



## SKIRTINGŲ MEDŽIAGŲ CIKLONO DARBINIŲ PAVIRŠIŲ DILIMO, VEIKIANT ĮVAIRIOMS ABRAZYVINĖMS MEDŽIAGOMS, TYRIMAS

Tomas GAILIUS<sup>1</sup>, Ieva ŠVAGŽDYTĖ<sup>2</sup>

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*  
*El. paštas: <sup>1</sup>tomasgailiuss@gmail.com; <sup>2</sup>ieva.svagzdyte@vgtu.lt*

**Santrauka.** Ciklonai naudojami dalelėms iš užteršto oro pašalinti. Šiame darbe buvo tirtas kietųjų dalelių poveikis vidinei ciklono sienelei. Suprojektuotas stendas, kuriame buvo galima keisti ciklono įdėklą, variklio sūkių dažnį ir abrazyvines medžiagas. Įdėklai pagaminti iš plieno, nerūdijančiojo plieno ir poliuretano. Kaip abrazyvinės medžiagos naudotas kvarcinis smėlis, stiklo rutuliukai, plieno rutuliukai ir korundas. Nustatyta, kad didžiausią poveikį sienelei daro plieno rutuliukai, kai variklio sūkių dažnis yra 2400 sūk./min, atspariausia dilimui medžiaga buvo nerūdijantysis plienas.

**Reikšminiai žodžiai:** abrazyvinės medžiagos, ciklonas, išdilimas, kietosios dalelės, nerūdijantysis plienas.

### Įvadas

Oras – tai ne tik dujų mišinys, bet ir jame pakibusios kietosios ir skystosios dalelės, vadinamos aerozoliais. Iš įvairių taršos šaltinių į orą patekusių cheminių medžiagų emisijos išsisklaido, dalis jų transformuojasi į kitas medžiagas ar junginius ir oro masių pernešamos tolyn nuo šaltinio. Vykstant atmosferos valymosi procesams (išplaunant teršalus krituliams arba jiems sausai nusėdant), teršiančios medžiagos priklausomai nuo jų cheminių ir fizinių savybių bei meteorologinių sąlygų įvairiu greičiu, taigi ir įvairiu atstumu nuo taršos šaltinio (nuo keliasdešimties metrų iki tūkstančių kilometrų) nusėda sausumoje ar ant vandens paviršiaus.

Kietosiomis dalelėmis vadinami ore esančių dalelių ir skysčio lašelių mišiniai. Šiuose mišiniuose gali būti įvairių pavojingų elementų – rūgščių, sulfatų, nitratų, kitų druskų mišinių, organinių junginių, metalų, dirvožemio dalelių, suodžių, nusidėvėjusių padangų, stabdžių, šaligatvių dangos dulkių. Kietosios dalelės pasižymi ir kita savybe – jos labai efektyviai absorbuoja toksines medžiagas ir mikroorganizmus. Tai reiškia, kad dalelės gali pernešti ir labai pavojingas medžiagas. Kietosios dalelės skirstomos pagal dydį, o matuojamos mikronais. Pavojingiausios iš jų yra jau minėtos KD10 (mažesnės nei dešimt mikronų) ir KD2,5 (mažesnės nei du su puse mikrono) (Kietosios... 2011).

Dulkių mažinimo problema, atitiktis leistinoms dulkių koncentracijoms atmosferoje gali būti išspręsta, jeigu yra teisingai suprojektuotas ekonomiškai ir gana efektyvus dulkių gaudytuvas konkrečiu atveju.

Yra naudojamos kelios dulkių valymo technologijos:

- mechaninis valymas vyksta dėl išorinių jėgų, valymas ciklonuose išcentrinėmis jėgomis;
- šlapiausias valymas – dalelių savybė reaguoti su vandeniu ar emulsija;
- valymas filtrais – dalelių nusodinimas ant porėtos medžiagos;
- valymas naudojant elektrą.

