

AKUSTINIO LAUKO POVEIKIO KAMPO ĮTAKOS DALELIŲ AGLOMERACIJAI TYRIMAI

Audrius Čereška, Irina Grinbergienė
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija. Šiame darbe pateikti kietųjų dalelių (aerozolio) taršos mažinimo galimybių akustinės aglomeracijos būdu tyrimai. Eksperimentiniams tyrimams atlikti naudoti specialūs dviejų konstrukcijų stendai su matavimo įranga. Darbe pateikti eksperimentinių stendų veikimo principai ir eksperimentų atlikimo metodikos. Atlikti kietųjų dalelių aglomeracijos efektyvumo, priklausomai nuo akustinio lauko poveikio kampo, eksperimentiniai tyrimai. Akustinio lauko žadinimui naudoti vienas ir du garso generatoriai. Atlikus tyrimus nustatyta dalelių aglomeracijos efektyvumo priklausomybė nuo akustinio signalo dažnio ir poveikio kampo. Gauti tyrimų rezultatai palyginti ir atlikta jų analizė. Tyrimų rezultatai pagrįsti atlikus kameroje nusodintų dalelių granulimetrinę analizę.

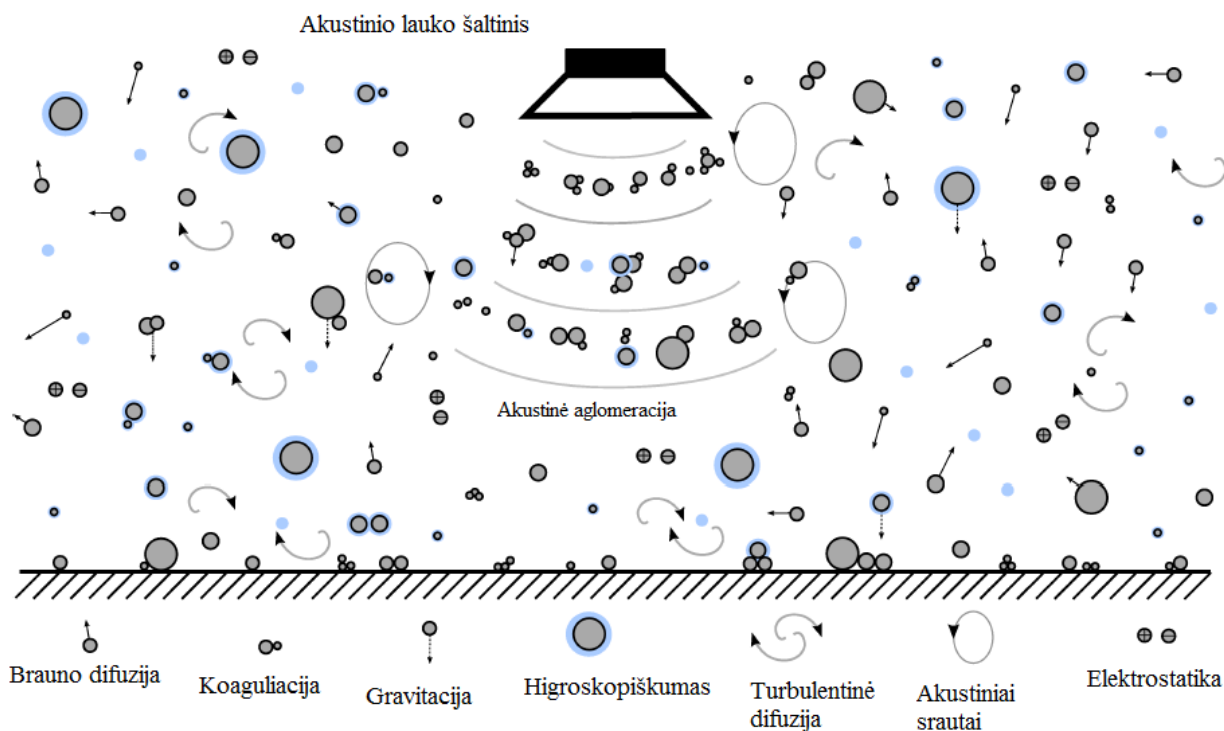
Reikšminiai žodžiai: dalelės, akustikos generatorius, granulimetrinė analizė, aglomeracija.

Įvadas

Įvairių atmosferos teršalų sklaidos mažinimas yra pagrindinė aplinkosaugos problema. Didžiausius išmetimus į atmosferą sukelia metalo apdirbimo pramonė, kietojo kuro deginimas, emisijos iš dyzelinių variklių. Pusę visų į atmosferą patenkančių kietųjų dalelių sudaro itin smulkios – iki 10 μm skersmens. Dėl itin mažų dydžių šios dalelės atmosferoje gali nukeliauti didelius atstumus. Teršalų daleles, kurių skersmuo yra mažesnis negu 10 μm, neutralizuoti naudojant įprastus valymo įrenginius (ciklonus, skruberius ir t.t.) sudėtinga. Oro valymui nuo itin smulkių dalelių reikalingos sudėtingos, daugiapakopės oro valymo sistemos. Ir šiomis dienomis yra nuolat ieškoma naujų metodų padėsiančių efektyviai mažinti aplinkos taršą smulkiais kietosiomis dalelėmis.

