

EKSPERIMENTINIAI ORO SRAUTO GREIČIŲ PASISKIRSTYMO
DVIEJŲ LYGIŲ CIKLONE TYRIMAIEgidijus Baliukas¹, Pranas Baltrėnas²Vilniaus Gedimino technikos universitetas
El. paštas: ¹e.baliukas@gmail.com, ²pbalt@vgtu.lt

Santrauka. Siekiant tinkamai išanalizuoti dviejų lygių daugiakanalio ciklono veikimą būtina išnagrinėti valomo oro srauto judėjimą. Šis įrenginys skirtas kietosioms dalelėms iš oro srauto valyti. Daugiakanalis dviejų lygių ciklonas sukurtas ir pastatytas Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos apsaugos laboratorijoje. Tyrimais siekiama nustatyti oro srauto pasiskirstymą dviejuose šešiakanalio ciklono lygiuose bei kanaluose. Oro greičiams kanaluose nustatyti naudojamas daugiafunkcis matuoklis *Testo-400* ir dinaminis Pito vamzdelis. Oro srauto greičiams matuoti ortakiuose prieš ir už įrenginio naudojamas sparninis anemometras. Rezultatai rodo, kad į abu ciklone įrengtus lygius patenka vienodas oro tūris, ir greičiai šių lygių kanaluose pasiskirsto vienodai. Didžiausias greitis – 13 m/s užfiksuotas paskutiniojo kanalo pabaigoje. Mažiausi oro greičiai kanaluose esti, kai žiedai sudėti taip, kad 75 % oro srauto grįžtų į ankstesnį kanalą, o didžiausias greitis yra tada, kai į ankstesnį kanalą grįžta 25 % oro srauto.

Reikšminiai žodžiai: daugiakanalis, ciklonas, oro srautas, kietosios dalelės, oro valymas.

Įvadas

Ciklonai plačiai naudojami kietosioms dalelėms iš oro srauto valyti pramoniniams procesams vykstant žemoje temperatūroje ir dalelėms atskirti iš aukštos temperatūros dūmų (300–500 °C). Šių įrenginių konstrukcijose dujos teka dviem kryptimis – tangentine ir ašine. Ciklonų trūkumas yra nepakankamai didelis išvalymo efektyvumas ir didelis slėgio pasipriešinimas, kai dideli įtekėjimo greičiai (Altmeyer *et al.* 2004; Hu *et al.* 2005; Jakštonienė, Vaitiekūnas 2009).

Pelenų ir dulkių valymas iš dujų srauto ciklone – sudėtingas šilumos ir masės mainų procesas – studijuojamas jau bene 120 metų. Per šį laikotarpį buvo siūloma įvairių tipų daugiau ar mažiau panašių savybių ciklonų. Paprastai pagaminamas, montuojamas ir eksploatuojamas, be to, universalus ir ekonomišką yra ciklonas, kurį sudaro korpusas, išmetimo ir įėjimo vamzdžiai (Серебрянский 2004; Jakštonienė, Vaitiekūnas 2011).

Įmonėse kietosios dalelės iš oro valomos viena ar keliomis valymo pakopomis, o pirmoji pakopa dažniausiai yra ciklonas. Kad nereikėtų dviejų pakopų, galima taikyti vienos pakopos valymą, tačiau valymo įrenginys turi būti labai efektyvus. Tam gali būti naudojami įrenginiai su uždarytų kontūrų sistema.

Valymo įrenginiai su uždarytų kontūrų sistema, pavyzdžiui, ciklonai, yra paprastos konstrukcijos, nesunkiai gaminami ir montuojami. Jie yra patikimi, universalūs ir ekonomiški. Jų moduliai, skirtingai nuo ciklonų, sujungti

į grupes, užtikrina aukštą dujų valymo kokybę, ir nepažemina produktyvumą. Tokių prietaisų pagrindas – viduje esantys kreiviniai kanalai, sukurti uždarytų kontūrų sistema. Atitekantys kietosiomis dalelėmis užteršti dujų srautas filtruojamas pro kelis pelenais ir kietosiomis dalelėmis užteršto oro, cirkuliuojančio uždarytosios grandinės, sluoksnius. Dulketo srauto filtravimo ir išcentrinio valymo derinys – nauja kryptis tobulinant inercinius ir dujų valymo filtrus (Балан *et al.* 2000, Буров *et al.* 2005).

Tokiuose naujos kartos ciklonuose uždaryti cilindrinės formos kontūrai yra skirtingo skersmens ir išsidėstę $\varphi = \pi$ kampais, juos suformuoja dvi skirtingo skersmens žiedų sienelės. Kiekviena pora gretimų kanalų sudaro vieną uždarytą kontūrą. Tokių kanalų skaičius priklauso nuo įrenginyje esančių žiedų skaičiaus (Плашин, Серебрянский 2011; Буров *et al.* 2007).