Kietosioms dalelėms iš oro išvalyti dažniausiai yra naudojami ciklonai. Ciklonai (graik. *Cyclon* pasuktas) – tai vieni iš populiariausių dispersinės taršos valymo įrenginių. Jų platų naudojimą lemia jų konstrukcijos paprastumas, patikimumas eksploatuojant, reikalaujantis nedidelių išlaidų.

Ciklonų veikimo principas yra pagrįstas dispersinės fazės atskyrimu nuo dujinės fazės išcentrinėmis jėgomis, atsirandančiomis dėl dujų srauto sukurių ciklone (Striška 2001).

### Tyrimo objektas

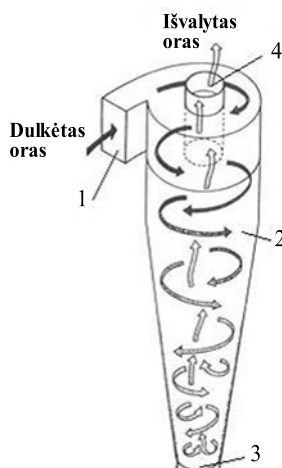
Dėl paprastumo, pigumo ir patogios eksploatacijos ciklonai labai plačiai naudojami. Galima būtų pabrėžti šiuos jų privalumus:

- nėra mechaniškai judančių dalių;
- patikimas funkcionavimas esant aukštomis temperatūroms iki 500 °C ir daugiau. Jeigu reikia aukštesnės temperatūros, tada jų gamybai reikalingas specialus plienas;

- nesunkiai pritaikomi abrazyvinėms medžiagoms sulaikyti, jų vidų padengiant specialia trinciai atsparia medžiaga;
- sulaikomos sausos dulkės;
- pastovus hidraulinio pasipriešinimo koeficientas;
- aparatai gali dirbti esant aukštiems slėgiams;
- jų paprasta gamyba;
- oro srauto užterštumo lygis nekeičia frakcinio dulkių nusodinimo efektyvumo lygio;
- teisingai suprojektuoti ciklonai gali dirbti dešimtmečius (Striška 2001).

Reikia atkreipti dėmesį į tai, kad aukšto efektyvumo ciklonų hidraulinis pasipriešinimas siekia 1250–1500 Pa, dalelės, kurių dydis mažesnis kaip 5 μm, yra sulaikomos neefektyviai.

Ciklonai neturi judamų dalių ir būna įvairiausių formų. Jie naudoja inercijos jėgą dalelėms iš dujų srauto atskirti. Kadangi inercinė jėga sukuriama besisukančio dujų srauto, todėl inercinė jėga dažnai vadinamas išcentrine (1 pav.). Kiekvieną valomą dalelę veikia trys jėgos: gravitacinė, išcentrinė ir trinties (Mycock *et al.* 1995; Denafas 2000).



1 pav. Oro srauto judėjimas ciklone  
Fig. 1. Moving of air flow in cyclone

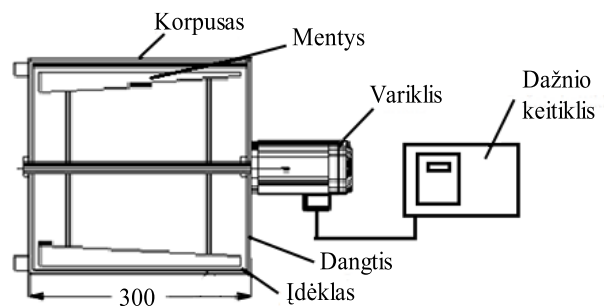
Atlikti tyrimai, kaip dalelių kampinis greitis ir koncentracijos pasiskirstymas keičiasi prie ciklono sienelių. Nustatyta, kad prie vidinės sienelės dalelės susitelkia į 4–12 mm storio ruožus (Shaohua *et al.* 2008). Dalelės taip pat sukimba ciklono viduje, priklausomai nuo dalelių judėjimo geičio, jų dydžio, ciklono formos. Dalelėms sukimbant jas lengviau išvalyti, šį procesą galima sumodeliuoti ir pritaikyti rezultatus praktiškai (Alves *et al.* 2014). Dėl šių priežasčių ciklono sienelės dyla ir trumpėja eksploatacijos laikas.