Teršalų daleles, kurių skersmuo mažesnis negu 10 μm, pašalinti iš užteršto oro naudojant įprastus valymo įrenginius (ciklonus, skruberius ir tt) yra itin sunku, todėl net po oro valymo proceso jos ir toliau patenka į atmosferą (Gallego et al., 1999: 3843-3849, Heidenreich et al., 2000: 2895-2905). Ciklono valymo efektyvumas tik 50 % valant 1 μm dydžio daleles (Yuen et al., 2017: 79-89), taip pat elektrostatiinių filtrų efektyvumas taikant juos tose pramonės šakose (pvz. kuro deginimas elektros gamybai), kur pagrindiniai susidarantys teršalai yra 0,1-1 μm skersmens dalelės, valymo efektyvumas krenta nuo 99,5 % iki 92-95 %. (Bin et al., 2018: 27-33). Smulkios teršalų dalelės pavojingos ne tik tuo, kad prasiskverbia giliai į plaučius ir kitus gyvybiškai svarbius organus, bet ir tuo jog turi savybę absorbuoti kitus cheminius teršalus (Shen et al., 2018: 145-150). Taip pat nustatyta, jog itin smulkios dalelės (iki 2,5 μm) ilgai išlieka aplinkos ore ir perneša įvairius virusus bei bakterijas, kurios lengvai patenka į žmogaus organizmą per kvėpavimo takus, odą ir akis. (Zu et al. 2017: 62-67). Oro valymui nuo itin smulkių dalelių reikalingos kelių pakopų oro valymo sistemos, kurioms reikia didelių energijos sąnaudų, galingų ventiliatorių ir t.t. Taip pat tokios sistemoms reikia didelių patalpų. Tokios sistemos ne tik sudėtingos, bet ir brangios (Хмельев ir kt., 2010: 22).

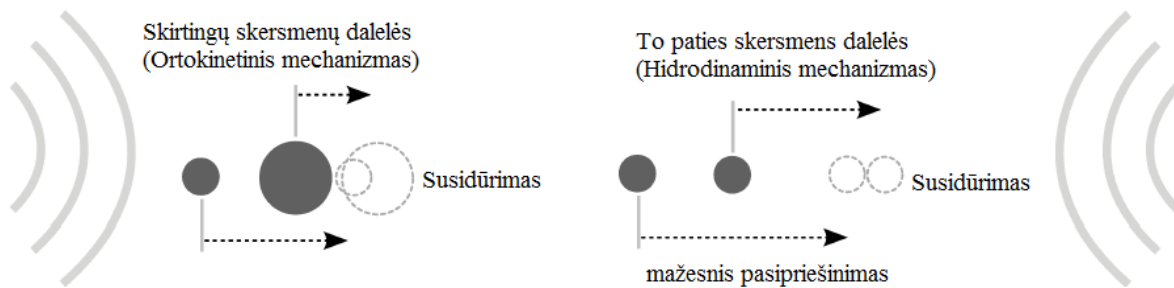
Smulkios dalelės dėl įvairių tarp jų vykstančių procesų gali aglomeruoti. Dėl itin mažų skersmenų tarp minėtųjų dalelių veikia itin stiprios Van Der Valso, elektrostatinės ir kapiliarinės jėgos, kurios kartu sudaro traukos jėgą. Dėl šios jėgos tokios dalelės gali sudaryti stambesnius aglomeratus (Guo et. al., 2012: 67-73). Dėl to yra ieškoma metodų, kaip būtų galima pagreitinti šį procesą, siekiant padidinti oro valymo efektyvumą. Vienas jų – akustinio lauko panaudojimas. Akustinio signalo poveikio dėka smulkesnės dalelės juda link stambesnių, intensyvėja sąveikos tarp pačių dalelių ir tarp dalelių ir terpės. Susidarę aglomeratai gali būti lengvai pašalinami iš užteršto oro ciklonų ar kitokiais valymo įrenginiais (Gallego et al., 1999: 3843-3849, Sarabia et al., 2005: 277-281; Dong et al., 2006: 540-553). Aglomeracija veikiant akustiniam laukui priklauso nuo įvairių veiksnių, vykstančių tarp dalelių, bei tarp dalelių ir dujinės terpės (pvz. oro). Dalelių aglomeracijos eksperimentiniais ir skaitiniais tyrimais (Hoffman, 1999: 919-936, Hoffman, 2000: 353-357, Dong et al., 2006: 540-553, Sheng et al., 2006: 16-36, Riera et al., 2015: 1023-1058, Markauskas et al., 2015: 698-704) patvirtinta, kad po dalelių poveikio akustiniu lauku padidėja stambesnių dalelių kiekis. Daleles veikiantys veiksniai pavaizduoti schemoje 1 pav.



