

ANDRZEJ MIESZKOWSKI*

ZWIĘKSZENIE SKUTECZNOŚCI ODPYLANIA CYKLONÓW

INCREASING OF DEDUSTING EFFECTIVENESS FOR CYCLONES

Streszczenie

W referacie omówiono zagadnienia związane z możliwością modernizacji pracujących urządzeń cyklonowych w celu podwyższenia ich skuteczności odpylania i obniżenia oporów przepływu. Zrealizowano to poprzez instalację we wnętrzu cyklonu dodatkowych elementów, zadaniem których było zmniejszenie efektu porywania cząstek pyłu przez strumień gazu opuszczający cyklon.

Słowa kluczowe: cyklon, odpylacz odśrodkowy, skuteczność odpylania, opory przepływu

Abstract

Paper shows problems connected with possibility of modernization of working cyclones, due to improve efficiency of dedusting and to decrease flow resistances. It was reached by installing additional elements inside the cyclone and thanks to that effect of sweeping away elements of dust with gas stream leaving the cyclone, was decreased.

Keywords: cyclone, centrifugal collector, dedusting effectiveness, resistances of flow

* dr inż. Andrzej Mieszkowski,
Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Najczęściej stosowanymi w praktyce przemysłowej urządzeniami odpylającymi są odpylacze wykorzystujące efekt działania siły odśrodkowej. Odpylacze te pracują jako pojedyncze elementy cyklonowe lub n elementów równolegle połączonych jako baterie cyklonów lub multicyklony [1]. Cyklony można wykorzystywać zarówno w procesie suchego, jak i mokrego odpylania. Najważniejszymi zaletami urządzeń cyklonowych to ich prosta konstrukcja, brak części ruchomych, małe gabaryty, niski współczynnik zapotrzebowania mocy, prostota obsługi itp. [2].

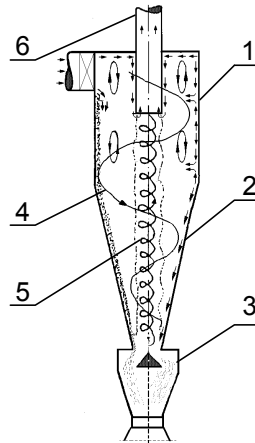
Niestety wykazują również szereg wad, z których najważniejsze to: niska skuteczność odpylania dla drobnych pyłów poniżej $5 \mu\text{m}$ [3], czyli pyłów najbardziej szkodliwych dla człowieka. Drugą ważną wadą to skłonność do erodowania powierzchni cyklonu, zwłaszcza przez twardy pył, co w efekcie prowadzi do rozszczelnienia instalacji odpylającej i wyraźnego obniżenie skuteczności odpylania.

2. Dyskusja pracy cyklonu

Doprowadzony do cyklonu gaz pod wpływem siły odśrodkowej formuje się w jego wnętrzu w dwa spiralnie wirujące strumienie gazu (rys.1). Zewnętrzny (opadający) i wewnętrzny (wznoszący) strumień gazów o przeciwnych zwrotach [5-7]. Pył, który pod wpływem siły odśrodkowej dotrze do ścianki cyklonu, zostanie na niej teoretycznie zatrzymany i pod wpływem siły ciężkości opadnie do zbiornika pyłu. Pył drobny nie dotrze do ścianki cyklonu i zostanie porwany przez wznoszący strumień gazów opuszczających cyklon. Te teoretyczne rozważania nie sprawdzają się w praktyce, gdyż ruch wirujących strumieni gazów i torów poruszających się cząstek pyłów w cyklonie jest skomplikowany.

Opadający strumień gazów wykazuje zmienną prędkość i turbulencję w różnych miejscach cyklonu. To jest powodem, że zasilanie wewnętrznego wznoszącego strumienia gazu nie następuje zgodnie z teorią tylko wskutek odbicia strumienia zstępującego w dolnej części cyklonu, ale również na całej powierzchni rozdzielającej te dwa wirujące strumienie. Będąca zasadniczym czynnikiem osadzania cząstek pyłu siła odśrodkowa i wynikająca z jej działania prędkość styczna działająca na ziarna pyłu osiąga maksimum prędkości na promieniu równym promieniowi kominka wylotowego [1, 4] i maleje zarówno w kierunku ścianki, jak i osi cyklonu. Maksimum prędkości stycznej występuje, więc w pobliżu granicy rozdziału dwóch wirujących strumieni gazów w cyklonie. Stwarza to tendencję do porywania nie osadzonych drobnych ziaren pyłu bezpośrednio ze strumienia opadającego do wznoszącego, opuszczającego cyklon. Zjawisko to jest również powodem dużych strat ciśnienia (oporów przepływu) na granicy rozdziału tych dwu wirujących strumieni.

