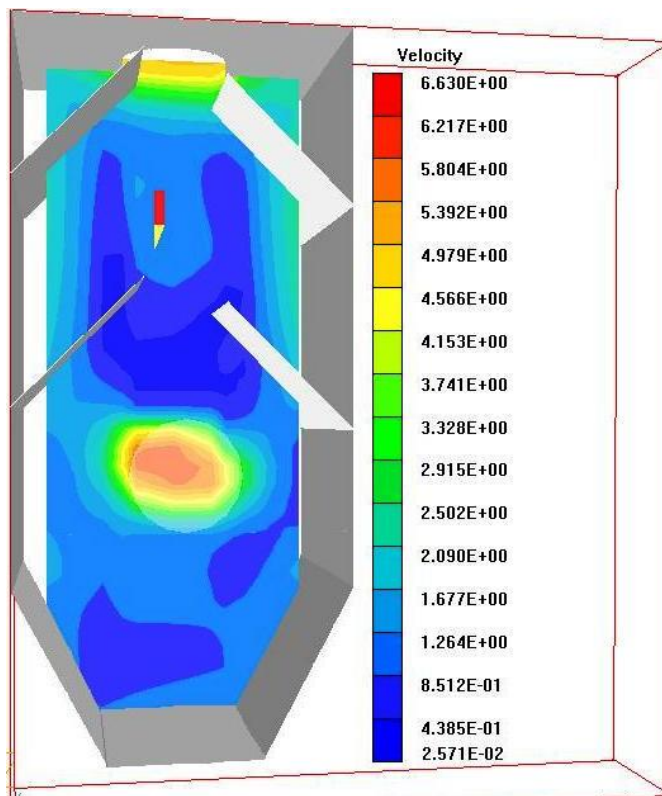


4.4 pav. Greičio vektorių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, kai plokštelės pasvirusios 30° kampu

Iš 4.4 paveikslo matyti oro srauto judėjimo trajektorija nusodinimo kameros viduje. Ties įtekėjimo anga oro srautas išsisklaido ir sulėtėja. Atsimušęs į plokšteles pakeičia kryptį ir dar labiau sulėtėja, o ties išėjimo anga oro srauto greitis vėl padidėja.

4.5 paveiksle pateikti oro srauto modeliavimo rezultatai, kai nusodinimo plokštelių pasvirimo kampas yra 45°.

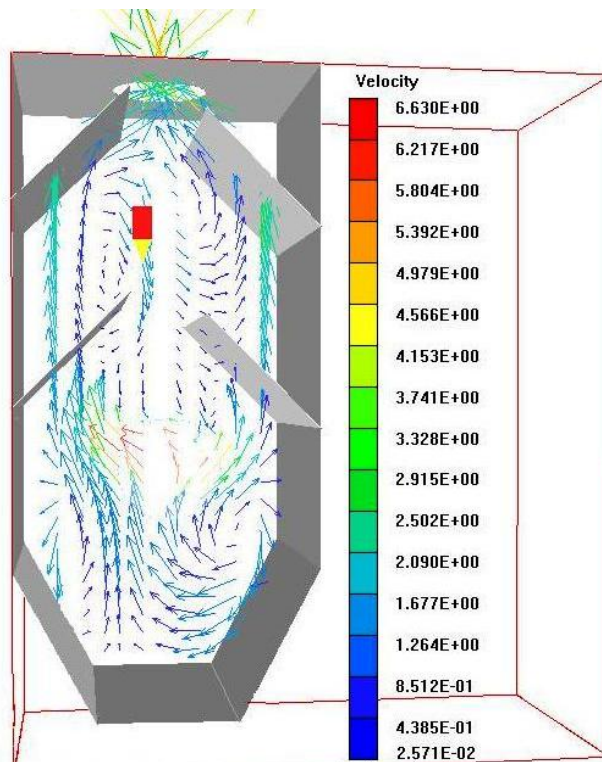
Kaip matyti iš 4.5 paveikslo, oro srauto greičiai kameros viduje kinta nuo 0,025 m/s iki 6,63 m/s. Didžiausi oro srauto greičiai pastebimi ties oro įtekėjimo anga – apie 5,5 m/s bei ties oro ištekėjimo anga – apie 4,7 m/s. Kameros viduryje ir apačioje greičiai pasiskirstę maždaug vienodai, čia jie vyrauja nuo 1,0 m/s iki 1,8 m/s.



4.5 pav. Greičio izopaviršių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, kai plokštelės pasvirusios 45° kampui

Palyginus oro srauto greičių pasiskirstymą esant 45° ir 30° plokštelių pasvirimo kampams, didelių skirtumų nepastebėta. Esant 45° pasvirimo kampui, ties oro įtekėjimo anga greičiai gauti 1,2 karto mažesni nei esant 30° kampui. Kameros viduryje, esant skirtingiems kampams, greičiai gauti tokie pat – $\sim 1,0\text{--}2,0$ m/s.

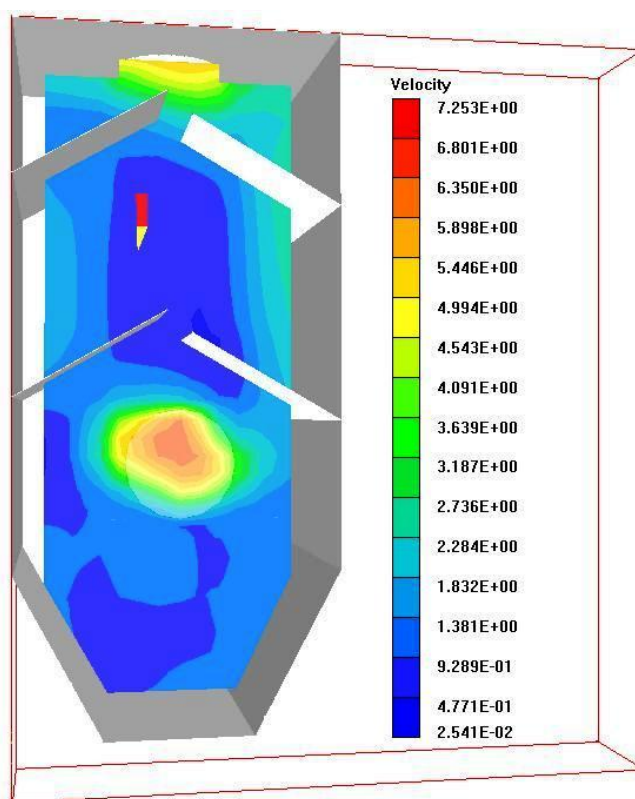
Oro srauto greičio vektorių pasiskirstymas pateiktas 4.6 paveiksle.



4.6 pav. Greičio vektorių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, kai plokštelės pasvirusios 45° kampui

Iš 4.6 paveikslo matyti oro srauto judėjimo trajektorija nusodinimo kameros viduje, kai plokštelės pasvirusios 45° kampui. Kaip ir pasvirus plokštelėms 30° kampui, ties įtekėjimo anga oro srautas išsisklaido ir sulėtėja. Atsimušęs į plokštelę pakeičia kryptį ir dar labiau sulėtėja. Čia pastebimi didesni oro sūkuriai, kai srautas atsimuša į nusodinimo plokštelę. Ties išėjimo anga oro srauto greitis vėl padidėja.

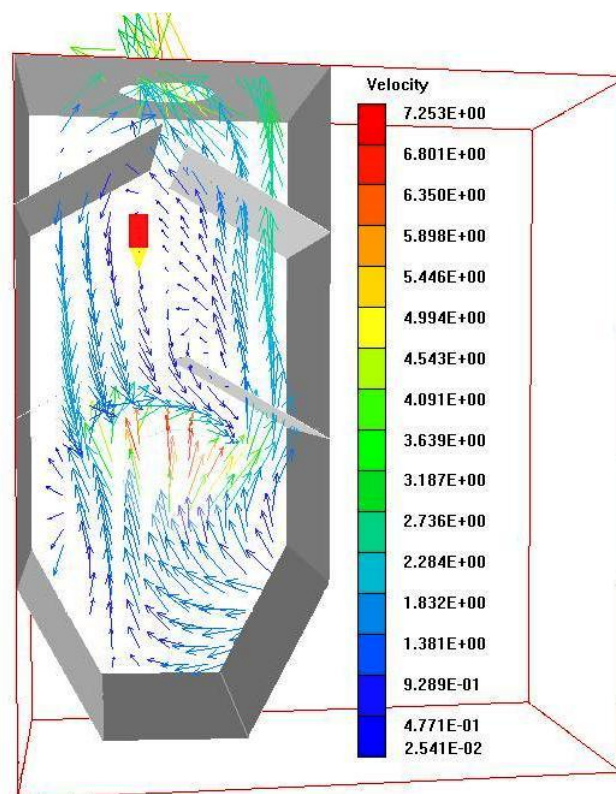
4.7 paveiksle pateikti oro srauto modeliavimo rezultatai, kai nusodinimo plokštelių pasvirimo kampas yra 60° . Kaip matyti iš šio paveikslo, oro srauto greičiai kameros viduje kinta nuo 0,025 m/s iki 7,253 m/s. Didžiausi oro srauto greičiai pastebimi ties oro įtekėjimo anga – apie 6,5 m/s bei ties oro ištekėjimo anga – apie 5,2 m/s. Kameros viduryje ir apačioje greičiai pasiskirstę maždaug vienodai, čia jie vyrauja nuo 0,7 m/s iki 2,2 m/s.



4.7 pav. Greičio izopaviršių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, kai plokštelės pasvirusios 60° kampui

Palyginus oro srauto greičių pasiskirstymą esant trims skirtingiems plokštelių pasvirimo kampams, didelių skirtumų nepastebėta. Esant 30° ir 60° pasvirimo kampams, ties oro įtekėjimo anga greičiai gauti 1,2 karto didesni nei esant 45° kampui. Kameros viduryje, esant skirtingiems kampams, greičiai svyruoja nuo 0,7–1,15 m/s iki 1,8–2,2 m/s.

Oro srauto greičio vektorių pasiskirstymas pateiktas 4.8 paveiksle.



4.8 pav. Greičio vektorių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, kai plokštelės pasvirusios 60° kampu

Iš 4.8 paveikslo matyti oro srauto judėjimo trajektorija nusodinimo kameros viduje, kai plokštelės pasvirusios 60° kampu. Kaip ir pasvirus plokštelėms 30° ir 45° kampu, ties įtekėjimo anga oro srautas išsisklaido ir sulėtėja. Atsimušęs į plokšteles pakeičia kryptį ir dar labiau sulėtėja. Esant 60° pasvirimo kampui, pastebimi didžiausi oro sūkurių, kai srautas atsimuša į nusodinimo plokšteles. Ties išėjimo anga oro srauto greitis vėl padidėja.

Iš modeliavimo rezultatų matyti, kad, esant 60° pasvirimo kampui, atsimušęs nuo plokštelių oro srautas sulėtėja labiau nei esant kitiems pasvirimo kampams. Kadangi oro srauto greičių pasiskirstymas atitinka kietųjų dalelių koncentracijų pasiskirstymus, tai mažesnio greičio zonoje ir dalelių pernešama mažiau.

4.3. Eksperimentinių ir modeliavimo rezultatų palyginimas

Eksperimentinių tyrimų ir modeliavimo rezultatų palyginimui buvo pasirinkti 9 taškai (2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26) (3.6 pav.).

4.1 lentelė. Eksperimento ir teoriškai apskaičiuotų rezultatų palyginimas, kai pasvirimo kampas 30°

Taškai	2	5	8	11	14	17	20	23	26
Išmatuota reikšmė, m/s	2,4	5,9	3,2	1,0	0,7	1,6	1,6	1,8	2,0
Apskaičiuota reikšmė, m/s	2,578	5,627	2,938	1,063	0,651	1,443	1,506	2,041	2,146
Paklaida, %	7,4	4,6	8,2	6,3	7,0	9,8	5,9	13,4	7,3

4.1 lentelėje pateiktas rezultatų palyginimas, kai plokštelės pasvirusios 30° kampu. Kaip matyti iš šios lentelės, esant 30° nusodinimo plokštelių pasvirimo kampui, teoriškai apskaičiuoti (taikant modeliavimo programą „Phoenics“) ir eksperimentiškai išmatuoti rezultatai skiriasi nuo 4,6 % iki 13,4 %.

4.2 lentelėje pateikti eksperimentinių tyrimų ir modeliavimo rezultatų palyginimas, kai plokštelės pasvirusios 45° kampu.

4.2 lentelė. Eksperimento ir teoriškai apskaičiuotų rezultatų palyginimas, kai pasvirimo kampas 45°

Taškai	2	5	8	11	14	17	20	23	26
Išmatuota reikšmė, m/s	1,9	6,0	2,5	0,5	0,6	0,7	1,5	2,0	1,9
Apskaičiuota reikšmė, m/s	2,071	5,652	2,752	0,561	0,549	0,753	1,398	2,164	2,008
Paklaida, %	9,0	5,8	10,1	12,1	8,4	7,5	6,8	8,2	5,7

Iš 4.2 lentelės matyti, kad esant 45° nusodinimo plokštelių pasvirimo kampui, teoriškai apskaičiuoti (taikant modeliavimo programą „Phoenics“) ir eksperimentiškai išmatuoti rezultatai skiriasi nuo 5,7 % iki 12,1 %.