1 pav. Daleles sraute veikiantys mechanizmai

Šaltinis: Ng et al., 2017

Veikiant akustiniu lauku dalelių aglomeracija vyksta pagrinde dviem būdais: orto kinetiniu ir hidrodinaminiu. Kiti veiksniai tokie kaip turbulencija, ir akustiniai srautai yra priskiriami antriniam veiksniam sąlygojantiems dalelių susidūrimus (Ng et al., 2017: 1-26). Ortokinetinė sąveika vyksta tarp skirtingų skersmenų dalelių, esančių viena šalia kitos ne didesniu atstumu negu akustinės bangos poslinkio amplitudė. Tai yra dalelių tarpusavio sąveika. Tuo tarpu hidrodinaminė sąveika vyksta tarp dalelių ir terpės. Hidrodinaminė sąveika vyksta tarp dalelių esančių viena nuo kitos kur kas didesniu atstumu nei akustinio lauko poslinkis. Ir tuo pačiu šis principas gali veikti tarp vienodo skersmens dalelių, kas nebūdinga orto kinetiniam. Skirtumai tarp šių principų matomi 2 pav.



2 pav. Ortokinetinis ir hidrodinaminis mechanizmai

Šaltinis: Ng et al., 2017

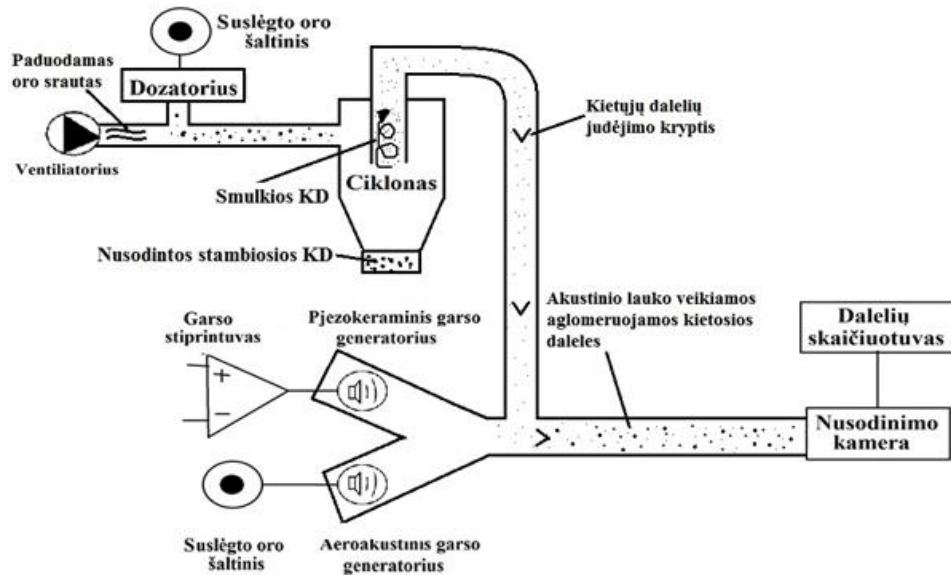
Mokslininkai iš įvairių pasaulio šalių pastoviai ieško naujų būdų pagerinančių dalelių aglomeracijos efektyvumą.

Šio darbo tikslas yra atlikti dalelių aglomeracijos eksperimentinius tyrimus naudojant du skirtingų parametrų akustinio signalo šaltinius po vieną ir kartu, bei nustatyti kuris iš šių akustinio signalo generavimo būdų yra efektyviausias.

Tyrimų įranga ir metodika

Dalelių aglomeracijos eksperimentiniam tyrimams atlikti suprojektuotas ir pagamintas specialus tyrimų stendas, kurį sudaro: ventiliatorius, dozatorius, ciklonas, akustinė kamera, optinis dalelių koncentracijos analizatorius, aeroakustinis garso generatorius, pjezokeraminis garso generatorius, nusodinimo kamera, pjezoelektrinio garso generatoriaus stiprintuvas.

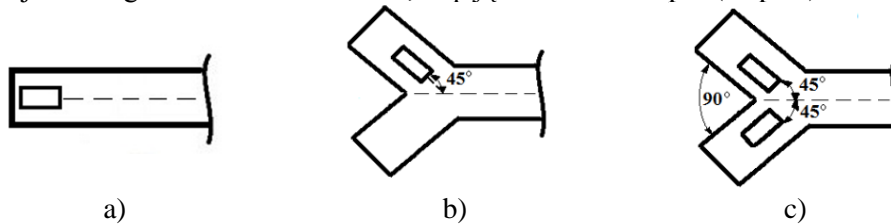
Tyrimo stendo principinė schema pateikta 3 pav.



3 pav. Tyrimo stendo principinė schema

Į sistemą ventiliatoriumi tiekiamas oro srautas, dozatoriaus pagalba tiekiamos kietosios dalelės. Naudojant cikloną iš srauto pašalinamos didesnės negu $10\ \mu\text{m}$ skersmens dalelės. Toliau smulkios kietosios dalelės keliauja link akustinio signalo šaltinių. Atliekant šį tyrimą buvo naudoti dviejų tipų garso generatoriai: aeroakustinis (8kHz, 138 dB) ir pjezokeraminis (24 kHz, 136 dB). Tyrimas buvo atliktas trimis būdais:

1. Naudojant vieną garso generatorių, sumontavus jį išilgai dalelių srauto (4a pav.);
2. Naudojant vieną garso generatorių, sumontavus jį 45° kampui į dalelių srautą (4b pav.);
3. Naudojant abu generatorius vienu metu, tarp jų esant 90° kampui (4c pav.).