Dodatkowo w pobliżu kominka wylotowego (rys. 2) występuje niekorzystne zjawisko wzmoczonego porywania pyłów bezpośrednio do strumienia gazów opuszczających cyklon. Panująca w cyklonie różnica ciśnień na promieniu kominka wylotowego i promieniu części walcowej cyklonu jest powodem występowania tzw. przepływu wstecznego gazów, który transportuje drobny pył do kominka wylotowego.

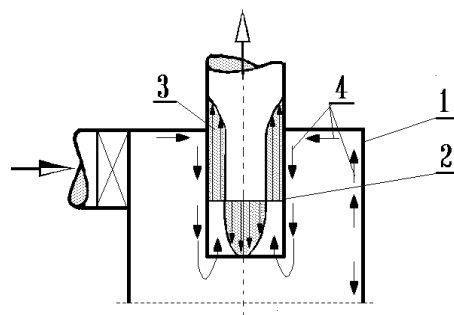


Rys. 1. Przepływ gazów przez cyklon

1 – zawirowanie gazów w walcowej części cyklonu, 2 – transport odpylonych pyłów po ścianie, 3 – zbiornik pyłów, 4 – zewnętrzny opadający strumień gazów, 5 – wewnętrzny wznoszący strumień gazów

Fig. 1. Flow of gasses through the cyclone

Na obniżenie skuteczności odpylania ma również wpływ dodatkowo turbulencja gazu występująca w pobliżu ścianek cyklonu, która związana jest z opadaniem ziaren pyłu, jak również stanem (gładkością) wewnętrznych powierzchni cyklonu. Wskutek tego zjawiska, jak również innych lokalnych prądów występujących między innymi również w pobliżu okna wlotowego do cyklonu, bardzo często te ziarna, które powinny teoretycznie zostać w nim wydzielone, zostają zassane przez strumień gazów opuszczających cyklon.

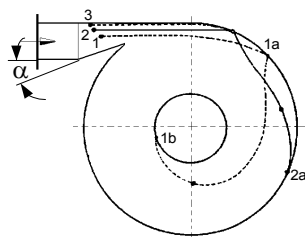


Rys. 2. Przepływ wsteczny wokół kominka

1 – część walcowa, 2 – kominek, 3 – rozkład prędkości gazów w kominku

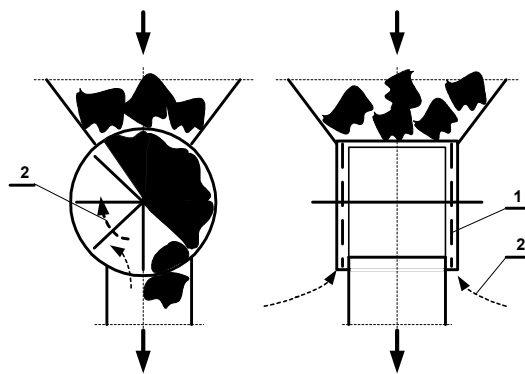
Fig. 2. Reverse flow around the outlet tube

Nie bez znaczenia jest również konstrukcja okna wlotowego gazów do cyklonu. Oprócz zalecanych przez literaturę [2, 3] proporcji wymiarów okna, w celu częściowego wyeliminowania zjawiska odbijania się docierających do ścianek cyklonu ziaren pyłów wskazane jest takie formowanie strumienia gazów w oknie wlotowym, aby aerozol pod jak najmniejszym kątem uderzał w ściankę części walcowej cyklonu (rys. 3). W efekcie zmniejszy się prawdopodobieństwo odbicia ziaren, które dotrą do wewnętrznej powierzchni odpylacza i zwiększy skuteczność odpylania. Można to zrealizować poprzez taką konstrukcję okna wlotowego, które będzie miało nachyloną pod pewnym kątem α powierzchnię dolotową do przekroju poprzecznego części walcowej cyklonu (rys. 3).



Rys. 3. Tor cząstki pyłu w zależności od położenia w oknie wlotowym cyklonu

Fig. 3. Path of the dust particle depending on its position in the inlet window



Rys. 4. Śluza obrotowa
1 – uszczelnienie czołowe, 2 – wlot fałszywego powietrza

Fig. 4. Rotational lock

Poważnym problem eksploatacyjnym wszystkich instalacji odpylających w tym również cyklonów jest nieszczelność dolnego zamknięcia cyklonu, czyli urządzeń odprowadzających wydzielony w odpylaczu pył. Stosowane najczęściej zamknięcia w postaci

śluz obrotowych (celkowych) z uwagi na swoją konstrukcję są z reguły nieszczelne. Przy założeniu, że celki są całkowicie zasypane pyłem i nie przepuszczają powietrza (strona prawa na rys. 4), to druga ich połowa takich warunków nie spełnia. Dodatkowa w miarę eksploatacji pojawia się nieszczelność wskutek wycierania się uszczelek czołowych (poz. 1) śluz obrotowych.