4.3 lentelėje pateikti eksperimentinių tyrimų ir modeliavimo rezultatų palyginimas, kai plokštelės pasvirusios 60° kampu.

4.3 lentelė. Eksperimento ir teoriškai apskaičiuotų rezultatų palyginimas, kai pasvirimo kampas 60°

Taškai	2	5	8	11	14	17	20	23	26
Išmatuota reikšmė, m/s	2,2	6,1	3,2	1,2	0,6	1,4	1,8	3,0	2,5
Apskaičiuota reikšmė, m/s	2,383	5,880	3,027	1,115	0,640	1,525	1,607	2,718	2,243
Paklaida, %	8,3	3,6	5,4	7,1	6,7	8,9	10,7	9,4	10,3

Iš 4.2 lentelės matyti, kad esant 60° nusodinimo plokštelių pasvirimo kampui, teoriškai apskaičiuoti (taikant modeliavimo programą „Phoenics“) ir eksperimentiškai išmatuoti rezultatai skiriasi nuo 3,6 % iki 10,7 %.

Kaip matyti iš pateiktų duomenų, paklaidos tarp apskaičiuotų ir išmatuotų rezultatų nėra labai didelės. Didžiausia paklaida (13,4 %) gauta lyginant rezultatus, kai pasvirimo kampas 30° , o mažiausia (3,6 %) – kai pasvirimo kampas 60° . Vidutinė visų matavimų paklaida lygi 7,9 %.

4.4. Išvados

1. Oro srauto tekėjimas nusodinimo kameroje sumodeliuotas kompiuterine programa „Phoenics“ – vienu plačiausiai pasaulyje naudojamu programinių paketų.

2. Modeliavimo rezultatai parodo oro srauto judėjimo trajektoriją nusodinimo kameros viduje esant skirtingiems plokštelių pasvirimo kampams (30° , 45° ir 60°). Didžiausi greičiai pastebimi ties oro įėjimo ir išėjimo angomis, o likusioje kameros dalyje oro srautas pasiskirstęs beveik vienodai.

3. Modeliavimo rezultatai parodo, kad, esant 60° pasvirimo kampui, atsimušęs nuo plokštelių oro srautas sulėtėja labiau nei esant kitiems pasvirimo kampams. Kadangi oro srauto greičių pasiskirstymas atitinka kietųjų dalelių koncentracijų pasiskirstymus, tai mažesnio greičio zonoje ir dalelių pernešama mažiau.

4. Paklaidos tarp teoriškai apskaičiuotų (taikant modeliavimo programą „Phoenics“) ir eksperimentiškai išmatuotų rezultatų nėra labai didelės. Didžiausia paklaida (13,4 %) gauta lyginant rezultatus, kai pasvirimo kampas 30° , o mažiausia (3,6 %) – kai pasvirimo kampas 60° . Vidutinė visų matavimų paklaida lygi 7,9 %.

BENDROSIOS IŠVADOS

1. Daugelis tyrinėtojų nurodo, kad padidėjusi antropogeninė kietųjų dalelių emisija į orą sukelia ne klimato atšilimą, o atvirkščiai – atšalimą. Kietosios dalelės ir aerozoliai sugeria arba atspindi dalį saulės spindulių ir sumažina energijos kiekį, esantį žemėje. Tačiau esant mažam paklotinio paviršiaus albedui, kietosios dalelės sugeria nuo Žemės paviršiaus atspindėtą spinduliuotę ir energija lieka tarp Žemės ir atmosferos sluoksnių, o tai lemia klimato atšilimą.

2. Suprojektuota ir sumontuota kietųjų dalelių nusodinimo kamera su reguliuojamomis nusodinimo plokštelėmis. Ši kamera nuo paprastos kameros skiriasi viduje esančiomis horizontaliomis pertvaromis, kurios sutrumpina kietųjų dalelių nusėdimo kelią bei pagerina smulkių dalelių surinkimo efektyvumą. Tyrimų metu buvo keičiamas plokštelių pasvirimo kampas – 30°, 45° ir 60°.

3. Rezultatų analizė rodo, kad esant skirtingiems plokštelių pasvirimo kampams, didinant dulkių koncentraciją, nusodinimo kameros valymo efektyvumas didėja. Didžiausi valymo efektyvumai pasiekiami, kai dulkių koncentracija 450–475 mg/m³, o mažiausi – kai koncentracija 100–125 mg/m³. O didinant oro srauto greitį, nusodinimo kameros valymo efektyvumas mažėja. Didžiausias valymo efektyvumas gautas tiekiant oro srautą 3 m/s greičiu, o mažiausias – tiekiant orą 10 m/s greičiu.

4. Atlikus oro valymo efektyvumo tyrimus nustatyta, kad suprojektuotas pirminio oro valymo įrenginys – nusodinimo kamera, efektyviausiai veikia, kai plokštelių pasvirimo kampas yra 60° ir kai šalinamos kvarcinio smėlio dulkės.

5. Remiantis eksperimentiniais tyrimais, sumodeliuotas oro srauto tekėjimas „Phoenics“ kompiuterinio modeliavimo programa. Eksperimento rezultatai palyginti su modeliavimo duomenimis ir nustatyta, kad paklaidos nėra labai didelės. Didžiausia paklaida gauta lyginant rezultatus, kai pasvirimo kampas 30°, o mažiausia – kai pasvirimo kampas 60°. Vidutinė visų matavimų paklaida lygi 7,9 %.

REKOMENDACIJOS

1. Pirmosios pakopos valymo įrenginį – nusodinimo kamerą su reguliuojamomis plokštelėmis, rekomenduojama naudoti stiklo gamyboje ar medienos apdirbimo pramonėje, kur šalinamų kietųjų dalelių dydžiai 50–100 μm .
2. Rekomenduojama nusodinimo kamerą naudoti, kai plokštelės pasvirusios 60° kampui bei parenkant pradinį tiekiamo oro greitį 3 m/s.
3. Rekomenduojama valymo įrenginį naudoti technologiniuose procesuose, kur yra didelės šalinamų kietųjų dalelių koncentracijos – iki 450–475 mg/m^3 .

LITERATŪRA

Aplinkos ministerija. 2004. Techninė ataskaita Nr. 16: Anotacija apie geriausius prieinamus gamybos būdus (GPGB) dideliems kurą deginantiems įrenginiams. *Institucinių gebėjimų stiprinimas, diegiant ES reikalavimus, cheminių medžiagų, GMO, TIPK ir klimato kaitos srityse*. 97 p.

Baltrėnas, P.; Vaitiekūnas, P.; Vasarevičius, S.; Jordaneh, S. 2008. Dispersion modeling of solid particles from vehicle exhaust into the atmosphere. *Ekologija* 54(2): 117–123.

Baltrėnas, P.; Butkus, D.; Oškinis, V.; Vasarevičius, S.; Zigmontienė, A. 2008. *Aplinkos apsauga*. Vilnius: Technika. 565 p.

Baltrėnas P., Pouru M., Kvasauskas M. 2005. Experimental comparable investigation of particle concentration using mass, optical and vibro methods. The 6th international conference Environmental Engineering. Vilnius: Technika. 1: 12–19.

Baltrėnas, P.; Kvasauskas, M. 2005. Eksperimentiniai dalelių koncentracijų tyrimai taikant svorinį ir optinį metodus. Vilnius: Technika, 13(2): 57–64.

Baltrėnas, P.; Špakauskas, V.; Vaitiekūnas, P. 1998. An analysis of heavy aerosols dispersion. *The PHOENICS Journal of Computational Fluid Dynamics & Its Applications* 11(3): 284–292.

Balevičius, A.; Bukantis, A.; Bukelskis, E.; Ignataviius, G.; Kutorga, E.; Mierauskas, P.; Rimkus, E.; Rukšėnienė, J.; Sinkevičius, S.; Stankūnavičius, G.; Valiuškevičius, G.; Zemlys, P.; Žamorskis, R. P. 2007. *Globali aplinkos kaita*. Vilnius: UAB „Petro ofsetas“, 299 p.

Cheremisnoff, N. P. 2002. *Handbook of Air Pollution Prevention and Control*. USA: Elsevier Science. 562 p.

Clifford, S. M.; Zhang, J.; Sigsgaars, T.; Jantunen, M.; Liroy, P. J.; Samson, R.; Karol, M. H. 2007. Current state of the Science: health effects and indoor environmental Quality. *Environmental Health Perspectives* 115: 958–964.

Curtis, L.; Rea, W.; Smith–Willis, P.; Fenyves, E.; Pan, Y. 2006. Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environmenal International* 32: 815–830.

Dabbi, F. W.; Orchanian, B. 2009 12 02. *Particle deposiotion system and method*. Unitet States Patent No. 20090038543.

Dabužinskas, K. 1984. *Hidraulika*. Vilnius: Mokslas. 289 p.

EuropeAid. 2006. *Nacionalinių taršos mažinimo bei oro kokybės vertinimo program paruošimas. Aplinkos oro kokybės vertinimo vadovas*. Vilnius. 88 p.

Europos Sąjungos 1999 m. balandžio 22 d. Tarybos Direktyva 1999/30/EB „Dėl sieros dioksido, azoto dioksido, azoto oksidų, kietųjų dalelių ir švino ribinių verčių aplinkos ore“.

Fierro, M. 2000. *Particulate matter*. Departament of Environmental Quality. 11 p.

Goose, H.; Barriat, P. Y.; Lefebvre, W.; Loutre, M. F.; Zunz, V. 2010. *Introduction to climate dynamics and climate modeling*. Universite catholique de Louvain. Belgium: Institut d;Astronomie et de Geophysique Georges Lemaitre. 196 p.

Hamilton County Environmental Services [interaktyvus]. 2010. Žiūrėta 2010 m. lapkričio 8 d. Prieiga per internetą: <<http://www.hcdoes.org/airquality/monitoring/pm.htm>>.

Hitchins, J.; Moravska, L.; Wolff, R.; Gilbert, D. 2000. Concentrations of submicrometre particles from vehicle emissions near a major road. *Athmospheric Environmental* 34: 51–59.

Houghton, J. T.; Ding, Y.; Griggs, D.J.; Noguer, M.; van der Linden, P.J.; Dai, X.; Maskell, K.; Johnson, C.A. 2001. *Climate Change: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. 881 p.

Hueglin, Ch.; Gehrig, R.; Baltensperger, U.; Gysel, M.; Monn, Ch.; Vonmont, H. 2005. Chemical characterisation of PM_{2.5}, PM₁₀ and coarse particles at urban, near–city and rural sites in Switzerland. *Atmospheric Environmental* 39(4): 637–651.

Hussein, T.; Hruska, A.; Dohanyosova, P.; Dzumbova, L.; Hemerka, J.; Kulmala, M. 2009. Evaluation of deposition rates of aerosol particles on smooth surfaces inside a test chamber. *Atmospheric Environment* 43:905–14.

Kriščiukaitienė, G. 2006. Aeroliai: žala ar nauda? Atmospheric composition change the European network of excellence.

Krzyzanowski, M.; Schneider, J.; McCall, E. 2003. *Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide*. Germany: WHO Regional Office For Europe. 98 p.

Lai, A. C. K.; Nazaroff, W. W. 2005. Supermicron particle deposition from turbulent chamber flow onto smooth and rough vertical surfaces. *Atmospheric Environment* 39 (27): 4893–4900.

Lee, C. C.; Huffman, G. L. 2007. *Particulate emission control*. U. S. Environmental Protection Agency, Ohio. 80 p.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro ir Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2010 m. liepos 7 d. įsakymas Nr. D1–585/V–611 „Aplinkos oro užterštumo sieros dioksidu, azoto dioksidu, azoto oksidais, benzeno, anglies monoksidu, švinu, kietosiomis dalelėmis ir ozonu normos“, *Valstybės žinios* 82–4364.

Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2007 m. gegužės 10 d. įsakymas Nr. V–362 „Dėl Lietuvos higienos normos HN 35:2007 „Didžiausia leidžiama cheminių medžiagų (teršalų) koncentracija gyvenamosios aplinkos ore“ patvirtinimo“, *Valstybės žinios* 55–2162.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro ir Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2007 m. birželio 11 d. įsakymas Nr. D1–329/V–469 „Dėl teršalų, kurių kiekis aplinkos ore ribojamas pagal Europos Sąjungos kriterijus, sąrašo ir teršalų, kurių kiekis aplinkos ore ribojamas pagal nacionalinius kriterijus, sąrašo ir ribinių aplinkos oro užterštumo verčių patvirtinimo“, *Valstybės žinios* 67–2627.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2001 m. gruodžio 12 d. įsakymas Nr. 596 „Dėl aplinkos oro kokybės vertinimo“, *Valstybės žinios* 106–3828.

Lietuvos Respublikos 1999 m. gegužės 13 d. įstatymas Nr. VIII–1183 „Mokesčiai už aplinkos teršimą“, *Valstybės žinios* 13–474.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 1998 m. Liepos 13 d. įsakymas Nr. 125 „Dėl teršiančių medžiagų išmetamų į atmosferą iš mašinų su vidaus degimo varkliais, vertinimo metodikos patvirtinimo“, *Valstybės žinios* 66–1926.