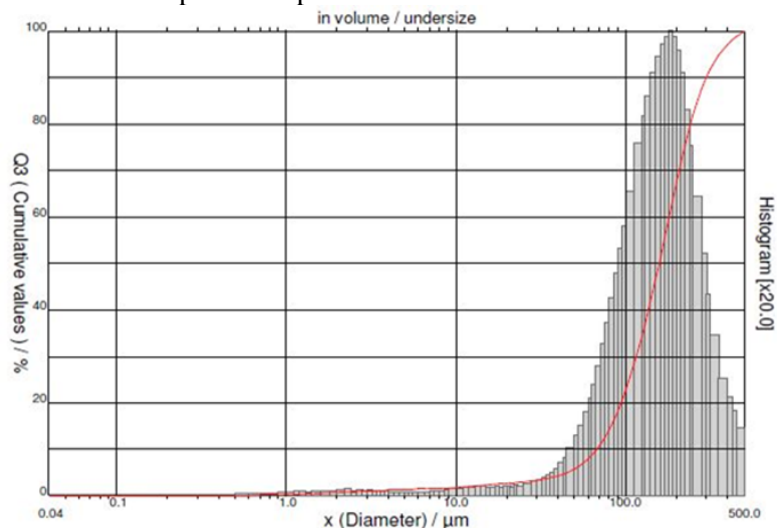


4 pav. Garso generatorių išdėstymo schemas

Aglomeravusių dalelių kiekio matavimai buvo atlikti nusodinimo kameroje optiniu dalelių skaičiuotuvu Ergo Touch Pro 2.

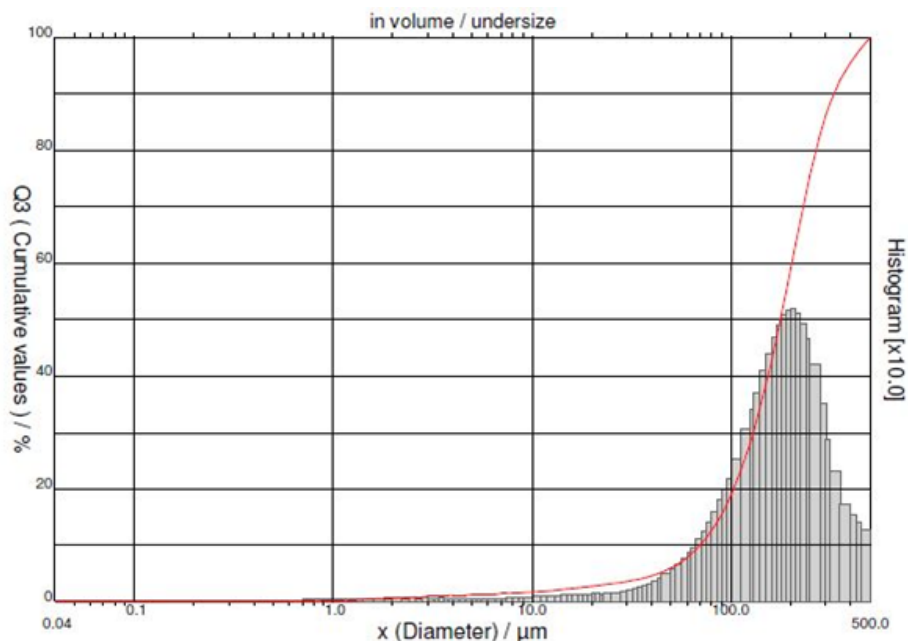
Rezultatai ir jų analizė

Prieš tyrimą buvo atlikta dalelių, naudojamų eksperimentui, sudėties granulimetrinė analizė. Granulimetrinės analizės rezultatai pateikti 5 pav.



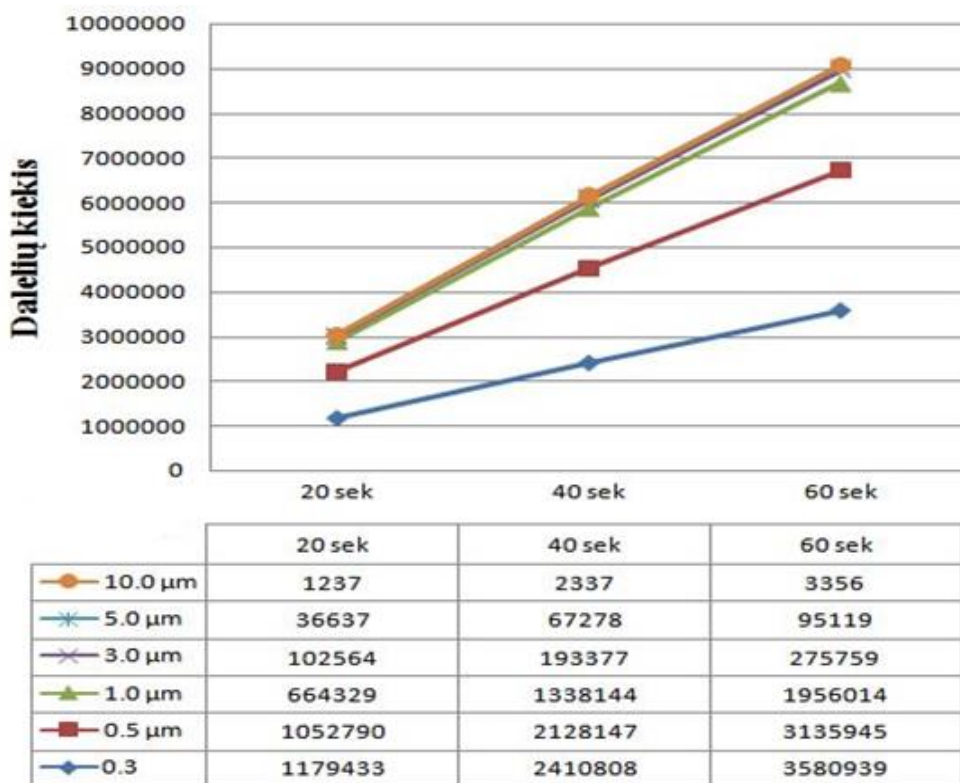
5 pav. Pirminių dalelių granulimetrinė sudėtis