Podsumowując powyższe rozważania, można stwierdzić, że wpływ na skuteczność odpylania i opory przepływu ma wiele zjawisk zachodzących jednocześnie w cyklonie. W referacie przedstawiono propozycje poprawy parametrów pracy cyklonu poprzez możliwe proste modernizacje istniejących lub nowo projektowanych instalacji odpylających.

3. Propozycja modernizacji instalacji cyklonowych

Jednym z możliwych rozwiązań prostych modernizacji instalacji cyklonowych jest wyposażenie ich w dodatkowe elementy stożkowe i walcowe. Montowane one będą w części walcowej cyklonu i kominka wylotowym. Ich zadaniem w części walcowej cyklonu będzie oddzielenie od siebie dwu przeciwstawnie wirujących strumieni gazów. Zamontowane na powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej kominka wylotowego zapobiegną niekorzystnemu zjawisku przepływu wstecznego gazów.

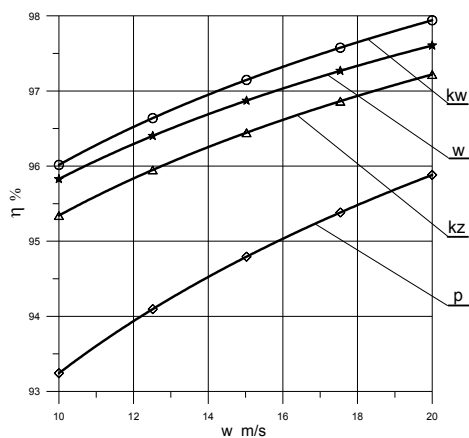
Przeprowadzone badania w laboratorium Katedry Aparatury Przemysłowej Politechniki Krakowskiej wykazały pozytywny wpływ zamocowania tych dodatkowych elementów na skuteczność odpylania i opory przepływu cyklonu [8-11]. Przedstawione na rys. 5 i 6 wykresy obrazują osiągnięte skuteczności odpylania i opory przepływu dla wybranych rozwiązań konstrukcyjnych dodatkowych elementów walcowych i stożkowych, w które wyposażono badany cyklon laboratoryjny. Krzywa *p* obrazuje zależność dla cyklonu bez dodatkowych elementów, krzywa *w* z elementem walcowym w części walcowej cyklonu, *kz* z elementem stożkowym na zewnątrz kominka i *kw* z elementem stożkowym wewnątrz kominka. Przeprowadzone badania pozwoliły na wytypowanie najlepszych rozwiązań konstrukcyjnych dodatkowych elementów [8-10], dla których uzyskano najwyższe skuteczności odpylania.

W wyniku badań okazało się, że najbardziej korzystne jest umieszczenie dodatkowych elementów walcowych w części walcowej cyklonu oraz elementów stożkowych na powierzchni zewnętrznej kominka wylotowego. Uzyskano wtedy zwiększenie skuteczności odpylania przy zmniejszeniu oporów przepływu. Podobnie umieszczenie elementów stożkowych we wnętrzu kominka spowodowało, co prawda uzyskanie wyższej skuteczności odpylania, ale zwiększyło i to znacznie opory przepływu.

Drugą poważną wadą urządzeń cyklonowych, o czym zaznaczono na wstępie, jest występująca w praktyce tendencja do uszkodzenia zewnętrznej powierzchni aparatu w postaci widocznych ubytków materiałów. Przyczyną jest ostry pył, który prowadzi do nadmiernej erozji powierzchni odpylacza. Powstające w związku z tym różnego rodzaju otwory są powodem pojawienia się dodatkowych nieszczelności układów odpylających, co w efekcie prowadzi do zasysu do instalacji dodatkowego tzw. fałszywego powietrza.

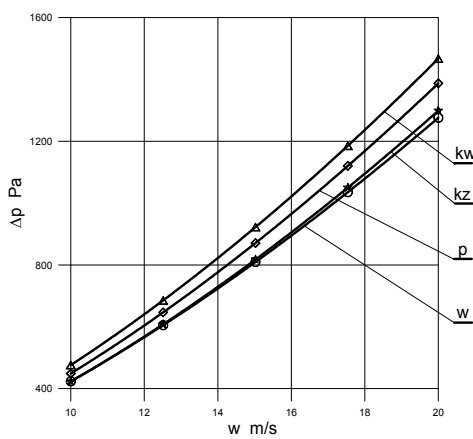
Ponieważ większość instalacji odpylających połączona jest ze stroną ssawną wentylatora, każdy dodatkowy zasys „fałszywego” powietrza zaburza jej pracę. Cyklony są szczególnie wrażliwe na zasys „fałszywego” powietrza, gdyż powoduje to zmniejszenie

ilości gazu wprowadzanego oknem wlotowym do cyklonu, a tym samym do zmniejszenia siły odśrodkowej działającej na ziarna pyłu. Ten fakt jest powodem wyraźnego obniżenia skuteczności odpylania [9].