Mathiesen, V.; Solberg, T. 1999. Gas/Particle two-phase flow modeling of a circulating fluidized bed using kinetic theory for granular flow. *The PHOENICS Journal of Computational Fluid Dynamics & Its Applications* 12(2): 111–157.

Matuliauskaitė, A. 2009. Oro tarša kietosiomis dalelėmis, jos įtaka gyvenimo kokybei ir taršos mažinimo patalpose priemonės. Iš *Statyba* [Civil engineering]: 12-osios Lietuvos jaunujų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ [12th Conference of Junior Researchers Science – Future of Lithuania], įvykusios Vilniuje 2009 m. kovo 25–27 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 114–117.

McMurry, P. H.; Shepherd, M. F.; Vickery, J. S. 2004. *Particulate matter science or policy makers*. United States of America: Cambridge University Press. 515 p.

Miller, R. W. 1989. *Flow measurement engineering handbook*. New York: McGraw–Hill publishing company. 1063 p.

Panicker, A.S.; Pandithurai, G.; Dong–In, L. 2010. Aerosols and climate effects. *Korean Ministry of Education, Science & Technology* K20607010000.

Paulauskienė, T. 2008. *Oro taršos lakiaisiais organiniais junginiais tyrimas ir jos mažinimas naftos terminaluose*. Daktaro disertacija. Vilnius: Technika. 138 p.

Penner, J. E. 2009. Aerosols. *The Oxford Companion to Global Change*. Oxford University Press.

Penner, J. E. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. *Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge: Cambridge University Press. 289–348.

Petraitis, E. 2003. Kietųjų dalelių sklaidos atmosferoje skaitinis modeliavimas, taikant „Varsa“, „Phoenix“ ir „Surfer“ programas. Iš *Aplinkos apsaugos inžinerija* [Environmental protection engineering]: 6-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ [6th Conference of Junior Researchers Science – Future of Lithuania], įvykusios Vilniuje 2003 m. kovo 20 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 65–73.

Petraitis, E.; Vasarevičius, S. 2001. Kietųjų dalelių sklaidos atmosferoje skaitinis modeliavimas taikant „Varsa“ ir „Phoenix“ programas. *Aplinkos inžinerija* 9(1): 23–28.

PHOENICS [INTERAKTYVUS]. 2012. Žiūrėta 2012 m. kovo 13 d. Prieiga per internetą: <http://www.cham.co.uk/phoenics/d_polis/d_docs/tr001/tr001.htm#comp>.

Ramaswamy, V. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. *Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC*. Cambridge: Cambridge University Press. 349–416.

Ramanathan, V.; Crtzen, P. J.; Kiehl, J. T.; Rosenfeld, D. 2001. Aerosols, Climate, and the Hydrological Cycle. *Science* 294:2119. American Association for the Advancement of Science.

Romanou, A.; Liepert, B.; Schmidt, G. A.; Rossow, W. B.; Ruedy, R. A.; Zhang, Y. 2007. 20th century changes in surface solar irradiance in simulations and observations. *Geophysical Research Letters* 34: L05713.

Shi, J. P.; Khan, A. A.; Harrison, R. M. 1999. Measurements of ultrafine particle concentration and size distribution in the atmosphere. *Science of the Total Environment* 235: 51–64.

Sirvydis, V. K. 2004. *Moksliniai tyrimai biomedicinos moksluose*. Vilnius. 35 p.

Skorupskaitė, V.; Denafas, G. 2004. Investigation of Particles Size Distribution and Form of Bottom and Volant Ash. *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba* 3(29): 21–28.

Spedding, P.L.; Benard, E. 2007. Gas–liquid two phase flow through a vertical 90° elbow bend. *Experimental Thermal and Fluid Science* 31: 761–769.

Štreimikienė, D.; Čiegis, R. 2001. Ekonominės žalos vertinimas stacionariems atmosferos taršos šaltiniams Lietuvoje. *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba* 1(15): 12–22.

Trzupek, R. 2003. *Air Quality Compliance and Permitting Manual*. USA: The McGraw–Hill Company. 677 p.

U.S. Environmental Protection Agency [interaktyvus]. 2010. Žiūrėta 2010 m. gruodžio 17 d. Prieiga per internetą: <<http://www.epa.gov/air/airpollutants.html>>.

Winker, D. M.; Pelon, J.; Coakley, J. A.; Ackerman, S. A.; Charlson, R. J.; Colarco, P. R.; Flamant, P.; Fu, Q.; Hoff, R. M.; Kittaka, C.; Kubar, T. L.; Treut, H. Le.; McCormick, M. P.; Megie, G.; Poole, L.; Powell, K.; Trepte, C.; Vaughan, M. A.; Wielicki, B. A. 2010. CALIPSO MISSION: A Global 3D View of Aerosols and Clouds. *Bulletin of the American Meteorological Society*. NASA Langley Research Center, Hampton, VA 23681–2199.

Zhu, Y.; Hinds, W. C.; Kim, S.; Sioutas, C. 2002. Concentration and size distribution of ultrafine particles near a major highway. *Journal of the Air & Waste Management Association* 52: 1032–1042.

1 PRIEDAS

Modeliavimo uždavinio q1 failas

TALK=T;RUN(1, 1)

```

*****
  Q1 created by VDI menu, Version 3.5, Date 20/10/03
  CPVNAME=VDI;SPPNAME=Core
*****
  IRUNN      =      1 ;LIBREF =      0
*****
  Group 1. Run Title
  TEXT(mtd                                     )
*****
  Group 2. Transience
  STEADY      =      T
*****
  Groups 3, 4, 5 Grid Information
    * Overall number of cells, RSET(M,NX,NY,NZ,tolerance)
  RSET(M,20,8,40)
*****
  Group 6. Body-Fitted coordinates
*****
  Group 7. Variables: STORED,SOLVED,NAMED
  ONEPHS      =      T
  SOLVE(P1 ,U1 ,V1 ,W1 )
    * Additional solver options
  SOLUTN(P1 ,Y,Y,Y,N,N,Y)
*****
  Group 8. Terms & Devices
*****
  Group 9. Properties
  PRESS0      = 1.000000E+05 ;TEMP0      = 2.730000E+02
  SETPRPS(1, 0)
  ENUT        = 0.000000E+00
  DVO1DT      = 3.410000E-03
*****
  Group 10. Inter-Phase Transfer Processes
*****
  Group 11. Initialise Var/Porosity Fields
    No PATCHes used for this Group

  INIADD      =      F
*****
  Group 12. Convection and diffusion adjustments
    No PATCHes used for this Group
*****
  Group 13. Boundary & Special Sources
    No PATCHes used for this Group

  EGWF        =      T
*****
  Group 14. Downstream Pressure For PARAB
*****
  Group 15. Terminate Sweeps
  LSWEEP      =      100
  RESFAC      = 1.000000E-03

```

```

*****
Group 16. Terminate Iterations
*****

Group 17. Relaxation
RELAX(P1 ,LINRLX, 1.000000E+00)
*****

Group 18. Limits
VARMAX(U1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(U1 ) =-1.000000E+06
VARMAX(V1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(V1 ) =-1.000000E+06
VARMAX(W1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(W1 ) =-1.000000E+06
*****

Group 19. EARTH Calls To GROUND Station
USEGRD = T ;USEGRX = T
ASAP = T
PARSOL = T
*****

Group 20. Preliminary Printout
ECHO = T
*****

Group 21. Print-out of Variables
*****

Group 22. Monitor Print-Out
IXMON = 6 ;IYMON = 4 ;IZMON = 30
NPRMON = 100000
NPRMNT = 1
TSTSWP = -1
*****

Group 23. Field Print-Out & Plot Control
NPRINT = 100000
ISWPRF = 1 ;ISWPRL = 100000
No PATCHes used for this Group
*****

Group 24. Dumps For Restarts

GVIEW(P,-2.277361E-01,-9.724716E-01,4.934843E-02)
GVIEW(UP,6.654242E-02,3.501903E-02,9.971691E-01)

> DOM, SIZE, 6.000000E-01, 3.000000E-01, 7.000000E-01
> DOM, MONIT, 1.166670E-01, 1.250000E-01, 5.192820E-01
> DOM, SCALE, 5.000000E-01, 5.000000E-01, 5.000000E-01
> DOM, SNAPSIZ, 1.000000E-02

> OBJ, NAME, GALAS
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 2.993000E-01, 2.000000E-01
> OBJ, SIZE, 3.000000E-01, 7.000000E-04, 5.000000E-01
> OBJ, CLIPART, cube14
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, COLOR-MODE, 1
> OBJ, COLOR-VAL, 32
> OBJ, OPAQUE, 20
> OBJ, MATERIAL, 106

> OBJ, NAME, K-SONAS
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 0.000000E+00, 1.998000E-01
> OBJ, SIZE, 7.000000E-04, 3.000000E-01, 5.002000E-01
> OBJ, CLIPART, cube14
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, COLOR-MODE, 2

```

```

> OBJ,      COLOR-VAL,      32
> OBJ,      MATERIAL,      112

> OBJ,      NAME,          D-SONAS
> OBJ,      POSITION,      2.993000E-01, 0.000000E+00, 1.998000E-01
> OBJ,      SIZE,        7.000000E-04, 3.000000E-01, 5.002000E-01
> OBJ,      CLIPART,      cube14
> OBJ,      ROTATION24,    1
> OBJ,      TYPE,        BLOCKAGE
> OBJ,      COLOR-MODE,    2
> OBJ,      COLOR-VAL,    32
> OBJ,      MATERIAL,    112

> OBJ,      NAME,          PLOKSTE1
> OBJ,      POSITION,      0.000000E+00, 0.000000E+00, 3.600000E-01
> OBJ,      SIZE,        1.600000E-01, 3.000000E-01, 7.000000E-04
> OBJ,      ROT-ANGLE,    0.000000E+00, 3.000000E+02, 0.000000E+00
> OBJ,      CLIPART,      cube14
> OBJ,      ROTATION24,    1
> OBJ,      TYPE,        BLOCKAGE
> OBJ,      COLOR-MODE,    2
> OBJ,      COLOR-VAL,    32
> OBJ,      MATERIAL,    112

> OBJ,      NAME,          PLOKSTE2
> OBJ,      POSITION,      0.000000E+00, 0.000000E+00, 5.600000E-01
> OBJ,      SIZE,        1.600000E-01, 3.000000E-01, 7.000000E-04
> OBJ,      ROT-ANGLE,    0.000000E+00, 3.000000E+02, 0.000000E+00
> OBJ,      CLIPART,      cube14
> OBJ,      ROTATION24,    1
> OBJ,      TYPE,        BLOCKAGE
> OBJ,      COLOR-MODE,    2
> OBJ,      COLOR-VAL,    32
> OBJ,      MATERIAL,    112

> OBJ,      NAME,          PLOKSTE3
> OBJ,      POSITION,      3.000000E-01, 0.000000E+00, 3.400000E-01
> OBJ,      SIZE,        1.600000E-01, 3.000000E-01, 7.000000E-04
> OBJ,      ROT-ANGLE,    0.000000E+00, 2.400000E+02, 0.000000E+00
> OBJ,      CLIPART,      cube14
> OBJ,      ROTATION24,    1
> OBJ,      TYPE,        BLOCKAGE
> OBJ,      COLOR-MODE,    2
> OBJ,      COLOR-VAL,    32
> OBJ,      MATERIAL,    198

> OBJ,      NAME,          PLOKSTE4
> OBJ,      POSITION,      3.000000E-01, 0.000000E+00, 5.400000E-01
> OBJ,      SIZE,        1.600000E-01, 3.000000E-01, 7.000000E-04
> OBJ,      ROT-ANGLE,    0.000000E+00, 2.400000E+02, 0.000000E+00
> OBJ,      CLIPART,      cube14
> OBJ,      ROTATION24,    1
> OBJ,      TYPE,        BLOCKAGE
> OBJ,      COLOR-MODE,    2
> OBJ,      COLOR-VAL,    32
> OBJ,      MATERIAL,    112

> OBJ,      NAME,          B21
> OBJ,      POSITION,      1.000000E-01, 0.000000E+00, 2.500000E-01
> OBJ,      SIZE,        1.000000E-01, 7.000000E-04, 1.000000E-01