Uždaryti kontūrai jungia kanalų išėjimus ir įėjimus tame pačiame lygyje kaip ir kitų sudedamųjų dalių sistemos ir kaip visa sistema. Uždaryti kontūrai atstoja ryšio, kuris kyla dėl pusžiedžių išdėstymo, kontrolės mechanizmą, t. y. jie stabilizuoja sistemą. Tarpai, esantys tarp skirtingo skersmens pusžiedžių, gali kompensuoti turbulencinius reiškinius, susidarančius pačiuose kanaluose. Keičiant šiuos atstumus galima nustatyti optimalų oro srautų pasiskirstymą, tad kurti tokius įrenginius nėra sudėtinga, o galima efektyviai kontroliuoti sudėtingus procesus, kaip pavyzdžiui, užteršto oro judėjimą (Серебрянский 2004).

A. A. Burovas su bendraautorais (Буров *et al.* 2005) atliko matematinį greičio tiesiniame kanale, kurio posūkio kampas $\varphi = \pi$, modeliavimą. Jo modelyje greitis kanalo pradžioje yra 14 m/s, o pabaigoje 15 m/s.

Dideliems oro tūriams valyti naudotini didelių matmenų valymo įrenginiai, o tai ir ekonomiškai, ir gamybos metu nenaudinga. Didėjant įrenginio matmenims turi būti didinamas ir valomo oro debitas, tačiau visų valymo įrenginių valymo efektyvumas, didėjant jų matmenims, mažėja. Tokiais atvejais naudojamas dviejų lygių daugia-kanalis ciklonas. Šiame įrenginyje vienas virš kito yra du lygiai. Kiekvieno lygio kanalų skaičius toks pat, o pertvara, esanti tarp lygių, atitekanti oro srautą dalija į dvi lygias dalis. Dviejų lygių ciklonas yra tokio pat skersmens kaip ir vieno lygio, tačiau, kadangi separavimo kamera dvigubai aukštesnė, geba išvalyti beveik dvigubai didesni oro tūrį (Серебрянский 2011).

D. A. Serebrianskis (Серебрянский 2011) viename iš savo mokslinių straipsnių palygino įprastos cilindrinės konstrukcijos ciklono ir naujos kartos dviejų lygių bei 6 kanalų ciklono parametrus (1 lentelė). Šie abu įrenginiai nedideli, todėl ir tradicinės cilindrinės konstrukcijos ciklono efektyvumas yra gan nemažas (siekia 80 %).

Techniniais reikalavimais, kurie taikomi tiek ciklonams, tiek bet kuriam kitam oro valymo įrenginiui, siekiama kuo didesnio oro valymo efektyvumo ir kuo mažesnio aerodinaminio pasipriešinimo. Didėjant aerodinaminiam pasipriešinimui kartu kyla ir didesnio energijos kiekio,

1 lentelė. Tradicinio ЦН ir naujos kartos ЦФ ciklonų parametrų palyginimas (Серебрянский 2011).

Table 1. Comparison of traditional ЦН and new generation ЦФ cyclones

Parametras	Ciklonas ЦН-15, skersmuo 400 mm	Ciklonas ЦФ 2-6-06
Oro debitas, m ³ /s	1062	603
Dujų temperatūra, °C	30	
Medialinis dalelių skersmuo, μm	19	
Oro srauto greitis įėjime, m/s	8,4	18,0
Dinaminis pasipriešinimas, Pa	570	703
Kietųjų dalelių koncentracija prieš joms patenkant į įrenginį, g/m ³	8,0	6,18
Kietųjų dalelių koncentracija po srauto valymo, g/m ³	1,6	0,068
Išvalymo efektyvumas, %	80	98,9

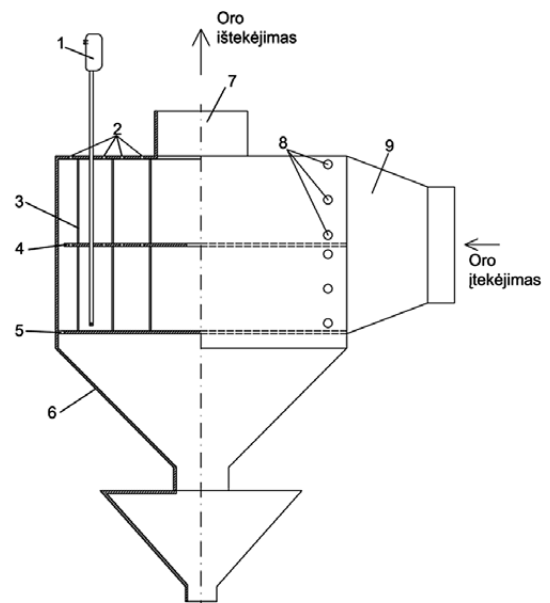
būtino didesniai pratekančio oro srautui sukurti, reikmė (Chlebnikovas, Baltrėnas 2009). Todėl, tobulinant ciklono konstrukciją, siekiama rasti geriausią aerodinaminio pasipriešinimo, kuris priklauso nuo oro srauto greičio, ir oro išvalymo efektyvumo variantą.

Šio darbo tikslas – eksperimentiškai ištirti oro srauto greičių pasiskirstymą dviejų lygių cilindriname šešiakanaliame ciklone, kuriame skirtingai išdėstyti pusžiedžiai.