Siekiant, kad į aglomeracijos zoną patektų ne didesnės kaip 10 µm dydžio dalelės, buvo ištirta ir dalelių nusėdusių ciklone granulimetrinė sudėtis. Rezultatai pateikti 6 pav.



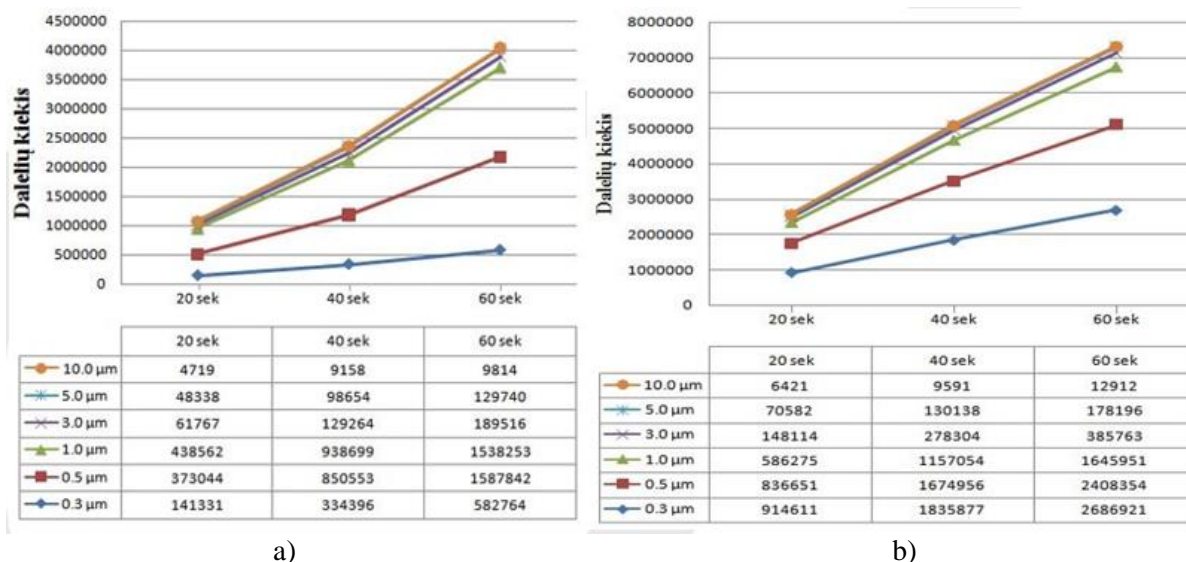
6 pav. Dalelių, nusodintų ciklone granulimetrinė sudėtis

Prieš atliekant eksperimentus su akustinio signalo šaltiniais, buvo išmatuotas tiriamųjų dalelių kiekio sraute pasiskirstymas. Tai svarbu nustatinėjant dalelių aglomeracijos efektyvumą. Rezultatai pateikti 7 pav.