```

```

> OBJ,      CLIPART,      cyl
> OBJ,      ROTATION24,      5
> OBJ,      TYPE,      BLOCKAGE
> OBJ,      COLOR-MODE,      1
> OBJ,      COLOR-VAL,      -1
> OBJ,      OPAQUE,      20
> OBJ,      MATERIAL,      106

> OBJ,      NAME,      B22
> OBJ,      POSITION,      0.000000E+00, 0.000000E+00, 2.000000E-01
> OBJ,      SIZE,      3.000000E-01, 7.000000E-04, 5.000000E-02
> OBJ,      CLIPART,      cube14
> OBJ,      ROTATION24,      1
> OBJ,      TYPE,      BLOCKAGE
> OBJ,      COLOR-MODE,      1
> OBJ,      COLOR-VAL,      -1
> OBJ,      OPAQUE,      20
> OBJ,      MATERIAL,      106

> OBJ,      NAME,      B23
> OBJ,      POSITION,      0.000000E+00, 0.000000E+00, 2.500000E-01
> OBJ,      SIZE,      1.000000E-01, 7.000000E-04, 1.000000E-01
> OBJ,      CLIPART,      cube14
> OBJ,      ROTATION24,      1
> OBJ,      TYPE,      BLOCKAGE
> OBJ,      COLOR-MODE,      1
> OBJ,      COLOR-VAL,      -1
> OBJ,      OPAQUE,      20
> OBJ,      MATERIAL,      106

> OBJ,      NAME,      B24
> OBJ,      POSITION,      2.000000E-01, 0.000000E+00, 2.500000E-01
> OBJ,      SIZE,      1.000000E-01, 7.000000E-04, 1.000000E-01
> OBJ,      CLIPART,      cube14
> OBJ,      ROTATION24,      1
> OBJ,      TYPE,      BLOCKAGE
> OBJ,      COLOR-MODE,      1
> OBJ,      COLOR-VAL,      -1
> OBJ,      OPAQUE,      20
> OBJ,      MATERIAL,      106

> OBJ,      NAME,      B25
> OBJ,      POSITION,      0.000000E+00, 0.000000E+00, 3.500000E-01
> OBJ,      SIZE,      3.000000E-01, 7.000000E-04, 3.500000E-01
> OBJ,      CLIPART,      cube14
> OBJ,      ROTATION24,      1
> OBJ,      TYPE,      BLOCKAGE
> OBJ,      COLOR-MODE,      1
> OBJ,      COLOR-VAL,      -1
> OBJ,      OPAQUE,      20
> OBJ,      MATERIAL,      106

> OBJ,      NAME,      B26
> OBJ,      POSITION,      1.000000E-01, 1.000000E-01, 6.993000E-01
> OBJ,      SIZE,      1.000000E-01, 1.000000E-01, 7.000000E-04
> OBJ,      CLIPART,      cyl
> OBJ,      ROTATION24,      13
> OBJ,      TYPE,      BLOCKAGE
> OBJ,      COLOR-MODE,      2
> OBJ,      COLOR-VAL,      32

```

```

> OBJ, MATERIAL, 112

> OBJ, NAME, B27
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 0.000000E+00, 6.993000E-01
> OBJ, SIZE, 3.000000E-01, 1.000000E-01, 7.000000E-04
> OBJ, CLIPART, cube14
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, COLOR-MODE, 2
> OBJ, COLOR-VAL, 32
> OBJ, MATERIAL, 112

> OBJ, NAME, B28
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 2.000000E-01, 6.993000E-01
> OBJ, SIZE, 3.000000E-01, 1.000000E-01, 7.000000E-04
> OBJ, CLIPART, cube14
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, COLOR-MODE, 2
> OBJ, COLOR-VAL, 32
> OBJ, MATERIAL, 112

> OBJ, NAME, B29
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.000000E-01, 6.993000E-01
> OBJ, SIZE, 1.000000E-01, 1.000000E-01, 7.000000E-04
> OBJ, CLIPART, cube14
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, COLOR-MODE, 2
> OBJ, COLOR-VAL, 32
> OBJ, MATERIAL, 112

> OBJ, NAME, B30
> OBJ, POSITION, 2.000000E-01, 1.000000E-01, 6.993000E-01
> OBJ, SIZE, 1.000000E-01, 1.000000E-01, 7.000000E-04
> OBJ, CLIPART, cube14
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, COLOR-MODE, 2
> OBJ, COLOR-VAL, 32
> OBJ, MATERIAL, 112

> OBJ, NAME, OUTLET
> OBJ, POSITION, 1.000000E-01, 1.000000E-01, 7.000000E-01
> OBJ, SIZE, 1.000000E-01, 1.000000E-01, 0.000000E+00
> OBJ, CLIPART, cylinder
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, OUTLET
> OBJ, COLOR-MODE, 2
> OBJ, COLOR-VAL, 136
> OBJ, OPAQUE, 50
> OBJ, PRESSURE, 0.000000E+00
> OBJ, TEMPERATURE, SAME
> OBJ, COEFFICIENT, 1.000000E+03

> OBJ, NAME, INLET
> OBJ, POSITION, 1.000000E-01, 0.000000E+00, 2.500000E-01
> OBJ, SIZE, 1.000000E-01, 0.000000E+00, 1.000000E-01
> OBJ, CLIPART, cylinder
> OBJ, ROTATION24, 8

```

```

> OBJ,      TYPE,      INLET
> OBJ,      COLOR-MODE,      2
> OBJ,      COLOR-VAL,      193
> OBJ,      OPAQUE,      50
> OBJ,      DENSITY,      1.189000E+00
> OBJ,      VELOCITY,      0.000000E+00, 7.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ,      TEMPERATURE,      0.000000E+00

> OBJ,      NAME,      B31
> OBJ,      POSITION,      0.000000E+00, 2.993000E-01, 2.000000E-01
> OBJ,      SIZE,      1.500000E-01, 7.000000E-04, 3.007000E-01
> OBJ,      ROT-ANGLE,      0.000000E+00, 9.000000E+01, 0.000000E+00
> OBJ,      CLIPART,      kubas
> OBJ,      ROTATION24,      1
> OBJ,      TYPE,      BLOCKAGE
> OBJ,      COLOR-MODE,      1
> OBJ,      COLOR-VAL,      5
> OBJ,      OPAQUE,      20
> OBJ,      MATERIAL,      198

> OBJ,      NAME,      B33
> OBJ,      POSITION,      2.188440E-01, 0.000000E+00, 5.000000E-02
> OBJ,      SIZE,      7.000000E-04, 3.000000E-01, 1.705020E-01
> OBJ,      ROT-ANGLE,      0.000000E+00, 2.819000E+01, 0.000000E+00
> OBJ,      CLIPART,      cube14
> OBJ,      ROTATION24,      1
> OBJ,      TYPE,      BLOCKAGE
> OBJ,      COLOR-MODE,      2
> OBJ,      COLOR-VAL,      32
> OBJ,      MATERIAL,      198

> OBJ,      NAME,      B35
> OBJ,      POSITION,      8.072900E-02, 0.000000E+00, 5.000000E-02
> OBJ,      SIZE,      7.000000E-04, 3.000000E-01, 1.702024E-01
> OBJ,      ROT-ANGLE,      0.000000E+00, 3.316900E+02, 0.000000E+00
> OBJ,      CLIPART,      cube14
> OBJ,      ROTATION24,      1
> OBJ,      TYPE,      BLOCKAGE
> OBJ,      COLOR-MODE,      2
> OBJ,      COLOR-VAL,      32
> OBJ,      MATERIAL,      198

> OBJ,      NAME,      B36
> OBJ,      POSITION,      0.000000E+00, 0.000000E+00, 2.000000E-01
> OBJ,      SIZE,      1.500000E-01, 7.000000E-04, 3.007000E-01
> OBJ,      ROT-ANGLE,      0.000000E+00, 9.000000E+01, 0.000000E+00
> OBJ,      CLIPART,      kubas
> OBJ,      ROTATION24,      1
> OBJ,      TYPE,      BLOCKAGE
> OBJ,      COLOR-MODE,      1
> OBJ,      COLOR-VAL,      5
> OBJ,      OPAQUE,      20
> OBJ,      MATERIAL,      198

> OBJ,      NAME,      B34
> OBJ,      POSITION,      8.042929E-02, 0.000000E+00, 5.000000E-02
> OBJ,      SIZE,      1.391414E-01, 3.000000E-01, 7.000000E-04
> OBJ,      CLIPART,      cube14
> OBJ,      ROTATION24,      1
> OBJ,      TYPE,      BLOCKAGE

```

```
> OBJ,      COLOR-MODE,      1
> OBJ,      COLOR-VAL,      -1
> OBJ,      OPAQUE,          20
> OBJ,      MATERIAL,        112
STOP
```

DEPOSITION CHAMBER EFFICIENCY FOR DIFFERENT TECHNICAL PARAMETERS

Rasa Butvilaitė¹, Egidijus Petraitis²

Dept of Environmental Protection, Vilnius Gediminas Technical University,

Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania

Abstract. The aim of experimental research was to measure particulate matter concentrations using mass method and to estimate efficiency of setting chamber at different angle of setting plates (30°, 45° and 60°), to remove the different kind of particles. Materials commonly occurring in technological processes were used for the investigation: cement dust, biofuel ashes and quartz sand dust. Researches were performed with new particle matter deposition chamber with adjustable plates. The efficiency of deposition chamber by changing the angle of plates are compared in this work.

Keywords: particulate matter (PM), setting chamber, mass method, efficiency

Introduction

Air pollution has a great impact on human health, climate change, agriculture, and the natural ecosystem (Decker *et al.* 2000; Mayer *et al.* 2000). The modernization and industrialization of developing countries has led to the increased use of fossil fuels and their derivatives. Concern about air pollution in urban regions is receiving increasingly importance worldwide, especially pollution by gaseous and particulate trace (Salam *et al.* 2003; Cachier *et al.* 2005).

Particle matter (PM) is generally designated as a mixture of solid and liquid particles in the air. The diameter of a particle in the air ranges from 0,005 to 100 microns (µm). Fine particles fired in the air have a diameter of 2, 5 µm and even less (Zhu *et al.* 2002; Hitchins *et al.* 2000). Fine particles are produced by firing coal, petrol, diesel fuel or any other fossil fuel and wood (Baltrėnas and Masilevičius 2004). The ultrafine particle resources come from motor cars equipped with petrol and diesel motors, power plants firing coal or burning biomass (Martuzevičius *et al.* 2004; Petraitis and Vasarevičius 2001).

Particle matter removal from air flow through deposition chambers long before have been applied in industry. Simple technology, low investment and easy technical maintenance, low pressure waste and easy removal of pollutant – there are advantages for selecting this air purification method. Despite the low deposition efficiency of small particles, the deposition chamber is widely used in industry to collect the large particles (Cheremisinoff 2002). Deposition chamber is used as primary purification, on purpose to protect the secondary

air cleaning device from over friction and dust excess (Trzupek 2003).

The aim of the work was to measure PM concentrations using mass method and to estimate efficiency of setting chamber at different angle of setting plates (30°, 45° and 60°), to remove the different kind of particles.

Methodology

For the experimental research was designed and produced particle matter deposition chamber with adjustable plates (Fig. 1).

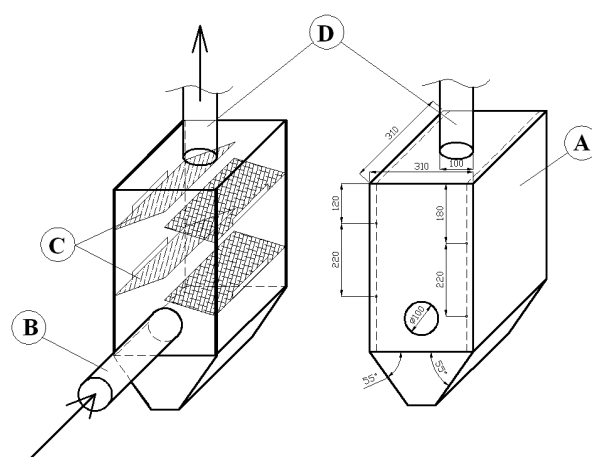


Fig 1. Deposition chamber for experimental research: A – the deposition chamber frame, B – air inlet, C – plates of deposition, D – air outlet

Deposition chamber operating principle. Air flow with solid particles flowing at a certain velocity through the air inlet and enter to the deposition chamber, where

the particles dispersed, so reducing their speed. The largest particles blocked by the settling plates and exposed to the affected gravitational forces settles into the collection hopper. Smaller particles are moving with the air flow up and blocked by a higher plates, deposited on the plates surface below. Cleaned air stream passes through the outlet hole.

To estimate measuring the results subject to different materials (hard particles) and air flow, particles of different materials were chosen for the investigation. Materials commonly occurring in technological processes were used for the investigation: cement dust, biofuel ashes and quartz sand dust.

During the experiment was measured air flow velocity and air temperature in the inlet and outlet with device "Testo-400". During the experiment the temperature varied from 17,5 °C to 20,0 °C.

Concentration of particles was measured by mass (gravimetric) method. Relative tolerance of this method is of $\pm 25\%$.

Course of work. Concentration of different PM-type telltale samples was determined in the air sampled for 15 min for all materials. The angle of deposition plates have been replaced by 30°, 45° and 60°. Particles of each material were sampled at a different air flow velocity: 3 m/s, 7 m/s or 10 m/s. The initial particle concentrations were 100-125 mg/m³, 250-275 mg/m³ and 450-475 mg/m³. Aspirators pulled polluted air flow at 15 l/min velocity. Particulate concentrations were detained on AΦA – BII filters. Filters were weighed on electronic scales. Dustiness of the gas flow is determined by the difference in filter mass:

$$C = \frac{m_2 - m_1}{V \cdot t}, \text{ mg/m}^3; \quad (1)$$

Here: m_1 – mass of the filter prior to sampling; m_2 – mass of the filter after sampling; t – time period needed for quantity of air to be extracted; V – volume of pumped air.

Three measurements are made with the particles of the same material at the same dusty air-flow velocity. Values of the measurements are written down on the table of measurement results.

After sampling one material, the setting chamber must be cleaned thoroughly, and only then the particles of another material are poured.

Results

The efficiency measurement results for each substance at a different airflow velocity are illustrated in

graphs. Fig. 2 shows the dependence of deposition chamber efficiency and concentration of cement dust, when the air flow is supplied in different speeds and at 30° angle of deposition plates.