Tyrimo metodika

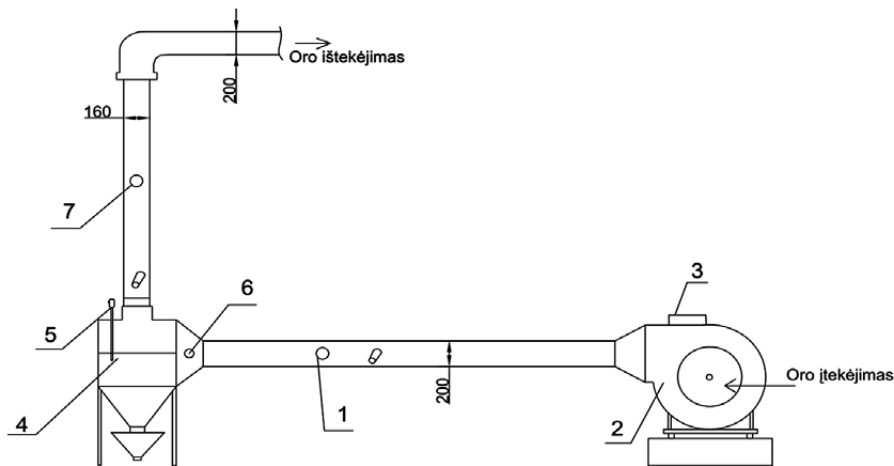
Eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti su dviejų lygių cilindrinu šešiakanaliu ciklonu. Jis įrengtas Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos apsaugos technologijų laboratorijoje. Šio ciklono stendo schema pavaizduota 1–3 paveiksluose.

Ciklono dangtyje ir pertvaroje tarp lygių išgręžtos specialios 8 mm kiaurymės, pro jas dinaminio Pito vamzdeliu buvo išmatuota oro srauto pasipriešinimas abiejuose lygiuose, ir daugiafunkciu matuokliu Testo-400 perskačiuota į oro srauto greičius. Matavimo schema parodyta 1 paveiksle.



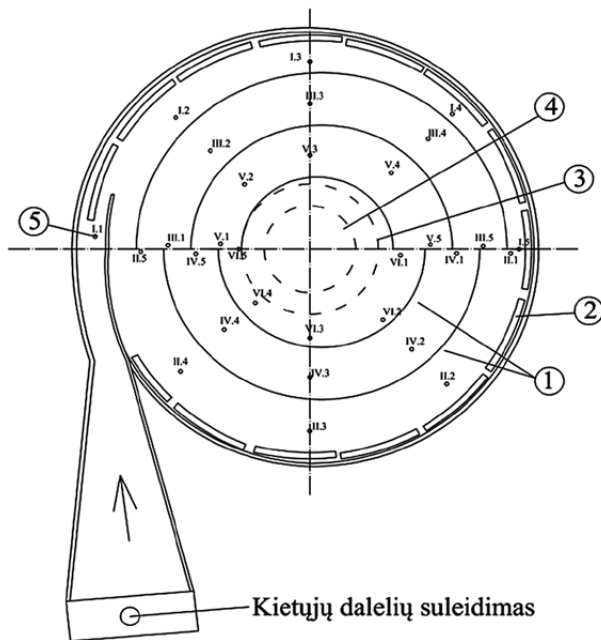
1 pav. Oro srauto greičių matavimo dviejų lygių ciklone schema: 1 – dinaminis Pito vamzdelis; 2 – 6 mm skersmens kiaurymės; 3 – skirtingo skersmens pusžiedžiai; 4 – pertvara tarp lygių; 5 – ciklono dugnas su segmentiniais žiediniais plyšiais; 6 – kūginis bunkeris; 7 – oro srauto išėjimo anga; 8 – oro srauto greičių matavimo taškas ciklono tangentinio įtekėjimo vietoje; 9 – difuzorius

Fig. 1. Scheme for air velocity measurement in the two-level cyclone: 1 – dynamic Pito tube; 2 – holes of 6 mm diameter; 3 – semi-rings of different radii; 4 – partition wall between two levels; 5 – bottom with segment circular spaces; 6 – conical hopper; 7 – airflow outlet; 8 – air velocity measurement point located in the tangential inlet cyclone; 9 – diffuser



2 pav. Dviejų lygių daugiakanalio ciklono eksperimentinis stendas: 1 – oro srauto greičio matavimo sparniniu anemometru vieta įtekėjimo ortakyje; 2 – kanalinius ventiliatorius RS200L; 3 – ventiliatoriaus valdymo blokas; 4 – dviejų lygių ciklonas; 5 – oro srauto greičio matavimas ciklono vidinėje konstrukcijoje dinaminio Pito vamzdeliu; 6 – oro srauto greičio matavimo taškas ciklono tangentinio įtekėjimo vietoje; 7 – oro srauto greičio matavimo sparniniu anemometru vieta ištekėjimo ortakyje

Fig. 2. Experimental stand of the two-level multichannel cyclone: 1 – air velocity measurement in the inlet tube using an anemometer; 2 – blower RS200L; 3 – blower controller; 4 – two-level cyclone; 5 – air velocity measurement in the cyclone structure using dynamic Pito tube; 6 – air velocity measurement in the tangential inlet of the cyclones; 7 – air velocity measurement in the outlet tube using an anemometer



3 pav. Oro srauto greičių matavimo taškų išdėstymo schema: 1 – skirtingo skersmens pusžiedžiai; 2 – segmentiniai plyšiai; 3 – oro srauto iš antrojo lygio išėjimo anga; 4 – oro srauto iš pirmo lygio išėjimo anga; 5 – įtekančio oro srauto greičio matavimo vieta

Fig. 3. Scheme for measurement points of air flow velocity: 1 – semi-rings of a different diameter; 2 – segment circular spaces; 3 – air flow outlet from the second level; 4 – air flow outlet from the first level; 5 – measurement point of inlet airflow rate

Eksperimento metu naudota įranga:

- dinaminis Pito vamzdelis,
- daugiavandis matuoklis *Testo-400*,
- priedėlis *Testo-0638.1445*,
- guminės žarnelės,
- sparninis anemometras.