Šiame tyrime buvo nagrinėtas ciklonas, kurio viena iš labiausiai dylančių dalių yra vidinė sienelė (įdėklas), kuri

reikia keisti, kai šis nusidėvi. Todėl svarbu ištirti, kokios medžiagos atsparesnės dilimui ir kaip dilimas gali būti sumažinamas keičiant srauto greitį (Baltrėnas *et al.* 2000).

### Eksperimento aprašymas

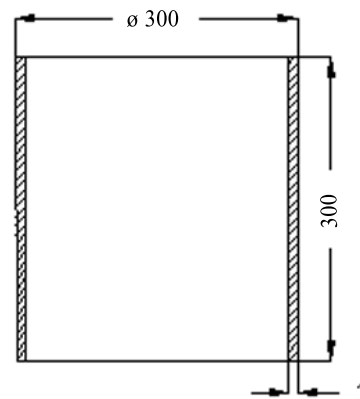
Šiame darbe nagrinėjamas ciklono sienelės dilimas. Šiam tyrimui atlikti sukonstruota ciklono dalis, kurioje sparnuote buvo sukurta išcentrinė jėga (4 pav.). Šį stendą sudaro korpusas, jame sumontuotos mentys, elektros variklis, dažnių keitiklis, kuriuo keičiami variklio sūkiai (2 pav.), trijų skirtingų medžiagų įdėklai, kurių matmenys pavaizduoti 3 pav.



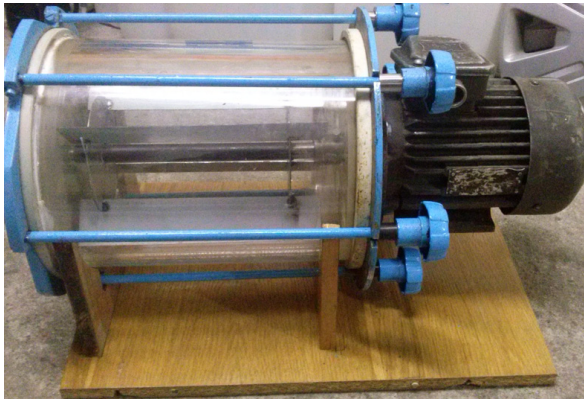
2 pav. Eksperimentinis stendas  
Fig. 2. Test stand

Analizuojant ciklono sienelės dilimo mažinimo efektyvumą, kaip abrazyvinė medžiaga naudojamas kvarcinis smėlis (frakcija ~40 μm), stiklo rutuliukai (frakcija ~160 μm), plieno rutuliukai (frakcija ~600 μm), korundas Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (frakcija ~600 μm). Šios abrazyvinės medžiagos pasirinktos todėl, kad didžiąją dalį teršalų į atmosferą išmeta pramonės įmonės. Jose dažnai pasitaiko įvairių metalų ar kitų kietų medžiagų smulkių frakcijų, kurias kaip kietąsias daleles ir reikia pašalinti iki joms patenkant į atmosferą.

Norint nustatyti, kuri konstrukcinė medžiaga efektyviausiai tinka ciklono korpuso vidinės dalies gamybai,



3 pav. Įdėklo eskizas  
Fig. 3. Sketch of insert



4 pav. Tyrimo standas be įdėklo  
Fig. 4. Test stand without insert

bandymams atlikti naudojamos trys skirtingos įdėklų medžiagos: plienas, nerūdijantysis plienas, poliuretanas.

Konstruocijos vidinės dalies išdilimas nustatomas sveriant: įdėklas sveriamas prieš ir po bandymo. Gaunamas masės pokytis, iš kurio galima spręsti apie abrazyvo poveikį sienelei ir skirtingiems abrazyvams naudoti tą patį įdėklą.