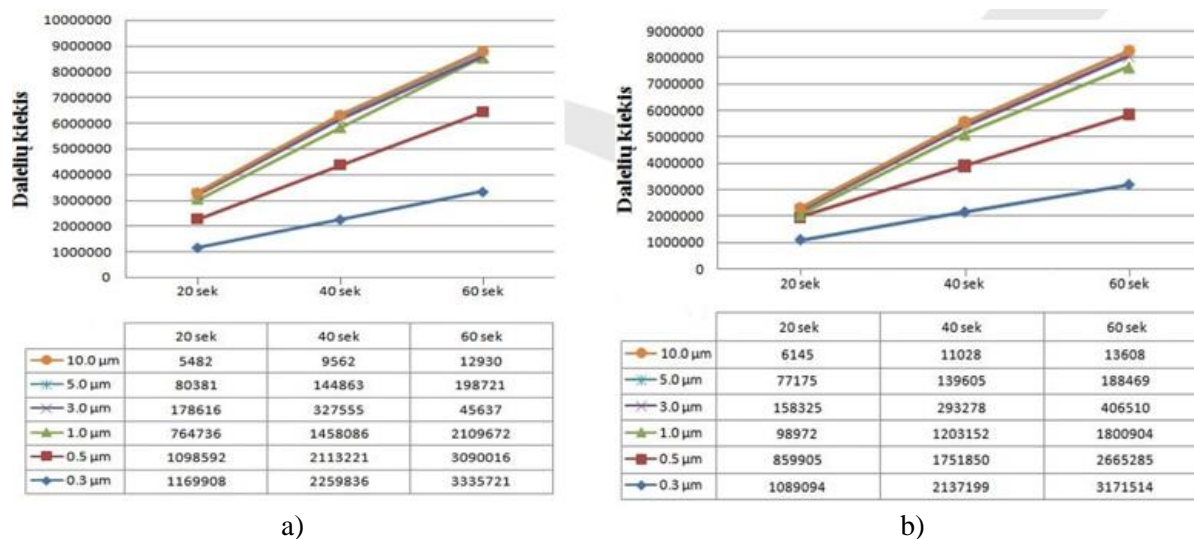
7 pav. Dalelių kiekio pokytis kintant laikui, neveikiant akustinio signalo šaltiniui

Po to buvo atliekami tyrimai naudojant akustinio signalo šaltinius. Akustinio signalo šaltiniai buvo išdėstyti, dalelių srauto atžvilgiu, įvairiais kampais. Generatoriai sumontuoti skirtingais būdais: vienas garso generatorius išilgai dalelių srauto (4a pav.); vienas garso generatorius pakreiptas į dalelių srautą 45° kampu (4b pav.); du garso generatoriai, tarp jų 90° kampas į dalelių srautą 45° kampu (4c pav.). Rezultatai pateikti grafikuose (8, 9, 10 pav.).



8 pav. Dalelių skaičiaus pokytis kintant laikui, kai generatoriai išdėstyti išilgai dalelių srauto: a – piezokeraminis garso generatorius, b - aeroakustinis garso generatorius

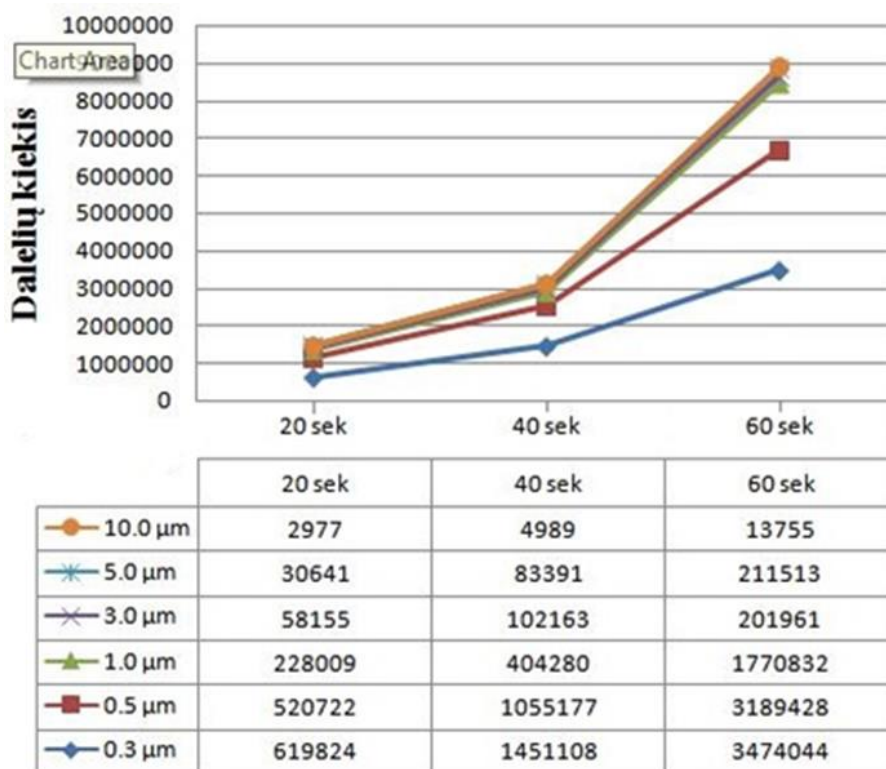
Vertinant generatorių sukuriamo akustinio lauko įtaką dalelių aglomeracijai kai jie buvo sumontuoti išilgai dalelių srauto, nustatyta, kad aeroakustinio generatoriaus sukuriamas akustinis signalas dalelių aglomeracijai yra efektyvesnis negu piezokeraminio generatoriaus. Tai matoma iš padidėjusių stambesnių dalelių (nuo 5 iki 10 μm) kiekio.