Dinaminis Pito vamzdelis su daugiavandiu matuokliu *Testo-400* sujungiamas per priedėlį, kuris automatiškai perskaičiuoja slėgių skirtumą į oro greitį. Prietaiso *Testo-400* sisteminioji paklaida siekia 0,5 %.

Oro srautas ciklone sukuriama 0,17 kW galios ventiliatoriumi RS200L.

Įėjimo ortakis, kuris eina iki pat ciklono difuzoriaus, yra 200 mm skersmens, o išėjimo – 160 mm skersmens.

Oro greitis matuojamas kiekviename ciklono kanale penkiuose taškuose: kanalo pradžioje ir pabaigoje, kanalo viduryje ir 45° kampu nuo kanalo pradžios ir pabaigos. Siekiant didžiausio matavimų tikslumo, viename taške matuojama trijuose lygiuose: 2 cm nuo kanalo viršaus, per kanalo vidurį ir 2 cm nuo kanalo apačios.

Visi matavimai atlikti keičiant ventiliatoriaus sukuriama oro srauto debitą. Taip įvertinami oro srauto greičiai įrenginyje priklausomai nuo skirtingo ventiliatoriaus sukuriama oro debito. Oro kiekiai reguliuojami ventiliatoriaus valdymo bloke, kuriame yra penkios svirtelės padėties: V padėtis atitinka maksimalų debitą, I padėtis – minimalų.

Atlikti trijų skirtingų vidaus konstrukcijų šešiakanalio ciklono oro srauto greičių matavimai. Konstrukcijų pagrindą sudaro penki skirtingo skersmens pusžiedžiai, lemiantys skirtingą kanalų skersmenį ir tūrį. Į kiekvieną kanalą patenkantis ir iš jo išeinantis oro srautas gali būti reguliuojamas. Reguluojama keičiant atstumus tarp skirtingo skersmens pusžiedžių.

Pasirinktos trys skirtingos padėtys: 1. 50/50 padėtis – periferinio (grįžtamojo) oro srauto tūris lygus tranzitinio (į kitus kanalus tekančio) oro srauto tūriui; 2. 75/25 padėtis – periferinio oro srauto tūris 25 % didesnis už tranzitinio tūrį; 3. 25/75 padėtis – periferinio oro srauto tūris 25 % mažesnis už tranzitinio oro srauto tūrį.

Kiekviename matavimo taške atliekami trys matavimai, kad būtų išvengta sistemingųjų paklaidų, ir kad vidurkio paklaida būtų kuo mažesnė.

Su sparniniu anemometru ir matuokliu *Testo-400* išmatuoti greičiai ortakiuose prieš ir už ciklono. Dėl patobulintos ciklono konstrukcijos anemometru oro srauto greitį įmanoma pamatuoti tik įėjimo ir išėjimo ortakiuose. Pagal šiuos išmatuotus greičius galima tiksliau nusakyti oro srauto tolydumą ir tikslų į cikloną patenkantį oro kiekį. Ortakio matavimai atlikti pagal Lietuvos normatyvą LAND 27-98/M-07 „Dujų srauto greičio ir tūrio debito ortakyje matavimas“.

Į cikloną patenkantis ir iš jo ištekantis oro kiekis apskaičiuojamas pagal formulę

$$Q = v \cdot S, \text{ m}^3/\text{s}, \quad (1)$$

čia v – oro tekėjimo greitis, m/s; S – ortakio skerspjūvio plotas, m².

Dinaminis Pito vamzdelis, kurio ilgis 1000 mm, tinka oro greičiui matuoti, kai dujų oro srauto greitis 1–30 m/s. Matuojant dujų oro srauto greitį ir debitą gautų rezultatų paklaida neturi viršyti 10 % (LAND 1998).

Tyrimų rezultatų analizė

Pateikiami išmatuotieji oro srauto greičiai esant penkioms skirtingoms ventiliatoriaus padėtimis. Čia V padėtis atitinka didžiausią greitį, o I – mažiausią.

Greitis matuojamas abiejuose lygiuose, kaip parodyta 2 paveiksle. Kadangi ir I, ir II ciklono lygių tūriai yra tokie patys, o pertvara tarp lygių padalija cikloną per pusę, tai greičiai abiejuose lygiuose yra vienodi arba skiriasi kelio mis dešimtosiomis m/s dalimis. Tai įrodo išmatuoti oro srauto greičiai tangentinio įtekėjimo vietoje (2 lentelė) ir abiejų lygių kanaluose.