Rys. 5. Skuteczność odpylania w zależności od prędkości gazu w oknie wlotowym cyklonu elementy: *w* – walcowe, *kz* – na zewnątrz kominka, *kw* – wewnątrz kominka, *p* – bez elementów

Fig. 5. Effectiveness of dedusting as a depending on the gas speed in the inlet window of the cyclone



Rys. 6. Opory przepływu w zależności od prędkości gazu w oknie wlotowym cyklonu elementy: *w* – walcowe, *kz* – na zewnątrz kominka, *kw* – wewnątrz kominka, *p* – bez elementów

Fig. 6. Resistances of flow depending on the gas speed in the inlet window of the cyclone

Bardzo często nie zdajemy sobie sprawy z wagi powyższego faktu i eksploatujemy nieszczęlną instalację nadal. Z przeprowadzonych badań wynika, że nawet niewielkie nieszczelności w części stożkowej cyklonu, a zwłaszcza jego zamknięciu dolnym mogą doprowadzić do tak znacznego spadku skuteczności odpylania, że ich dalsza eksploatacja z punktu widzenia ekologicznego i ekonomicznego jest niewskazana. Tak pracująca instalacja, będąca obrazem niestarannej obsługi, a najczęściej jej braku, jest instalacją, która z pozoru spełnia swoje zadanie i w dobrze pojętym interesie nas wszystkich powinna być jak najszybciej wyremontowana.

W celu ograniczenia zasysu „fałszywego” powietrza przez zamknięcie dolne cyklonu, czyli przez najczęściej stosowane śluzy obrotowe, należałoby przeanalizować możliwość wyposażania urządzeń odpylających w sterowane automatycznie podwójne śluzy klapowe. Śluzy takie eksploatowane prawidłowo nie powodują przedostawania się przez nie „fałszywego” powietrza i w związku z tym nie powodują zaburzeń (porywania) osadzonych w zbiorniku dolnym zatrzymanych pyłów.

Przeprowadzone badania [9] wykazały, że elementy cyklonowe z dodatkowymi elementami walcowymi w części walcowej i częściowo stożkowej cyklonu wykazują mniejsze tendencje do spadku skuteczności odpylania w przypadku pojawiających się nieszczelności układu niż cyklony bez tych elementów.

4. Zakończenie

Podsumowując powyższe rozważania oraz analizując przedstawione wyniki badań, można stwierdzić, że wyposażenie dotychczas pracujących urządzeń odpylających, jak również nowo projektowanych pojedynczych cyklonów, baterii cyklonów oraz multicyklonów w proste dodatkowe elementy, może przyczynić się do podwyższenia ich skuteczności odpylania, zmniejszenia oporów przepływu oraz zmniejszenia niekorzystnego wpływu zasysu „fałszywego” powietrza do cyklonu. Przedstawiona koncepcja modernizacji pracujących instalacji odpylających jest prosta w realizacji i może przyczynić się do poprawy stanu powietrza atmosferycznego.

Oznaczenia

η	–	skuteczność odpylania	[%]
Δp	–	opory przepływu	[Pa]
w	–	prędkość aerozolu w oknie wlotowym cyklonu	[m/s]

Literatura

- [1] Brauer H., Varma Y.: *Air Pollution Control Equipment.*, Springer Verlag, Berlin 1981.
- [2] Warych J.: *Oczyszczanie przemysłowych gazów odlotowych*, WNT, Warszawa 1980.

- [3] Kabsch P.: *Odpylanie i odpylacze*, cz.1, WNT, Warszawa 1992.
- [4] Löffler F.: *Staubabscheiden*, Georg-Thieme Verlag, Stuttgart 1988.
- [5] Schmidt P.: Chem. -Ing. -Tech., **62**, 1990, 536.
- [6] Schulz S., Schmidt P.: Chem. -Ing. -Tech., **58**, 1986, 502.
- [7] Barth W., Leineweber L.: Staub, **24**, 1964, 41.
- [8] Mieszkowski A.: Ochr. Pow., **142**, 1991, 29-32.
- [9] Mieszkowski A.: Ochr. Pow. i Prob. Odpad., **158**, 1993, 107-109.
- [10] Mieszkowski A.: Zesz. Nauk. PK., **156**, 1993, 113-124.
- [11] Mieszkowski A.: Ochr. Pow. i Prob. Odpad., **161**, 1994, 62-64.
- [12] Mieszkowski A., Dyląg M.: Gefahr. Reinh. Luft, **6**, 2001, 280-282.