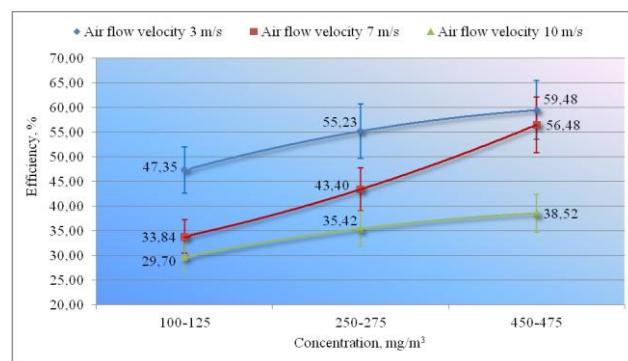


Fig. 2. Dependence of deposition chamber efficiency and concentration of cement dust, at 30° angle of deposition plates

As the graph shows, increasing the concentration of the cement dust, the deposition chamber cleaning efficiency increases. The maximum removal efficiencies obtained at the 450-475 mg/m³ concentration of dust, and the lowest – at 100-125 mg/m³ concentration. The same tendency of cleaning efficiency remains when the contaminated air stream is supplied in different speeds. When air flow is permitted 3 m/s, increasing the particle concentration, purification efficiency increased from 47,35 % to 59,48 % (efficiency increased by 12,13 %). When air flow is permitted 7 m/s, the cleaning efficiency increases by 22,64 % and at 10 m/s – cleaning efficiency increased 8,82 %.

When air flow is supplied at different speeds, the cleaning efficiency of deposition chamber is changing. Increasing the air flow rate, efficiency decreases. When the cement dust concentration is 100-125 mg/m³, the highest cleaning efficiency achieved by the 3 m/s air flow – it seeks 47,35 %. Increasing air flow at 10 m/s – efficiency is reduced by 1,1 time. The same tendency is observed with higher concentrations.

Fig. 3 shows the dependence of deposition chamber efficiency and concentration of cement dust, when the air flow is supplied in different speeds and at 45° angle of deposition plates.

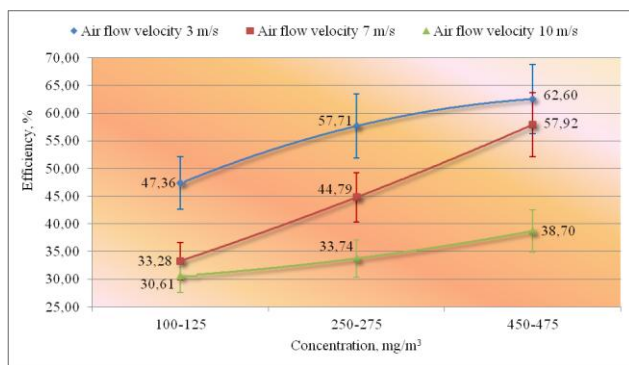


Fig. 3. Dependence of deposition chamber efficiency and concentration of cement dust, at 45° angle of deposition plates

As the graph shows, increasing the concentration of the cement dust, the deposition chamber cleaning efficiency increases. The maximum removal efficiencies obtained at the 450-475 mg/m³ concentration of dust, and the lowest – at 100-125 mg/m³ concentration. The same tendency of cleaning efficiency remains when the contaminated air stream is supplied in different speeds. When air flow is permitted 3 m/s, increasing the particle concentration, purification efficiency increased from 47,36 % to 62,60 % (efficiency increased by 15,24 %). When air flow is permitted 7 m/s, the cleaning efficiency increases by 24,64 % and at 10 m/s – cleaning efficiency increased 8,09 %.

When air flow is supplied at different speeds, the cleaning efficiency of deposition chamber is changing. Increasing the air flow rate, efficiency decreases. When the cement dust concentration is 100-125 mg/m³, the highest cleaning efficiency achieved by the 3 m/s air flow – it seeks 47,36 %. Increasing air flow at 10 m/s – efficiency is reduced by 1,2 times. The same tendency is observed with higher concentrations.

Fig. 4 shows the dependence of deposition chamber efficiency and concentration of cement dust, when the air flow is supplied in different speeds and at 60° angle of deposition plates.

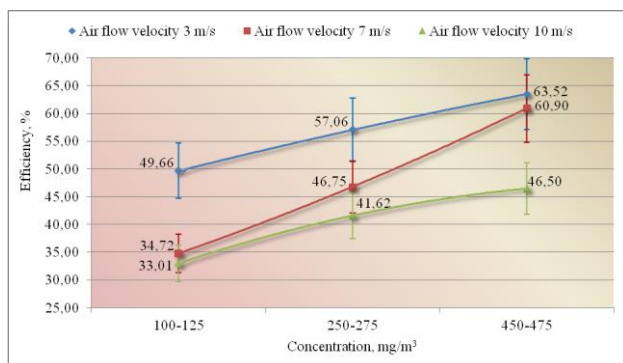


Fig. 4. Dependence of deposition chamber efficiency and concentration of cement dust, at 60° angle of deposition plates

As the graph shows, increasing the concentration of the cement dust, the deposition chamber cleaning efficiency increases. The maximum removal efficiencies obtained at the 450-475 mg/m³ concentration of dust, and the lowest – at 100-125 mg/m³ concentration. The same tendency of cleaning efficiency remains when the contaminated air stream is supplied in different speeds. When air flow is permitted 3 m/s, increasing the particle concentration, purification efficiency increased from 49,66 % to 63,52 % (efficiency increased by 13,86 %). When air flow is permitted 7 m/s, the cleaning efficiency increases by 26,18 % and at 10 m/s – cleaning efficiency increased 13,49 %.

When air flow is supplied at different speeds, the cleaning efficiency of deposition chamber is changing. Increasing the air flow rate, efficiency decreases. When the quartz sand dust concentration is 100-125 mg/m³, the highest cleaning efficiency achieved by the 3 m/s air flow – it seeks 49,66 %. Increasing air flow at 10 m/s – efficiency is reduced by 1,1 time. The same tendency is observed with higher concentrations.

Fig. 2 shows the dependence of deposition chamber efficiency and concentration of quartz sand dust, when the air flow is supplied in different speeds and at 30° angle of deposition plates.

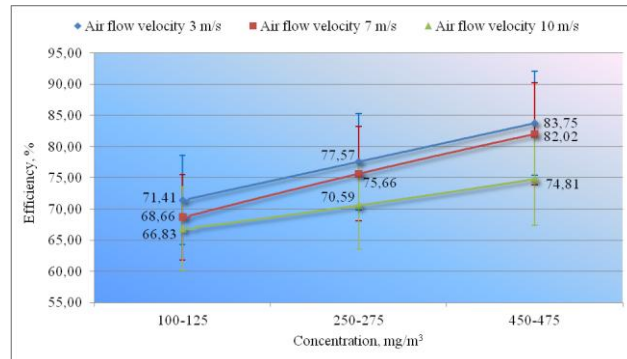


Fig. 2. Dependence of deposition chamber efficiency and concentration of quartz sand dust, at 30° angle of deposition plates

As the graph shows, increasing the concentration of the quartz sand dust, the deposition chamber cleaning efficiency increases. The maximum removal efficiencies obtained at the 450-475 mg/m³ concentration of dust, and the lowest – at 100-125 mg/m³ concentration. The same tendency of cleaning efficiency remains when the contaminated air stream is supplied in different speeds. When air flow is permitted 3 m/s, increasing the particle concentration, purification efficiency increased from 71,41 % to 83,75 % (efficiency increased by 12,34 %). When air flow is permitted 7 m/s, the cleaning efficiency

increases by 13,36 % and at 10 m/s – cleaning efficiency increased 7,98 %.

When air flow is supplied at different speeds, the cleaning efficiency of deposition chamber is changing. Increasing the air flow rate, efficiency decreases. When the quartz sand dust concentration is 100-125 mg/m³, the highest cleaning efficiency achieved by the 3 m/s air flow – it seeks 71,41 %. Increasing air flow at 10 m/s – efficiency is reduced by 1,1 time. The same tendency is observed with higher concentrations.

Fig. 3 shows the dependence of deposition chamber efficiency and concentration of quartz sand dust, when the air flow is supplied in different speeds and at 45° angle of deposition plates.

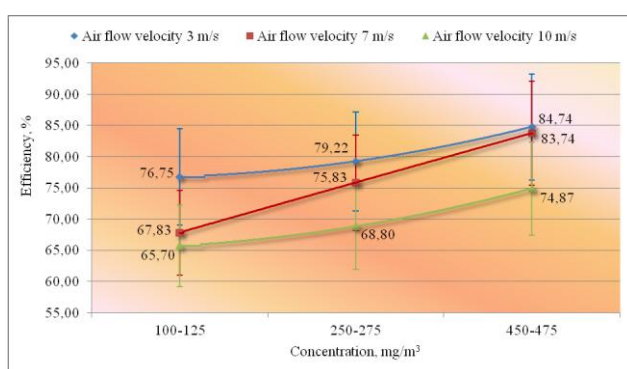


Fig. 3. Dependence of deposition chamber efficiency and concentration of quartz sand dust, at 45° angle of deposition plates

As the graph shows, increasing the concentration of the quartz sand dust, the deposition chamber cleaning efficiency increases. The maximum removal efficiencies obtained at the 450-475 mg/m³ concentration of dust, and the lowest – at 100-125 mg/m³ concentration. The same tendency of cleaning efficiency remains when the contaminated air stream is supplied in different speeds. When air flow is permitted 3 m/s, increasing the particle concentration, purification efficiency increased from 76,75 % to 84,74 % (efficiency increased by 7,99 %). When air flow is permitted 7 m/s, the cleaning efficiency increases by 15,91 % and at 10 m/s – cleaning efficiency increased 9,17 %.

When air flow is supplied at different speeds, the cleaning efficiency of deposition chamber is changing. Increasing the air flow rate, efficiency decreases. When the quartz sand dust concentration is 100-125 mg/m³, the highest cleaning efficiency achieved by the 3 m/s air flow – it seeks 76,75 %. Increasing air flow at 10 m/s – efficiency is reduced by 1,2 times. The same tendency is observed with higher concentrations.

Fig. 4 shows the dependence of deposition chamber efficiency and concentration of quartz sand dust, when the

air flow is supplied in different speeds and at 60° angle of deposition plates.

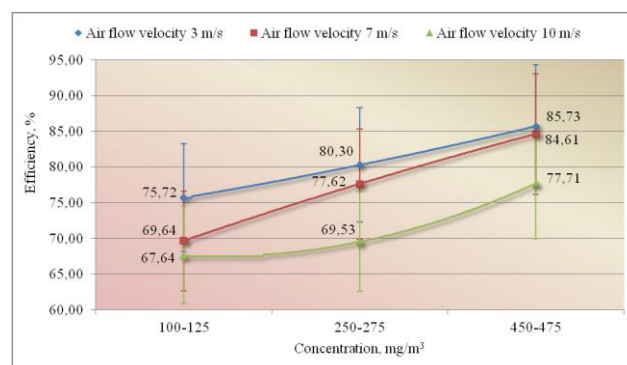


Fig. 4. Dependence of deposition chamber efficiency and concentration of quartz sand dust, at 60° angle of deposition plates

As the graph shows, increasing the concentration of the quartz sand dust, the deposition chamber cleaning efficiency increases. The maximum removal efficiencies obtained at the 450-475 mg/m³ concentration of dust, and the lowest – at 100-125 mg/m³ concentration. The same tendency of cleaning efficiency remains when the contaminated air stream is supplied in different speeds. When air flow is permitted 3 m/s, increasing the particle concentration, purification efficiency increased from 75,72 % to 85,73 % (efficiency increased by 10,01 %). When air flow is permitted 7 m/s, the cleaning efficiency increases by 14,97 % and at 10 m/s – cleaning efficiency increased 10,07 %.

When air flow is supplied at different speeds, the cleaning efficiency of deposition chamber is changing. Increasing the air flow rate, efficiency decreases. When the quartz sand dust concentration is 100-125 mg/m³, the highest cleaning efficiency achieved by the 3 m/s air flow – it seeks 75,72 %. Increasing air flow at 10 m/s – efficiency is reduced by 1,1 time. The same tendency is observed with higher concentrations.

Fig. 5 shows the dependence of deposition chamber efficiency and concentration of biofuel ash, when the air flow is supplied in different speeds and at 30° angle of deposition plates.

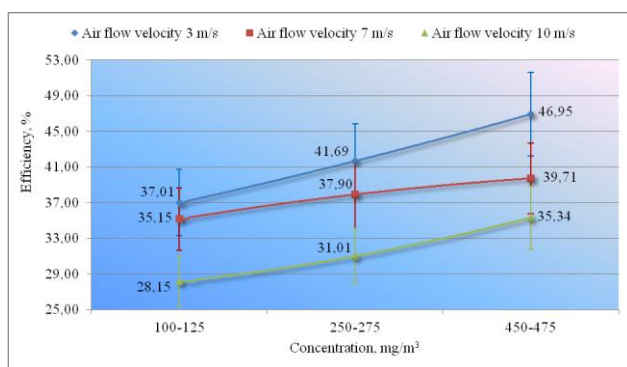


Fig. 5. Dependence of deposition chamber efficiency and concentration of biofuel ash, at 30° angle of deposition plates

As the graph shows, increasing the concentration of the biofuel ash, the deposition chamber cleaning efficiency increases. The maximum removal efficiencies obtained at the 450-475 mg/m³ concentration of dust, and the lowest – at 100-125 mg/m³ concentration. The same tendency of cleaning efficiency remains when the contaminated air stream is supplied in different speeds. When air flow is permitted 3 m/s, increasing the particle concentration, purification efficiency increased from 37,01 % to 46,95 % (efficiency increased by 9,94 %). When air flow is permitted 7 m/s, the cleaning efficiency increases by 4,56 % and at 10 m/s – cleaning efficiency increased 7,19 %.