Siauriausioje įtekėjimo į cikloną vietoje (1 pav.), esant maksimaliam greičiui (V ventiliatoriaus svirtelės padėtis), greitis I lygyje 2 cm nuo lygio viršaus siekia 7,8 m/s; per vidurį – 7,8 m/s; 2 cm nuo apačios – 8,0 m/s. Esant tam pačiam atitekančiam oro debitui, II lygyje tuose pačiuose matavimo taškuose greičiai atitinkamai yra: 2 cm nuo viršaus – 8,0 m/s; per vidurį – 7,9 m/s; 2 cm nuo apačios – 7,8 m/s. Šis nedidelis skirtumas gali būti vertinamas kaip matavimo paklaida, ir tuomet galima teigti, jog oro tūris, patenkantis į abu lygius, yra vienodas. Dujų srauto greičiai tangentinio įtekėjimo vietoje, esant skirtingiems oro debitams (skirtingoms ventiliatoriaus svirtelės padėtimis), pateikti 2 lentelėje.

Keičiant ciklono kanalų išdėstymą, oro srauto greitis įtekėjimo vietoje nepakinta ir lieka toks, kaip ir esant lygiam oro srauto pasiskirstymui įtekant į kanalus.

2 lentelė. Skirtingi oro srauto greičiai skirtinguose ciklono tangentinio įtekėjimo lygiuose

Table 2. Air velocity distribution at both levels of tangential inlet

Svirtelės padėtis	I lygis			II lygis		
	2 cm nuo lygio viršaus	vidurys	2 cm nuo lygio dugno	2 cm nuo lygio viršaus	vidurys	2 cm nuo lygio dugno
V	7,8	7,8	8,0	8,0	7,9	7,8
IV	7,1	7,2	7,4	7,3	7,2	7,2
III	6,8	6,6	6,6	6,7	6,7	6,6
II	5,9	6,0	5,9	6,0	5,8	5,9
I	4,4	4,5	4,3	4,3	4,4	4,3

Matavimo taškai ciklono kanaluose išdėstyti taip, kad būtų galima įvertinti greičio kitimo kiekviename kanale tendencijas. Matavimo taškų išdėstymo schema pateikta 3 paveiksle.

Oro srauto greičiai prieš ir už ciklono išmatuoti sparniniu anemometru. Matuojama tik ortakiuose prieš ir už įrenginio, nes dėl ciklono konstrukcijos neįmanoma sparniniu anemometru greičio pamatuoti vidinėje dalyje. Prieš cikloną esančiame 200 mm skersmens ortakyje didžiausias greitis – 4 m/s esti, kai ventiliatoriaus sukuriamas oro srautas yra maksimalus (0,126 m³/s), o už ciklono esančiame 160 mm skersmens ortakyje didžiausias greitis 6,3 m/s. Pagal išmatuotus greičius apskaičiuoti oro srauto debitai pateikti 3 lentelėje.

Dviejų lygių ciklone įrengtų kanalų spinduliai išdėstyti mažėjančia tvarka ciklono centro link. Mažėjant kanalo skersmeniui, mažėja ir kanalo tūris, todėl greitis ciklono ašies link didėja.

3 lentelė. Oro srauto debitai esant skirtingiems įtekėjimo greičiams
Table 3. Airflow rate at different inlet velocities

Ventiliatoriaus sukuriamas oro debitas, m ³ /s	Prieš cikloną	Po ciklono
	greitis, m/s	
0,126	4,0	6,30
0,121	3,85	6,10
0,110	3,50	5,80
0,099	3,15	5,20
0,079	2,50	3,80

Daugiakanalio ciklono vidinę konstrukciją įrengus taip, kad tranzitinis ir periferinis srautai būtų lygūs (50/50 padėtis), maksimalus greitis – 11,3 m/s yra paskutiniojo – VI kanalo pabaigoje esant maksimaliam ventiliatoriaus oro srautui. Pastebimas ir greičio didėjimas nuo kanalo pradžios (1 matavimo taškas) pabaigos link (5 matavimo taškas). VI kanalo pradžioje greitis yra 10,5 m/s, o pabaigoje padidėja 0,8 m/s (4 pav.).

Išlieka ir kitų kanalų didėjanti greičio priklausomybė, tačiau pirmame kanale antrajame matavimo taške pastebimas greičio sumažėjimas (nuo 7,9 m/s kanalo pradžioje iki 6,7 m/s antrajame matavimo taške). Galima išvada, kad oro srauto greičio kritys vyksta dėl kanalo skerspločio padidėjimo iškart už įtekėjimo pradžios. Dėl padidėjusio kanalo tūrio oro srauto greitis krinta. Trečiajame matavimo taške oro srauto greitis vėl padidėja dėl oro srauto turbulentiškumo sumažėjimo, toks kilimas išlieka iki pat kanalo pabaigos, ir greitis siekia 7,5 m/s.