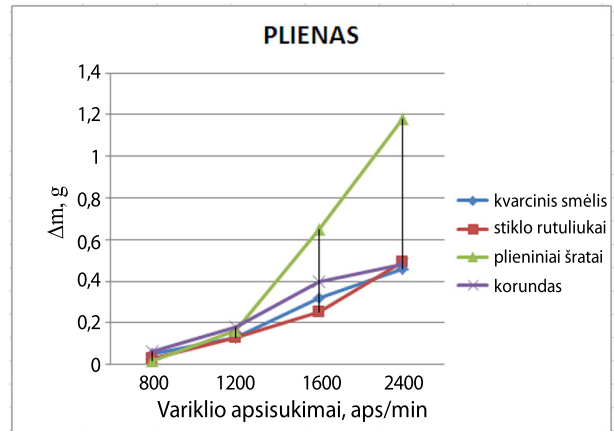
Tyrimai buvo atlikti su 1 mm storio plieninės skardos, nerūdijančiojo plieno skardos, poliuretano įdėklais, kurie buvo veikiami kvarciniu smėliu, stiklo rutuliukais, plieniniais šratais, korundu. Kiekvienos iš šių medžiagų buvo naudojama po 150 g. Bandymai atlikti keičiant variklio sūkius: 800; 1200; 1600; 2400 sūk./min. Kiekvienas įdėklas bus veikiamas abrazyvinės medžiagos 10 minučių. Kiekvienu atveju atliekama po tris matavimus ir grafikuose pateikiamas trijų matavimų vidurkis.

### Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas

Atlikus pirmuosius bandymus su plieninės skardos įdėklų, akivaizdžiai matyti, kad dilimo dydis priklauso nuo sūkių dažnio (5 pav.). Didžiausias dilimas yra, kai sūkių dažnis siekia 2400 sūk./min. Abrazyvinė medžiaga, kuri labiausiai paveikia įdėklą, yra plieniniai rutuliukai. Didėjant srauto greičiui matyti, kad ši abrazyvinė medžiaga vis labiau paveikia įdėklą ir jis intensyviau dyla.

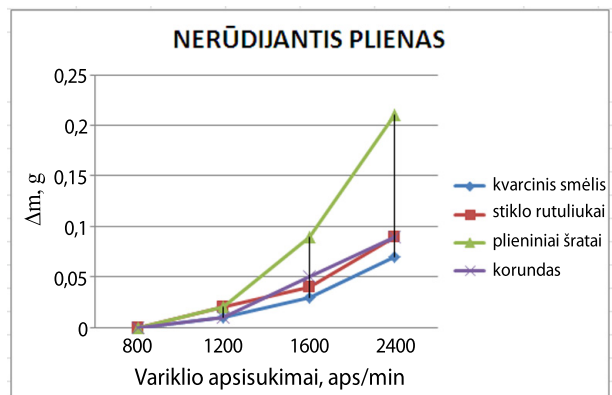
Atlikus bandymus su nerūdijančiojo plieno įdėklų (6 pav.) pastebėta ta pati tendencija – kuo didesnis sūkių dažnis, tuo didesnis abrazyvo poveikis. Labiausiai sienele veikia plieniniai rutuliukai, mažiausiai – kvarcinis smėlis. Tačiau iš masės pokyčio matyti, kad išdilimas apie penkis kartus mažesnis, tad šią medžiagą galima eksploatuoti ilgiau negu plieną.

Poliuretanas buvo mažiausiai atsparus abrazyvinių dalelių poveikiui (7 pav.). Agresyviausia medžiaga buvo plieno rutuliukai, mažiausiai sienele paveikė (kaip ir plieno įdėklą) stiklo rutuliukai.



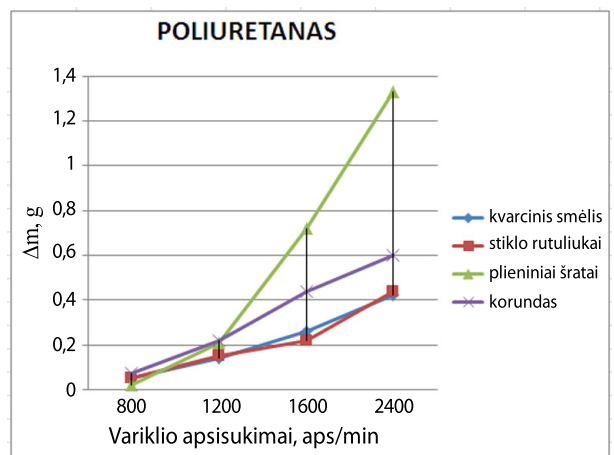
5 pav. Plieninės skardos įdėklo dilimo priklausomybė nuo sūkių dažnio ir abrazyvinės medžiagos