When air flow is supplied at different speeds, the cleaning efficiency of deposition chamber is changing. Increasing the air flow rate, efficiency decreases. When the biofuel ash concentration is 100-125 mg/m³, the highest cleaning efficiency achieved by the 3 m/s air flow – it seeks 37,01 %. Increasing air flow at 10 m/s – efficiency is reduced by 1,3 times. The same tendency is observed with higher concentrations.

Fig. 6 shows the dependence of deposition chamber efficiency and concentration of biofuel ash, when the air flow is supplied in different speeds and at 45° angle of deposition plates.

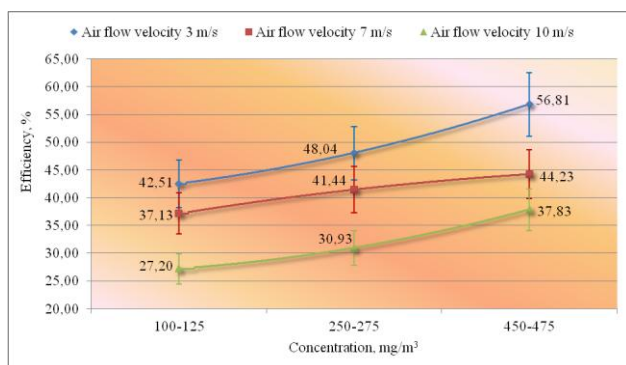


Fig. 6. Dependence of deposition chamber efficiency and concentration of biofuel ash, at 45° angle of deposition plates

As the graph shows, increasing the concentration of the biofuel ash, the deposition chamber cleaning efficiency increases. The maximum removal efficiencies obtained at the 450-475 mg/m³ concentration of dust, and the lowest – at 100-125 mg/m³ concentration. The same tendency of cleaning efficiency remains when the contaminated air stream is supplied in different speeds. When air flow is permitted 3 m/s, increasing the particle concentration, purification efficiency increased from 42,51 % to 56,81 % (efficiency increased by 14,3 %). When air flow is permitted 7 m/s, the cleaning efficiency increases by 7,1 % and at 10 m/s – cleaning efficiency increased 10,63 %.

When air flow is supplied at different speeds, the cleaning efficiency of deposition chamber is changing. Increasing the air flow rate, efficiency decreases. When the biofuel ash concentration is 100-125 mg/m³, the highest cleaning efficiency achieved by the 3 m/s air flow – it seeks 42,51 %. Increasing air flow at 10 m/s – efficiency is reduced by 1,6 times. The same tendency is observed with higher concentrations.

Fig. 7 shows the dependence of deposition chamber efficiency and concentration of biofuel ash, when the air flow is supplied in different speeds and at 60° angle of deposition plates.

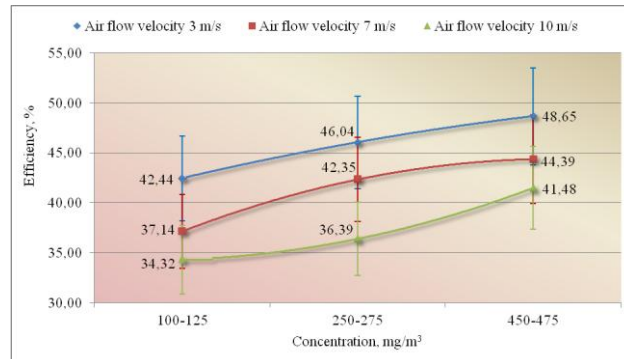


Fig. 7. Dependence of deposition chamber efficiency and concentration of biofuel ash, at 60° angle of deposition plates

As the graph shows, increasing the concentration of the biofuel ash, the deposition chamber cleaning efficiency increases. The maximum removal efficiencies obtained at the 450-475 mg/m³ concentration of dust, and the lowest – at 100-125 mg/m³ concentration. The same tendency of cleaning efficiency remains when the contaminated air stream is supplied in different speeds. When air flow is permitted 3 m/s, increasing the particle concentration, purification efficiency increased from 42,44 % to 48,65 % (efficiency increased by 6,21 %). When air flow is permitted 7 m/s, the cleaning efficiency increases by 7,25 % and at 10 m/s – cleaning efficiency increased 7,16 %.

When air flow is supplied at different speeds, the cleaning efficiency of deposition chamber is changing. Increasing the air flow rate, efficiency decreases. When the biofuel ash concentration is 100-125 mg/m³, the highest cleaning efficiency achieved by the 3 m/s air flow – it seeks 42,44 %. Increasing air flow at 10 m/s – efficiency is reduced by 1,2 times. The same tendency is observed with higher concentrations.

Quartz sand dust particles are larger (10–50 µm) and heavier, and removal efficiency with these dust is bigger – even 85,73 %. In this case, biofuel ash (8–10 µm) is the smaller and lighter particles, so their removal efficiency is lower – from 27,20 % to 56,81 %.

Experimental research have shown, that designed the initial air cleaning device – deposition chamber, is most effective when the angle of plates is 60°, and when disposed of quartz dust.

Conclusions

1. Increasing the dust concentration, the deposition chamber cleaning efficiency increases. The maximum removal efficiencies obtained at the 450-475 mg/m³ concentration of dust, and the lowest – at 100-125 mg/m³ concentration.

2. Increasing the air flow rate, efficiency decreases. The highest cleaning efficiency achieved by the 3 m/s air flow, and lowest air flow at 10 m/s.

3. Deposition chamber removal efficiency with quartz dust is bigger – even 85,73 %. Biofuel ash removal efficiency is lower – from 27,20 % to 56,81 %.

4. Deposition chamber is most effective when the angle of plates is 60°.

References

Baltrėnas P., Masilevičius R. 2004. Investigation of the properties of solid particle emissions to the environment in the wood burning process. *Geochemistry International "Interperiodika"*. Vol. 42(9). P. 887–891.

Cachier, H.; Aulagnier, F.; Sarda, R.; Gautier, F.; Masclet, P.; Besombes, J. L. 2005. Aerosol studies during the ESCOMPTE experiment. *Atmospheric Research*. Vol. 74. P. 547.

Cheremisnoff, N. P. 2002. *Handbook of Air Pollution Prevention and Control*. USA: Elsevier Science. 562 p.

Decker, E. H.; Elliot, S.; Smith, F. A.; Blake, D. R.; Rowland, F. S. 2000. Energy and material flow through the urban environment. *Annual Review: Energy Environment*. Vol. 25. P. 685–740.

Hitchins J., Moravska L., Wolff R., Gilbert D. 2000. Concentrations of submicrometre particles from vehicle emissions near a major road. *Athmospheric Environment*. Vol. 34. P. 51–59.

Mayer, M.; Wang, C.; Webster, M.; Prinn, R. G. 2000. Linking local air pollution to global chemistry and climate. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 105. P. 22 869–22 896.

Martuzevičius D., Grinshpun S. A., Reponen T., Gorny L. R., Shukla R., Lockey J., Shaohua Hu, MacDonald R., Biswas P., Kliucininkas L., LeMasters G. 2004. Spatial and temporal variation of PM_{2.5} concentration and composition throughout an urban area with high freeway density – the Greater Cincinnati study. *Athmospheric Environment*. Vol. 38. P. 1091–1105.

Petrėitis E., Vasarevičius S. 2001. Kietųjų dalelių sklaidos atmosferoje skaitinis modeliavimas taikant „Varsa“ ir „Phoenix“ programas. *Aplinkos inžinerija*. T. IX. Nr. 1. P. 23–28.

Salam, A.; Bauer, H.; Kassin, K.; Ullah, S. M.; Puxbaum, H. 2003. Aerosol chemical characteristics of a megacity in Southeast Asia (Dhaka, Bangladesh). *Atmospheric Environment*. Vol. 37. P. 2517–2528.

Trzupek, R. 2003. *Air Quality Compliance and Permitting Manual*. USA: The McGraw-Hill Company. 677 p.

Zhu Y., Hinds W. C., Kim S., Sioutas C. 2002. Concentration and size distribution of ultrafine particles near a major highway. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* Vol. 52. P. 1032–1042.

ORO SRAUTO JUDĖJIMAS NUSODINIMO KAMEROJE, ESANT SKIRTINGIEMS PLOKŠTELIŲ PASVIRIMO KAMPAMS

Rasa Butvilaitė¹, Egidijus Petraitis²

^{1,2}Vilniaus Gedimino technikos universitetas,

El. paštas: ¹rasabutvilaite@yahoo.com; ²egidijus.petraitis@vgtu.lt

Anotacija. Aprašomos nusodinimo kameros, jų panaudojimas bei veikimo principas. Nagrinėjamas oro srauto judėjimas nusodinimo kameroje su reguliuojamomis plokštelėmis. Aprašomas oro srauto greičių eksperimentinis tyrimas. Oro srauto judėjimui nusakyti buvo išmatuoti srauto greičiai 27 taškuose nusodinimo kameros viduje. Aptariamas oro srauto greičių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, keičiant nusodinimo plokštelių pasvirimo kampą – 30°, 45°, 60°. Oro srauto judėjimo trajektorijai nusakyti nusodinimo kameros viduje esant skirtingiems plokštelių pasvirimo kampams, atliktas oro srauto judėjimo nusodinimo kameros viduje skaitinis modeliavimas su „Phoenics“ programa. Aptariama greičių izopaviršių ir greičių vektorių pasiskirstymas nusodinimo kameroje.

Reikšminiai žodžiai: nusodinimo kamera, oro srauto tekėjimas, nusodinimo plokštelė, greitis

Ivadas

Šiuo metu vis aktualesnės tampa atmosferos taršos problemos, dėl kurių žmonija susiduria su tokiomis globalinėmis problemomis, kaip klimato kaita, ozono sluoksnio plonėjimas, rūgštūs lietūs (Štreimikienė ir Čiegis 2001). Didėjant energijos poreikiams, vis daugiau yra deginama organinio kuro, todėl didesni toksinių medžiagų kiekiai patenka į atmosferą (Gimbutienė and Venckus 2008). Kai energija gaminama deginant organinį kurą, visada susidaro šalutinių produktų – teršalų (pagrindiniai jų yra SO₂, NO_x, CO ir kietosios dalelės, sudarančios apie 90 % visų teršalų) emisijos į atmosferą (Štreimikienė ir Čiegis 2001). Atmosferos užterštumas kietosiomis dalelėmis yra viena opiausių aplinkos oro kokybės problemų.

Didelis dėmesys kietosioms dalelėms atmosferoje daugiausia yra skiriamas dėl jų poveikio žmonių sveikatai (Pope and Dockery 1999; Wanner 1993) ir daromos įtakos klimato kaitai (Jennings 1993). Kietųjų dalelių tarša susideda iš labai mažų dulkių dalelių plūduriuojančių ore, kurios yra kilusios iš įvairių stacionarių ir mobilių taršos šaltinių (Girgždienė and Rameikytė 2007; Wilson *et al.* 2002).

Kietųjų dalelių šalinimas iš oro srautų panaudojant nusodinimo kameras seniai taikomas pramonėje. Paprasta technologija, mažos investicijos bei paprasta techninė priežiūra, maži slėgio nuostoliai ir paprastas teršalų šalinimas kameroje – privalumai, kuriais vadovaujantis parenkamas šis valymo būdas. Nepaisant mažo dalelių surinkimo efektyvumo, nusodinimo kameros plačiai naudojamos iki šiol. Metalų apdirbimo pramonė naudoja šias kameras stambioms dalelėms rinkti, pavyzdžiui, arseno trioksidui, išsiskiriančiam arseninės vario rūdos lydymo metu. Elektros ir šilumos gamybos pramonėje

nusodinimo kameros yra naudojamos nesudegusioms stambioms anglies dalelėms sugaudyti. Taip pat šie įrenginiai yra naudingi pramonės įmonėse, kuriose nusodinant daleles, oro srautas, prieš patekdamas į efektyvesnius valymo įrenginius, turi atvėsti (Cheremisnoff 2002).

Nusodinimo kameros naudojamos kaip pirminis valymas, norint apsaugoti nuo per didelės trinties ir dulkių pertekliaus antrinio valymo įrenginius, pašalinant iš užteršto oro srauto stambias daleles (Trzupek 2003).