Antrajame kanale oro greitis yra pats mažiausias ir toks išlieka esant visiems oro įtekėjimo greičiams. Visuose šio kanalo matavimo taškuose vidutinis oro srauto greitis yra 15 % mažesnis nei pirmajame kanale. Cilindrinio korpuso ciklone įrengiami cilindriniai kreiviniai pusžiedžiai išdėstomi spindulių mažėjimo tvarka, dėl tokio išdėstymo antrojo kanalo tūris esti pats didžiausias ir jame greitis iškart krinta. Tai matyti iš 3 pav. pateiktos šešiakanalio cilindrinio ciklono schemas.

Pradedant III kanalu, greitis kiekviename kanale nuolat didėja. Pokytis tarp III ir IV kanalų vidutinių greičių yra maždaug 1 m/s, tarp IV ir V kanalų – svyruoja nuo 0,8 m/s iki 1 m/s. Didžiausias yra V ir VI kanalų greičių pokytis – 1,3 m/s. Greičio didėjimą lemia kanalo tūrio sumažėjimas. Sumažėjus kanalo tūriui, tas pats oro srautas teka greičiau nei didesnio tūrio kanalu.

Greitis akivaizdžiai 5,5 % didėja nuo kanalo pradžios pabaigos link. Didžiausias greičio padidėjimas paskutiniajame VI kanale – siekia 7,6 %. Į kanalą įteka du srautai – vienas teka periferija, kitas – nuo kanalo vidinės dalies

periferijos link ir sudaro oro „užuolaidą“. Ši užuolaida stabdo periferija tekančią oro srautą. Dėl šios priežasties kanalo pradžioje greitis yra mažiausias. Tekdami kanalu toliau abu oro srautai susimaišo ir kanalo pabaigoje stabilizuojasi.

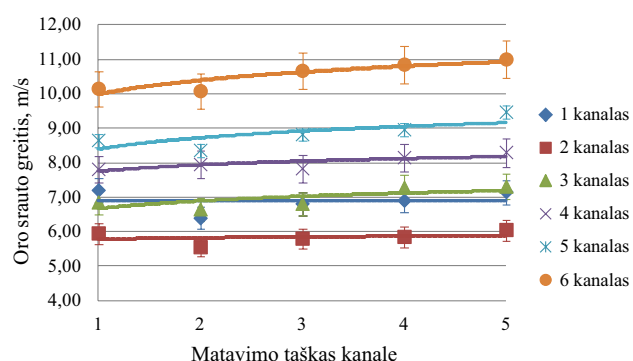
4 pav. pateikta greičių kitimo kanaluose priklausomybė, kai ventiliatoriaus sukuriamas oro debitas maksimalus (50/50 padėtis).

Pakeitus vidinę žiedų išdėstymo konstrukciją į 75/25 oro srautų pasiskirstymo santykį atitinkančią padėtį, 25 % padidėja grįžtamasis oro srautas į prieš tai buvusį kanalą. Todėl periferinis oro srautas kiekvieno kanalo pradžioje sudaro storesnę ir greitesnę oro „užuolaidą“. Ši sudaryta „užuolaida“ stabdo atitekančią oro srautą, ir oro srauto greitis sumažėja. Be to, didžioji dalis oro patenka atgal į pirmąjį kanalą, o į III ir tolimesnius kanalus – tik 25 % atitekančio oro srauto.

Mažiausias nustatytas oro srauto greitis III kanalo pradžioje, esant maksimaliam ventiliatoriaus sukuriamam oro srautui, yra 5 m/s. Kaip ir esant 50/50 pusžiedžių išdėstymo padėčiai, greitis kanale didėja nuo kanalo pradžios pabaigos link. Tokia greičio didėjimo tendencija visų kanalų, išskyrus pirmąjį.

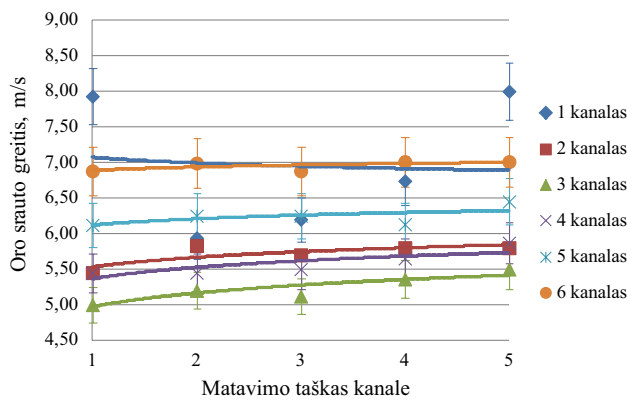
Pirmajame kanale, kaip ir esant ankstesnei pusžiedžių išdėstymo padėčiai, antrajame matavimo taške greitis krinta, o kituose taškuose didėja. Dėl 25 % didesnės oro „užuolaidos“, palyginti nei kai padėtis 50/50, oro srautas labiau stabdomas, ir antrajame matavimo taške greitis sumažėja 2 m/s. Trečiame, ketvirtame ir penktame matavimo taškuose jis kyla ir siekia, kanalui susiaurėjus, 8 m/s.

Kai periferinis oro srautas 25 % didesnis nei tranzitinis, mažiausias greitis nustatytas III kanale, o kituose kanaluose didėja. Paskutiniojo VI kanalo pabaigoje greitis yra 7 m/s. Palyginti su 50/50 padėtimi, tame pačiame matavimo taške greitis buvo 35 % didesnis.