9 pav. Dalelių skaičiaus pokytis kintant laikui, kai generatoriai išdėstyti 45° kampu į srautą: a – piezokeraminis garso generatorius, b - aeroakustinis garso generatorius

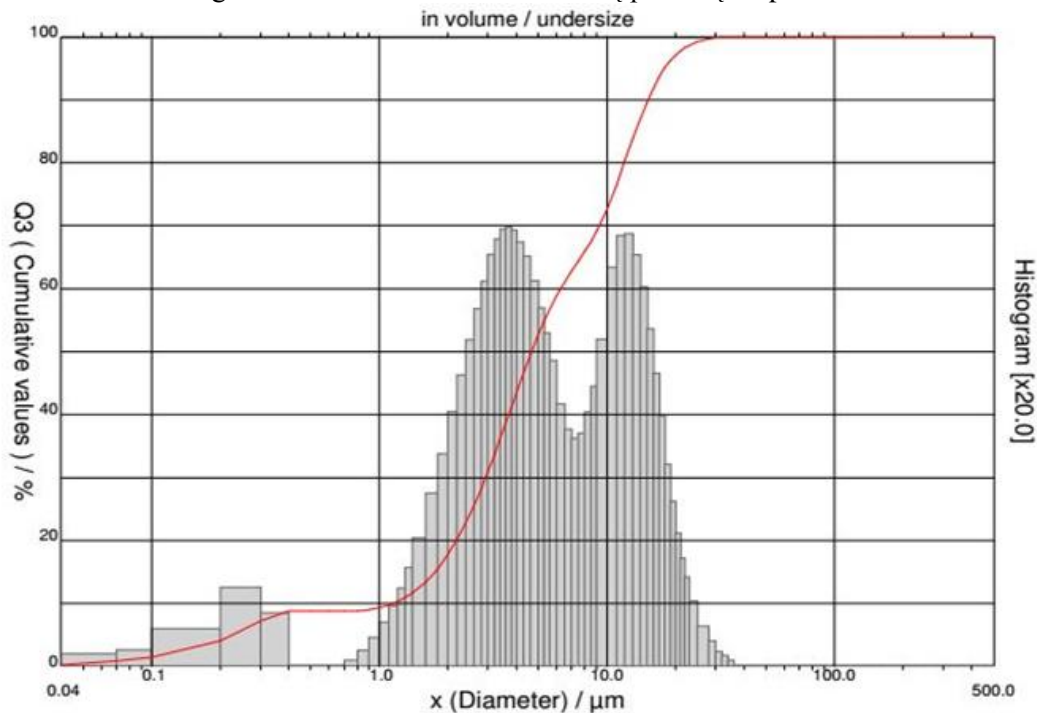
Iš aeroakustinio garso ir piezokeraminio garso generatorių akstinių laukų veikiančių dalelių srautą 45° kampu dalelių aglomeracijos rezultatų matoma, kad stambesnių dalelių (5 iki 10 μm) kiekis padidėjo. lyginant su kiekiu, gautu veikiant daleles išilgai jų srauto.

Tai reiškia, jog akustinio signalo poveikio kampas turi įtakos aglomeracijos efektyvumui.



10 pav. Dalelių skaičiaus pokytis kintant laikui, kai tarp garso generatorių 90° kampas

Iš gautų rezultatų matoma, kad geriausias dalelių aglomeracijos rezultatas gautas veikiant akustiniam signalui, kuris buvo sugeneruotas dviem 90° kampu, vienas kito atžvilgiu, sumontuotais garso generatoriais. Taikant šį garso šaltinių išdėstymo variantą ženkliai padidėjo 3 ir 5 μm dydžio dalelių lyginant su tyrimais, atliktais naudojant po vieną generatorių. Tai reiškia, kad smulkesnės dalelės (iki 1 mikrometro) aglomeravosi į stambesnes. Tai matoma iš granulimetrinės analizės rezultatų pateiktų 11 pav.



11 pav. Dalelių, aglomeravusių naudojant du 90° kampu išdėstytus generatorius, granulimetrinė sudėtis

Iš granulimetrinės dalelių sudėties rezultatų matoma (11 pav.), kad labai padidėja dalelių, didesnių negu 1 μm skaičius, o dalelių kurių skersmuo mažesnis negu 0,5-0,7 μm visai nėra. Tai reiškia, kad veikiant vienu metu dviem garso generatoriams, tarp kurių 90° kampas, minėtosios dalelės efektyviai aglomeruoja į stambesnes ir nusėda kameroje.

Išvados

1. Atlikus tyrimus nustatyta dalelių aglomeracijos efektyvumo priklausomybė nuo akustinio signalo dažnio ir poveikio kampo.
2. Nustatyta, kad akustinio signalo poveikio kampas turi įtakos dalelių aglomeracijos efektyvumui.
3. Atliktų eksperimentų rezultatai rodo, jog geriausias dalelių aglomeracijos rezultatas pasiektas veikiant akustiniam signalui, kuris buvo sugeneruotas dviem 90° kampu, vienas kito atžvilgiu, sumontuotais garso generatoriais.