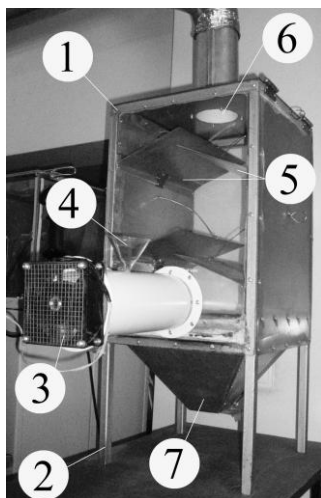
Ši technologija buvo viena pirmųjų, siekiant kontroliuoti kietųjų dalelių išmetimą į atmosferą. Veikimo principas pagrįstas oro srauto greičio sumažinimu bei sunkio jėga, kuriai veikiant, didesnio diametro dalelės nusėda surinkimo talpoje. Šios nusodinimo kameros montuojamos pramonėje, tačiau didžiausias efektyvumas šalinant 20-60 µm daleles (Lee and Huffman 2007).

Dažniausiai pramonėje naudojama paprasta horizontalioji nusodinimo kamera – ilga horizontali dėžė. Teoriškai, kuo ilgesnė horizontali nusodinimo kamera, tuo labiau yra išvalomas užterštas oro srautas. Nusodinimo kamera su horizontaliomis plokštelėmis nuo paprastos kameros skiriasi viduje esančiomis horizontaliomis pertvaromis, kurios sutrumpina kietųjų dalelių nusėdimo kelią bei pagerina smulkių dalelių surinkimo efektyvumą (Lee and Huffman 2007).

Šio darbo tikslas – nustatyti, kaip pasiskirsto oro srauto greičiai nusodinimo kameros viduje, keičiant plokštelių pasvirimo kampą (30°, 45°, 60°).

Metodika

Eksperimentinis įrenginys. Eksperimentiniai tyrimai atlikti kietųjų dalelių nusodinimo kameroje su reguliuojamomis plokštelėmis (1 pav.).



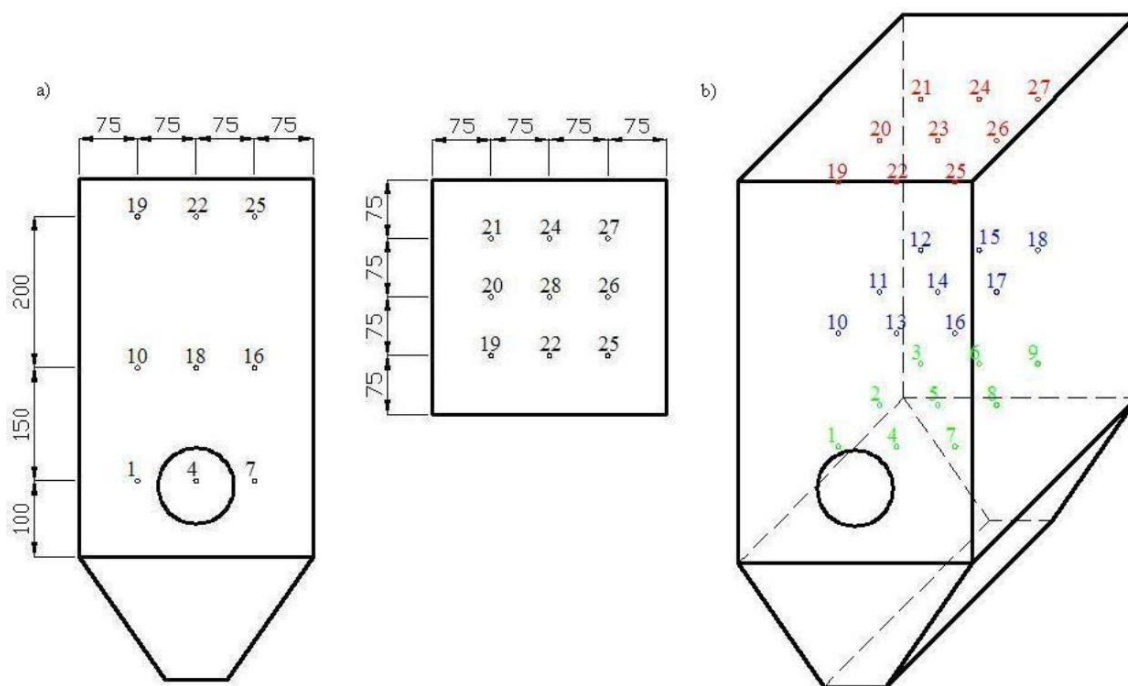
1 pav. Kietųjų dalelių nusodinimo kamera: 1 – nusodinimo kameros korpusas, 2 – kameros laikančioji konstrukcija, 3 – oro įtraukimo ventiliatorius, 4 – tiriamų medžiagų įbėrimo anga, 5 – nusodinimo plokštelės, 6 – oro ištraukimo anga, 7 – kietųjų dalelių surinkimo bunkeris

Šią kamerą sudaro nusodinimo kameros korpusas, pagamintas iš nerūdijančio plieno skardos ir organinio stiklo, tam, kad būtų galima stebėti oro srauto judėjimą kameroje, oro padavimo bei oro ištraukimo angos, ventiliatorius, dulkių surinkimo bunkeris ir keturios reguliuojamos nusodinimo plokštelės.

Užterštas oro srautas su kietomis dalelėmis teka tam tikru greičiu ir per įėjimo angą patenka į nusodinimo kamerą, kur dalelės išsisklaido ir taip sumažėja jų tekėjimo greitis. Stambiausios kietosios dalelės atsimuša į nusodinimo plokšteles, taip dar labiau sumažindamos greitį, ir veikiamos gravitacinės jėgos nusėda į surinkimo bunkerį. Smulkesnės dalelės juda su oro srautu aukštyn ir atsimušusios į aukščiau esančias plokšteles, nusėda ant žemiau esančių plokštelių paviršiaus. Išvalytas oro srautas išeina per išėjimo angą.

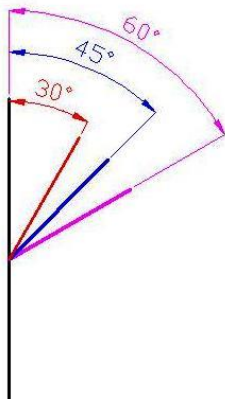
Oro srauto greičių tyrimas. Eksperimentinių tyrimų metu oro srauto greitis buvo matuojamas kameros viduje 27 taškuose (2 pav.).

Norint ištirti greičių pasiskirstymą nusodinimo kameros viduje, buvo naudojamas daugiafunkcinis fizinių parametrų analizatorius *Testo 400* prie jo prijungiant termoporą. Termoporos matavimo tikslumas kai oro srauto greitis nuo 0 m/s iki 2 m/s yra $\pm 0,01$ m/s, o kai nuo 2 m/s iki 10 m/s tai $\pm 0,2$ m/s.



2 pav. Oro srauto greičių kameros viduje matavimo taškai: vaizdas iš viršaus, vaizdas iš priekio ir bendras vaizdas

Oro srauto greičiai matuoti keičiant nusodinimo plokštelės pasvirimo kampą – 30°, 45°, 60°. Plokštelės pasvirimo kampai pavaizduoti 3 paveiksle.



3 pav. Nusodinimo plokštelės pasvirimo kampai

Oro srauto greičiai kameros viduje buvo matuojami tiekiant orą 7 m/s pradiniu greičiu. Oro srauto greičiui nusistovėjus užfiksuojamas rezultatas. Greičiai kiekviename taške buvo matuojami 3 kartus ir iš jų išvestas vidurkis.

Rezultatai ir jų analizė

Atlikus oro srauto greičių matavimus, nustatyta, kad oro srautas nusodinimo kameroje nėra tolygus. Greičių matavimo rezultatai pateikti 1 lentelėje. Keičiant nusodinimo plokštelių pasvirimo kampą, didžiausi greičiai (6,5–6,9 m/s) nustatyti ties oro įėjimo anga – 4 taške. Pagal mokslinėje literatūroje pateiktas žinias apie oro srauto judėjimą nusodinimo kameroje, įsitikinta, kad oro srautas, patekęs į kameros vidų, išsisklaido ir sumažėja jo greitis. Kylant oro srautui aukštn ir atsimušant į nusodinimo plokšteles, greitis dar labiau sumažėja.

1 lentelė. Oro srauto greičiai, esant skirtingiems nusodinimo plokštelės pasvirimo kampams

	Oro srauto greitis, m/s																											
Matavimo taškas																												
Plokštelių pasvirimo kampas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
30° kampas	2,2	2,4	2,5	6,6	5,9	4,4	3,5	3,2	2,9	0,6	1,0	2,3	0,7	0,7	2,5	0,7	1,6	3,0	0,9	1,6	1,8	1,1	1,8	1,6	1,2	2,0	2,1	
45° kampas	1,5	1,9	2,4	6,5	6,0	4,4	2,0	2,5	2,7	0,6	0,5	1,5	0,6	0,6	1,4	0,7	0,7	1,9	1,0	1,5	1,5	1,5	2,0	1,1	1,5	1,9	1,3	
60° kampas	1,7	2,2	2,3	6,9	6,1	4,5	2,7	3,2	3,0	0,9	1,2	2,3	0,7	0,6	2,0	0,8	1,4	2,6	1,5	1,8	1,9	2,2	3,0	2,3	2,1	2,5	1,8	

Iš pateiktų matavimo rezultatų matyti, koks oro srauto greitis yra atitinkamame taške, o iš to galima numatyti, kaip juda oro srautas kameros viduje esant skirtingiems plokštelių pasvirimo kampams.

Esant 30° plokštelių pasvirimo kampui, 4 matavimo taške oro srauto greitis gautas didžiausias – 6,6 m/s, nes šis taškas yra arčiausiai oro įtekėjimo angos. Srautas tekėdamas atsimuša į kameros galinę sienelę ir į nusodinimo plokšteles ir taip oro tekėjimo greičiai sumažėja iki 2,2–3,5 m/s. Oro srautas kildamas aukštn atsimuša į aukščiau esančias nusodinimo plokšteles ir dar labiau sulėtėja. Kameros viduryje vyrauja greičiai nuo 0,6 m/s iki 3,0 m/s. Artėdamas prie ištekėjimo angos, oro srautas tampa pastovesnis – vyrauja greičiai nuo 0,9 m/s iki 2,1 m/s.

Kai plokštelių pasvirimo kampas yra 45°, didžiausias oro srauto greitis taip pat gautas 4 matavimo taške – 6,5 m/s, nes šis taškas yra arčiausiai oro įtekėjimo

angos. Srautas tekėdamas atsimuša į kameros galinę sienelę ir į nusodinimo plokšteles. Oro tekėjimo greičiai sumažėja iki 1,5–2,7 m/s. Oro srautas kildamas aukštn atsimuša į aukščiau esančias nusodinimo plokšteles ir dar labiau sulėtėja. Kameros viduryje vyrauja greičiai nuo 0,5 m/s iki 1,9 m/s. Artėdamas prie ištekėjimo angos, oro srautas tampa pastovesnis – vyrauja greičiai nuo 1,0 m/s iki 2,0 m/s.

Esant 60° plokštelių pasvirimo kampui, didžiausias oro srauto greitis, kaip ir pirmaisiais dviem atvejais, gautas 4 matavimo taške – 6,9 m/s, nes šis taškas yra arčiausiai oro įtekėjimo angos. Srautas tekėdamas atsimuša į kameros galinę sienelę ir į nusodinimo plokšteles ir taip oro tekėjimo greičiai sumažėja iki 1,7–3,2 m/s. Oro srautas kildamas aukštn atsimuša į aukščiau esančias nusodinimo plokšteles ir dar labiau sulėtėja. Kameros viduryje vyrauja greičiai nuo 0,6 m/s iki 2,6 m/s. Prie ištekėjimo angos oro srauto greitis 3,0 m/s.

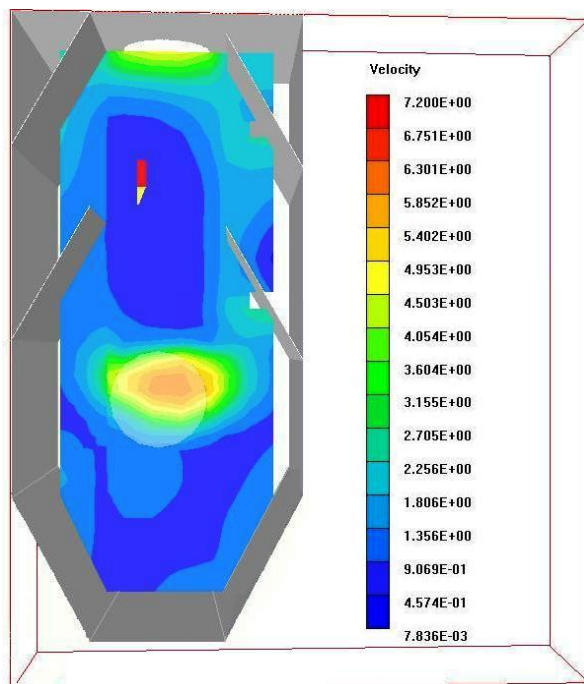
Kadangi iš eksperimentinių matavimų sunku nustatyti oro srauto judėjimo trajektoriją nusodinimo kameros viduje esant skirtingiems plokštelių pasvirimo kampams, tai atliktas oro srauto judėjimo nusodinimo kameros viduje skaitinis modeliavimas su „Phoenics“ programa.

Modeliavimo rezultatai

Sukurta nusodinimo kameros forma yra analogiška eksperimentinio tyrimo standui, su kuriuo buvo atliekami tyrimai.