4 pav. Oro srauto greičių pasiskirstymas šešiakanalio ciklono kanaluose, kai pusžiedžių išdėstymo padėtis 50/50

Fig. 4. Air velocity distribution in the six-channel cyclone when the layout position of semi-rings is 50/50



5 pav. Oro srauto greičių pasiskirstymas šešiakanalio ciklono kanaluose, kai pusžiedžių išdėstymo padėtis 75/25

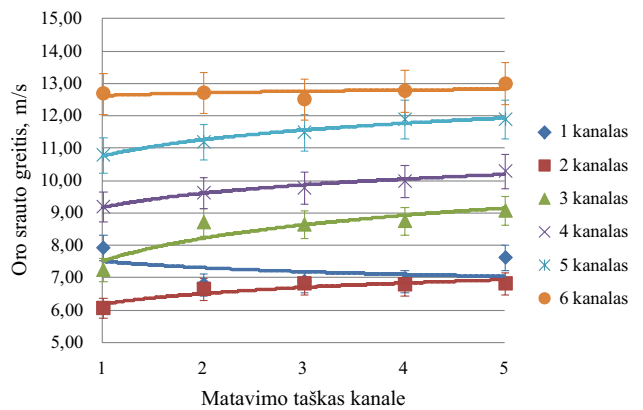
Fig. 5. Air velocity distribution in the six-channel cyclone when the layout position of semi-rings is 75/25

5 pav. pateiktas greičių kitimas kanaluose, kai ventiliatoriaus sukuriamas oro debitas maksimalus, o pusžiedžių išdėstymo padėtis 75/25.

Pakeitus pusžiedžių išdėstymo padėtį į 25/75 (į ankstesnį kanalą patenka 25 % mažesnis periferinis oro srautas nei į po jo einantį mažesnio skersmens kanalą), susidaro siauresnės oro „užuolaidos“, pro kurias filtruojasi tekantis kietosiomis dalelėmis užterštas oro srautas. Daroma prielaida, kad siauresnė oro užuolaida sukelia mažesnį pasipriešinimą atitekančiam oro srautui, todėl oro srauto greitis yra didesnis.

Pirmojo kanalo pradžioje (antrame matavimo taške), esant maksimaliam ventiliatoriaus sukuriamam oro srautui, pasiekiamas 6,8 m/s greitis, jis yra 0,1 m/s didesnis tame pačiame taške nei kai kanalų išdėstymo padėtis 50/50, ir 1,8 m/s didesnis nei esant 75/25 padėčiai. Kai tranzitinis oro tūris 25 % mažesnis, greitis pirmajame kanale didėja ne taip sparčiai ir kanalo pabaigoje siekia 7,6 m/s (6 pav.).

Oro srauto greitis padidėja ne tik pirmojo kanalo pradžioje, bet ir tolimesniuose kanaluose, nes į kitą (mažesnio skersmens) kanalą patenka 25 % didesnis oro tūris. Paskutiniame VI kanale, kai ventiliatoriaus sukuriamas oro srautas maksimalus, greitis svyruoja nuo 12,5 iki 13 m/s. Tai beveik 1,5 m/s daugiau nei tada, kai tame pačiame kanale pusžiedžių išdėstymo padėtis 50/50, ir 5 m/s daugiau nei esant 75/25 padėčiai. Šioje padėtyje pastebimas oro srauto greičio kilimas nuo kanalo pradžios pabaigos link, kaip ir pusžiedžiams esant 50/50 bei 75/25 padėtyse. Kaip ir esant 50/50 pusžiedžių padėčiai mažiausias vidutinis greitis yra antrajame kanale, – 6,1–6,8 m/s.



6 pav. Oro srauto greičių pasiskirstymas šešiakanalio ciklono kanaluose, kai pusžiedžių išdėstymo padėtis 25/75

Fig. 6. Air velocity distribution in the six-channel cyclone when the layout position of semi-rings is 25/75

Išvados

1. Išmatuoti greičiai ciklono įtekėjimo ir ištekėjimo ortakiuose ir pagal juos apskaičiuoti pratekantys oro debitai. Didžiausias greitis įtekėjimo ortakyje yra 4,0 m/s, atitinkamai įtekančio oro debitas lygus 0,126 m³/s; ištekėjimo ortakyje didžiausias oro srauto greitis yra 6,30 m/s, o pratekantis dujų tūris – 0,126 m³/s.
2. Dviejų lygių ciklono tangentinio įtekėjimo vietoje esanti pertvara dalija oro srautą į dvi lygias dalis, todėl į abu ciklono lygius patenka po 0,063 m³/s, tai lygu pusei ortakiu tekančio tūrio.
3. Didžiausias greitis dviejų lygių ciklono viduje yra, kai kanalų išdėstymo padėtis 25/75. Toks greitis nustatytas VI kanalo pabaigoje ir siekia 13 m/s. Kai pusžiedžių padėtis 50/50, greitis tame pačiame taške yra 11,3 m/s, o kai 75/25 – 7 m/s. Esant dideliame greičiui sukuriama didesnė išcentrinė jėga, todėl 25/75 padėtis būtų geriausia, jei būtų siekiama išvalyti iš užteršto oro srauto didelio tankio daleles.
4. Vidutinis greitis, esant 50/50 pusžiedžių išdėstymui ir maksimaliam ventiliatoriaus greičiui, yra 8,2 m/s, kai ventiliatoriaus greitis vidutinis – sumažėja 22 %, o kai minimalus – 39 %. Kai kanalų išsidėstymas 75/25, ir ventiliatoriaus greitis maksimalus, didžiausias vidutinis oro greitis dviejų lygių ciklone yra 6,1 m/s, esant vidutiniam ventiliatoriaus greičiui, sumažėja 25 %, minimaliam – 48 %. Kai padėtis 25/75, didžiausias vidutinis greitis ciklono vidinėje konstrukcijoje 9,4 m/s, sukūrus vidutinį oro srautą, vidutinis greitis dviejų lygių ciklono viduje sumažėja 22 %, sukūrus mažiausią – 35 %.