Literatūra

1. Bin, H.; Yang, Y.; Zhou, L.; Shen, A.; Cai, L.; Yang, L.; Roszak, S. 2018. Experimental and DTF studies of PM_{2,5} removal by chemical agglomeration. *Fuel* 212: 27-33.
2. Dong, S.; Lipkens, B.; Cameron, T.M. 2006. The effects of orthokinetic collision, acoustic wake, and gravity on acoustic agglomeration of polydisperse aerosols. *Journal of Aerosol Science* 37: 540–553.
3. Gallego, J.A.; Sarabia, E.R.; Rodriguez, G. 1999. Application of acoustic agglomeration to reduce fine particle emissions from coal combustion plants. *Environmental Science and Technology* 33 (21): 3843–3849.
4. Guo, Q.; Yang, Z.; Zhang, J. 2012. Influence of a combined external field on the agglomeration of inhalable particles from a coal combustion plant. *Powder Technology* 227: 67-73.
5. Heidenreich, S.; Vogt, U.; Büttner, H. 2000. A novel process to separate submicron particles from gases—a cascade of packed columns. *Chemical Engineering Science* 55: 2895–2905.
6. Hoffmann, T.L. 1999. An extended kernel for acoustic agglomeration simulation based on the acoustic wake effect. *Journal of Aerosol Science* 28(6): 919–936.
7. Hoffmann, T.L. 2000. Environmental implications of acoustic aerosol agglomeration. *Ultrasonics* 238 (1–8): 353–357.
8. Yuen, W.T.; Fu, S.C.; Chao, Y.H. 2017. The effect of aerosol size distribution and concentration on the removal efficiency of an acoustic aerosol removal system. *Journal of aerosol science*. 104: 79-89.
9. Markauskas, D.; Kačianauskas, R.; Maknickas, A. 2015. Numerical particle-based analysis of the effects responsible for acoustic particle agglomeration. *Advanced Powder Technology* 26: 698-704.
10. Ng, B.F.; Xiong J.W.; Wan M.P. 2017 Application of acoustic agglomeration to enhance air filtration efficiency in air-conditioning and mechanical ventilation (ACMV) systems. *PLoS ONE* 12(6): 1-26.
11. Riera, E.; Gonzalez-Gomez, I.; Rodrigue, G.; Gallego-Juarez, J.A. 2015. Ultrasonic agglomeration and preconditioning of aerosol particles and other applications. *Powder Ultrasonics* 38(1–8): 1023–1058.
12. Sarabia, E.R.; Elvira-Segura, L.; Gonzalez-Gomez, I. 2003. Investigation of the influence of humidity on the ultrasonic agglomeration of submicron particles in diesel exhausts. *Ultrasonics* 41: 277–281.
13. Shen, G.; Huang, X.; He, Ch.; Zhang, Sh.; An, L. 2018. Experimental study of acoustic agglomeration and fragmentation on coal-fired ash with different particle size distribution. *Powder Technology* 325: 145-150.
14. Sheng, C.; Shen, X. 2006. Modelling of acoustic agglomeration processes using the direct simulation Monte Carlo method. *Journal of Aerosol Science* 37(1): 16–36.
15. Zu, K.; Yao, Y.; Cai, M.; Zhao, F.; Cheng, D.L. 2017. Modeling and experimental study on acoustic agglomeration for dust particle removal. *Journal of Aerosol Science* 114: 62-76.
16. Хмелев, В.Н.; Шалунов, А.В.; Шалунова, К.В.; Цыганок, С.Н.; Барсуков, Р.В.; Сливин, А.Н. 2010. Ультразвуковая коагуляция аэрозолей. Монография. Бийск. Издательство Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова

INVESTIGATIONS OF ACOUSTIC FIELD ANGLE ON THE INFLUENCE TO THE AGGLOMERATION OF PARTICLES

Summary

Researches of hard particles (aerosol) of pollution reduction with acoustic agglomeration method are presented in this work. Special dual - constructions stands with measuring equipment are used for experimental investigations. The principles of operation of experimental stands and experimental techniques are presented in this work. Experimental investigations of the agglomeration efficiency of hard particles, depending on the acoustic field angle are done. One and two sound generators are used for acoustic field excitement. There are established the dependence of agglomeration efficiency on the acoustic signal frequency and angle of impact after researches. The obtained results were compared and were analyzed. The results of the researches were based after granulometric analysis of the particles precipitated in the chamber.

Key words: particles, acoustic generator, granulometric analysis, agglomeration.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Audrius, Čereška

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, profesorius

Darbo vietą ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos fakulteto, Mechanikos ir medžiagų inžinerijos katedros profesorius

Autoriaus mokslinių interesų sritys: mechaninių statinių ir dinaminių sistemų diagnostika ir monitoringas

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 606 90514, audrius.cereska@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Irina Grinbergienė

Mokslo laipsnis ir vardas: doktorantė, lektorė

Darbo vietą ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos fakulteto, Mechanikos ir medžiagų inžinerijos katedros lektorė

Autoriaus mokslinių interesų sritys: aplinkos užterštumo problemos

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 686 60623, irina.grinbergiene@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Audrius, Čereška

Science degree and name: doctor, professor

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Mechanics faculty, Mechanics and materials engineering department professor

Author's research interests: diagnostics and monitoring of static and dynamic mechanical systems

Telephone and e-mail address: +370 606 90514, audrius.cereska@vgtu.lt

Author name, surname: Irina Grinbergienė

Science degree and name: graduate student, lecturer

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Mechanics faculty, Mechanics and materials engineering department associated lecturer

Author's research interests: problems of environmental pollution

Telephone and e-mail address: +370 686 60623, irina.grinbergiene@vgtu.lt