Modeliavimo uždavinio rezultatai, t.y. srauto greičio pasiskirstymas nusodinimo kameros viduje, esant 30° , 45° ir 60° plokštelių pasvirimo kampams, grafiškai pateikti atitinkamai 4–9 paveiksluose. Oro srauto greičių pasiskirstymas turi atitikti dulkių dalelių koncentracijų pasiskirstymus. Didesnio greičio zonoje ir dalelių pernešama daugiau.

4 paveiksle pateikti oro srauto modeliavimo rezultatai, kai nusodinimo plokštelių pasvirimo kampas yra 30° .

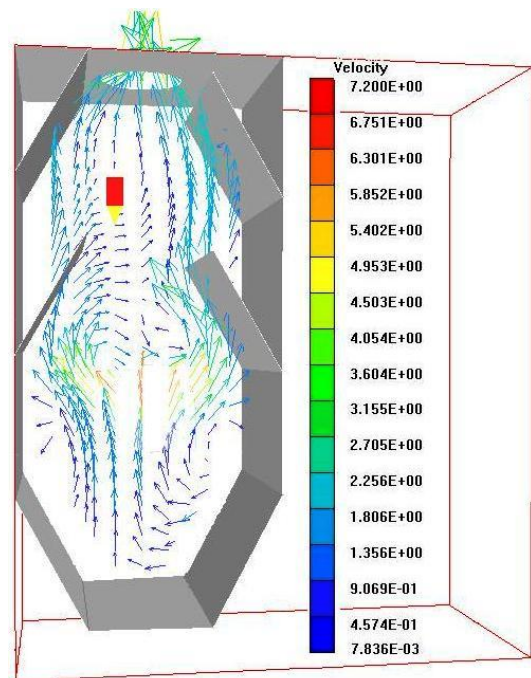


4 pav. Greičio izopaviršių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, kai plokštelės pasvirusios 30° kampu

Kaip matyti iš 4 paveikslo, oro srauto greičiai kameros viduje kinta nuo $0,0078 \text{ m/s}$ iki $7,2 \text{ m/s}$. Didžiausi oro srauto greičiai pastebimi ties oro įtekėjimo anga bei ties oro ištekėjimo anga. Kameros viduryje ir apačioje greičiai pasiskirstę maždaug vienodai.

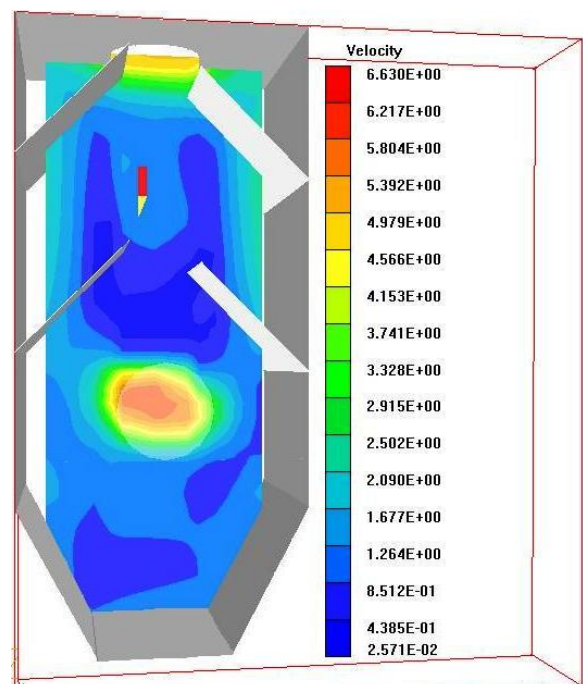
Oro srauto greičio vektorių pasiskirstymas pateiktas 5 paveiksle. Iš jo matyti oro srauto judėjimo trajektorija

nusodinimo kameros viduje. Ties įtekėjimo anga oro srautas išsisklaido ir sulėtėja. Atsimušęs į plokšteles pakeičia kryptį ir dar labiau sulėtėja, o ties išėjimo anga oro srauto greitis vėl padidėja.



5 pav. Greičio vektorių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, kai plokštelės pasvirusios 30° kampu

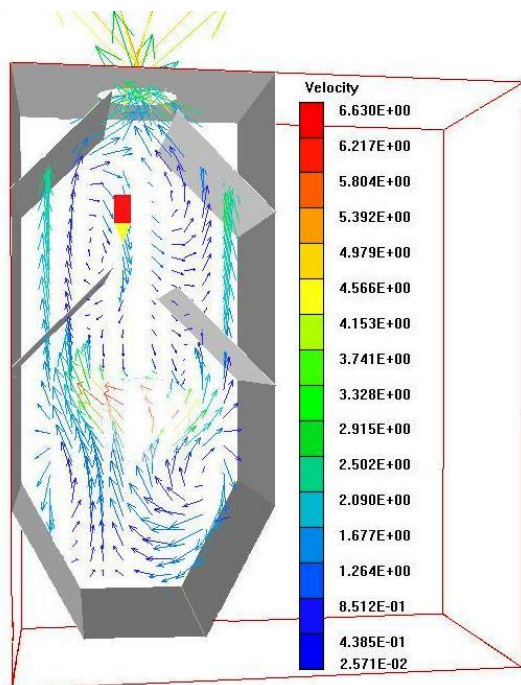
6 paveiksle pateikti oro srauto modeliavimo rezultatai, kai nusodinimo plokštelių pasvirimo kampas yra 45° .



6 pav. Greičio izopaviršių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, kai plokštelės pasvirusios 45° kampu

Kaip matyti iš 6 paveikslo, oro srauto greičiai kameros viduje kinta nuo 0,025 m/s iki 6,63 m/s. Didžiausi oro srauto greičiai pastebimi ties oro įtekėjimo anga bei ties oro ištekėjimo anga. Kameros viduryje ir apačioje greičiai pasiskirstę maždaug vienodai.

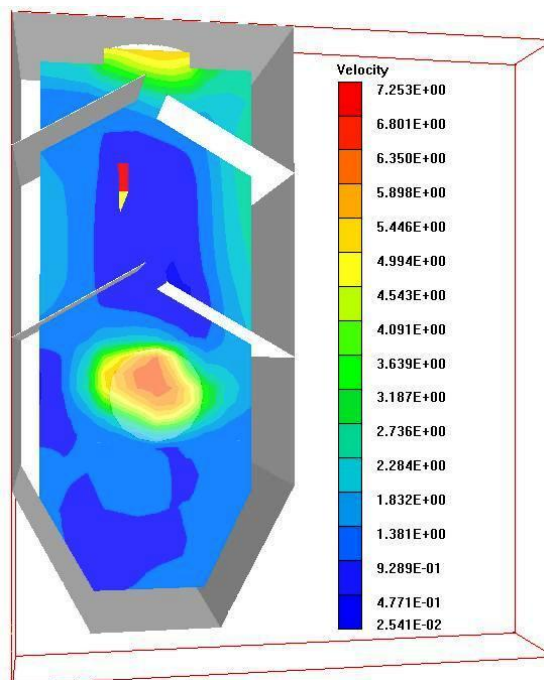
Oro srauto greičio vektorių pasiskirstymas pateiktas 7 paveiksle.



7 pav. Greičio vektorių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, kai plokštelės pasvirusios 45° kampu

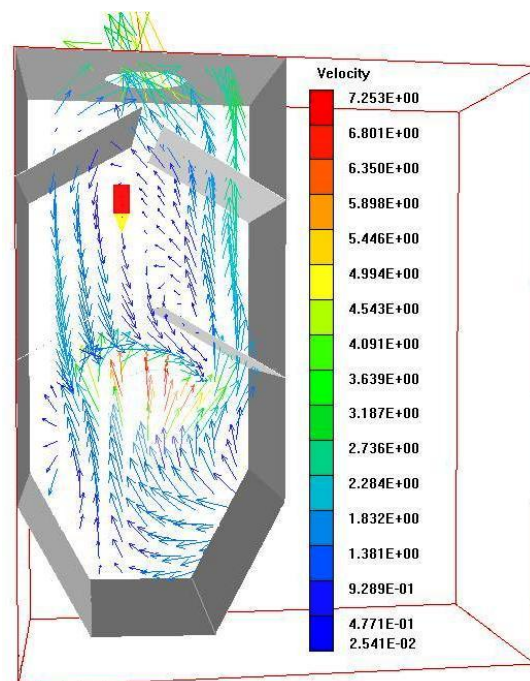
Iš 7 paveikslo matyti oro srauto judėjimo trajektorija nusodinimo kameros viduje, kai plokštelės pasvirusios 45° kampu. Ties įtekėjimo anga oro srautas išsisklaido ir sulėtėja. Atsimušęs į plokšteles pakeičia kryptį ir dar labiau sulėtėja, o ties išėjimo anga oro srauto greitis vėl padidėja.

8 paveiksle pateikti oro srauto modeliavimo rezultatai, kai nusodinimo plokštelių pasvirimo kampas yra 60°. Kaip matyti iš šio paveikslo, oro srauto greičiai kameros viduje kinta nuo 0,025 m/s iki 7,253 m/s. Didžiausi oro srauto greičiai pastebimi ties oro įtekėjimo anga bei ties oro ištekėjimo anga. Kameros viduryje ir apačioje greičiai pasiskirstę maždaug vienodai.



8 pav. Greičio izopaviršių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, kai plokštelės pasvirusios 60° kampu

Oro srauto greičio vektorių pasiskirstymas pateiktas 9 paveiksle.



9 pav. Greičio vektorių pasiskirstymas nusodinimo kameroje, kai plokštelės pasvirusios 60° kampu

Iš 9 paveikslo matyti oro srauto judėjimo trajektorija nusodinimo kameros viduje, kai plokštelės pasvirusios 60° kampu. Ties įtekėjimo anga oro srautas išsisklaido ir sulėtėja. Atsimušęs į plokšteles pakeičia kryptį ir dar

labiau sulėtėja, o ties išėjimo anga oro srauto greitis vėl padidėja.

Palyginus teoriškai apskaičiuotus (taikant modeliavimo programą „Phoenics“) ir eksperimentiškai išmatuotus rezultatus, matyti, kad jie skiriasi ~ 5–10 %.

Išvados

1. Nusodinimo kamera su horizontaliomis reguliuojamomis plokštelėmis nuo paprastos kameros skiriasi viduje esančiomis horizontaliomis pertvaromis, kurios sutrumpina kietųjų dalelių nusėdimo kelią bei pagerina smulkių dalelių surinkimo efektyvumą.

2. Oro srautas nusodinimo kameroje nėra tolygus. Keičiant nusodinimo plokštelių pasvirimo kampą, didžiausi greičiai (6,5–6,9 m/s) nustatyti ties oro įėjimo anga.

3. Modeliavimo rezultatai parodo oro srauto judėjimo trajektoriją nusodinimo kameros viduje esant skirtingiems plokštelių pasvirimo kampams. Didžiausi greičiai pastebimi ties oro įėjimo ir išėjimo angomis, o likusioje kameros dalyje oro srautas pasiskirstęs beveik vienodai.

4. Paklaida tarp teoriškai apskaičiuotų (taikant modeliavimo programą „Phoenics“) ir eksperimentiškai išmatuotų rezultatų siekia ~ 5–10 %.

Literatūra

- Cheremisnoff, N. P. 2002. *Handbook of Air Pollution Prevention and Control*. USA: Elsevier Science. 562 p.
- Gimbutienė, I.; Venckus, Z. 2008. Air pollution burning different kinds of wood in a small power boilers. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 16(2): 97–103.
- Girgždienė, R.; Rameikytė, R. 2007. Variation of PM10 mass and aerosol number concentrations in Šiauliai. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 15(1): 47–53.
- Jennings, S. G. 1993. *Aerosol Effects on Climate*. Tucson: The University of Arizona Press. 304 p.
- Lee, C. C.; Huffman, G. L. 2007. *Particulate emission control*. U. S. Environmental Protection Agency, Ohio. 80 p.
- Pope, C. A.; Dockery, D. W. 1999. Epidemiology of particle effects. *Air Pollution and Health*. San Diego: Academic Press. 673-705.
- Štreimikienė, D.; Čiegis, R. 2001. Ekonominės žalos vertinimas stacionariems atmosferos taršos šaltiniams Lietuvoje. *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba* 1(15): 12-22.
- Trzupek, R. 2003. *Air Quality Compliance and Permitting Manual*. USA: The McGraw-Hill Company. 677 p.
- Wanner, H. U. 1993. Effects of atmospheric pollution on human health. *Cellular and Molecular Life Sciences* 49: 754-758.
- Wilson, W. E.; Chow, J. C.; Claiborn, C.; Fusheng, W.; Engelbrecht, J.; Watson, J. G. 2002. Monitoring of particulate matter outdoors. *Chemosphere* 49: 1009-1043.

AIR FLOW IN SETTLING CHAMBER, WHEN THE ANGLE OF DEPOSITION PLATES IS DIFFERENT

R. Butvilaitė, E. Petraitis

Summary

The setting chambers, employment and operation principle are described in this article. The air flow movement in deposition chamber with adjustable plates is researched. Air velocity experimental study is described. To define air flow movement were measured the flow velocities inside the deposition chamber by changing the angle of deposition plates. To describe the air flow path inside settling chamber, there was performed the numerical simulation of air flow inside deposition chamber with “Phoenics” program.

Keywords: deposition chamber, air flow, deposition plate, velocity