Literatūra

- Altmeyer, S.; Mathieu, V.; Jullemier, S.; Contal, P.; Midoux, N.; Rode, S.; Leclers, J. P. 2004. Comparison of different models of cyclone prediction performance for various operating conditions using a general software, *Chem. Eng. Prog.* 43: 511–522. [http://dx.doi.org/10.1016/S0255-2701\(03\)00079-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0255-2701(03)00079-5)
- Chlebnikovas, A.; Baltrėnas, P. 2009. Oro srauto greiėių pasiskirstymo šešiakanaliame ciklone eksperimentiniai tyrimai, „Mokslas – Lietuvos ateitis“. *Aplinkos apsaugos inėinerija*. Vilnius: Technika, 11–17.
- Hu, L. Y.; Zhou, L. X.; Zhang, J.; Shi, M. X. 2005. Studies on strongly swirling flows in the full space of volute cyclone separator, *AIChE Journal* 51(3): 740–749. <http://dx.doi.org/10.1002/aic.10354>
- Jakėštonienė, I.; Vaitiekūnas, P. 2009. Skaičiuojamosios fluidų dinamikos modeliavimo taikymas kūginiam grįžtamojo srauto ciklonui tirti, „Mokslas – Lietuvos ateitis“. *Aplinkos apsaugos inėinerija*. Vilnius: Technika, 51–55.
- Jakėštonienė, I.; Vaitiekūnas, P. 2011. Daugiakanalio ciklono efektyvumo tyrimai, iš *14-osios Lietuvos jaunujų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2011 m. balandžio 14 d., praneėimų medėiaga*. *Aplinkos apsaugos inėinerija*. ISBN 978-9955-28-956-2. Vilnius: Technika, 18–22.
- LAND 27-98/M-07. Stacionarūs tarėos šaltiniai. Dujų srauto greiėio ir tūrio debito ortakyje matavimas. Lietuvos Respublikos aplinkos apsaugos ministerijos įsakymu Nr. 69.
- Балан, С. А.; Буров, А. А.; Буров, А. И. 2000. *Распределение пыли вдоль границы криволинейного потока с замкнутыми контурами*. Одесса, 56–59.
- Буров, А. А.; Буров, А. И.; Гамоліч, В. Я. 2007. Континуальная модель запыленного криволинейного течения газа, *Тр. Одес. политехн. ун-та*. Одесса. Вып. 1(27): 235–237.
- Буров, А. А.; Буров, А. И.; Силин, А. В.; Цабиев, О. Н. 2005. Центробежная очистка промышленных выбросов в атмосферу, *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності* 6: 44–51.
- Буров, А. А.; Буров, А. И.; Карамушко, А. В. 2011. Повітряна течія у криволінійному каналі, *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності* 12: 174–177.
- Серебрянский, Д. А. 2004. *Повышение эффективности газоочистки тепловых энергетических установок*. Одесса. 155 р.
- Серебрянский, Д. А. 2011. *Высокоэффективный центробежный фильтр для очистки газов*. Киев. 8 р.
- Плашихін, С. В.; Серебрянский, Д. О. 2011. *Стенові випробування відцентрового фільтра і циклофільтра при уловлюванні золи твердопаливного котла*. Одесса, 89–94.

EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE DISTRIBUTION OF AIR STREAM VELOCITY USING THE TWO-LEVEL CYCLONE

E. Baliukas, P. Baltrėnas

Abstract

In order to properly analyse the operation of a two-level multichannel cyclone, a study on how air flow moves inside the cyclone is necessary. The two-level multichannel cyclone is designed to separate solid particles from the air stream and has been built in the Environmental Protection Laboratory at Vilnius Gediminas Technical University. Researches on finding how the air flow distributes within two levels and channels of the six-channel cyclone were made. Air velocity was measured using multimeter Testo-400 and dynamic Pito tube. Air velocity measurements in ducts before and after the device were done using an anemometer. The results showed that the air volume at both cyclone levels were equal, and air velocity in the channels that were the same at both levels was also distributed equally. The highest air speed was measured at the end of the last IV channel and reached 13 m/s. Minimum air velocity can be observed when the rings are arranged in such way that 75% of the air flow returns to the previous channel, and the maximum speed is when the previous channel returns 25% of the air flow.

Keywords: multichannel, cyclone, dust, solid particles, air cleaning.