Fig. 5. Steel tin insert attrition dependence on rotation frequency and abrasive material



6 pav. Nerūdijančiojo plieno skardos įdėklo dilimo priklausomybė nuo sūkių dažnio ir abrazyvinės medžiagos

Fig. 6. Stainless steel tin insert attrition dependence on rotation frequency and abrasive material



7 pav. Poliuretano įdėklo dilimo priklausomybė nuo sūkių dažnio ir abrazyvinės medžiagos

Fig. 7. Polyurethane insert attrition dependence on rotation frequency and abrasive material

## Išvados

1. Atlikti tyrimai parodė, kad pasirinktos konstrukcinės medžiagos (plienas, nerūdijantysis plienas, poliuretanas) labiausiai dyla, kai variklio sūkių dažnis yra 2400 sūk./min, o naudojama abrazyvinė medžiaga – plieno šratai.
2. Mažiausiai konstrukcinės medžiagos dyla esant 800 sūk./min nepriklausomai nuo abrazyvinės medžiagos.
3. Iš tyrimui pasirinktų abrazyvinių medžiagų (kvarcinis smėlis 2/0,05; plieno rutuliukai; stiklo rutuliukai; korundas  $Al_2O_3$ ) agresyviausia abrazyvinė medžiaga – plieno rutuliukai.
4. Labiausiai dylanti konstrukcinė medžiaga – poliuretanas. Esant 2400 sūk./min, abrazyvinei medžiagai – plieno rutuliukams – įdėklo svoris sumažėjo 1,33 g.

## Literatūra

- Alves, A.; Paiva, J.; Salcedo, R. 2014. Cyclone optimization including particle clustering, *Powder Technology* 272: 14–22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2014.11.016>
- Baltrėnas, P.; Bakas, A.; Vasarevičius, S.; Masilevičius, R. 2000. *Oro valymo įrenginių katalogas*. Vilnius: Technika.
- Denafas, G. 2000. *Atmosferos apsauga*. Kaunas: Technologija.
- Kietosios dalelės – mažos, bet labai pavojingos [interaktyvus]. 2011 [žiūrėta 2015 m. balandžio 23 d.]. Prieiga per internetą: [http://www.ekologija.lt/ekorascai/kietosios\\_daleles\\_mazos\\_bet\\_labai\\_pavojingos](http://www.ekologija.lt/ekorascai/kietosios_daleles_mazos_bet_labai_pavojingos)
- Mycock, J. C.; McKenna, J. D.; Theodore, L. 1995. *Handbook of air pollution control engineering and technology*. USA: CRC Press.
- Shaohua, L.; Hairui, Y.; Hai, Z.; Shi, Y.; Junfu, L.; Guangxi, Y. 2008. Measurements of solid concentration and particle velocity distributions near the wall of a cyclone, *Chemical Engineering Journal* 150: 168–173.
- Striška, V. 2001. *Aplinkosaugos įrenginiai ir sistemos*. Vilnius.

## RESEARCH OF ATTRITION OF CYCLONE WALLS MADE FROM DIFFERENT MATERIALS UNDER THE INFLUENCE OF VARIOUS ABRASIVE MATERIALS

T. Gailius, I. Švagždytė

### Abstract

To eliminate particulate pollutants from air cyclones are being used. This article reviews the influence of particulate pollutants on cyclone insert. The stand was designed with possibility to change insert, rotation of engine and abrasive materials. Steel, stainless steel and polyurethane were used for inserts. Sand, glass balls, steel balls and corundum were used as abrasive materials. For the insert the steel balls has the strongest influence, when rotation of engine was 2400 rpm. Stainless steel was the most wearproof material for inserts.

**Keywords:** abrasive materials, attrition, particulate pollutants, cyclon, stainless steel.