

Ćwiczenie 10:

OKREŚLANIE SPRAWNOŚCI ODPYLANIA FILTRU WORKOWEGO

1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest eksperymentalne wyznaczenie całkowitej sprawności odpylania odpylacza tkaninowego w zależności od strumienia oczyszczanego powietrza.

2. WIADOMOŚCI WPROWADZAJĄCE

Odpylanie gazów polega na usuwaniu z nich cząstek aerozolowych. Proces odpylania gazu - usuwania cząstek stałych - prowadzony jest w aparatach zwanych odpylaczami. Natomiast do usuwania kropeł - cząstek ciekłych - stosowane są odkraplacze. Zastosowanie określonego procesu odpylania oraz typu odpylacza wyznacza zarówno charakterystyka źródła emisji zanieczyszczeń, jak i wymagany stopień odpylania gazu - sprawność odpylania. Odpylanie może być prowadzone metodą suchą lub moką, w zależności od tego w jakiej postaci znajdują się po zakończeniu procesu wydzielone cząstki - suchego pyłu czy też zawiesiny cząstek stałych w cieczy.

Dla efektywnego i racjonalnego projektowania procesu odpylania oraz użytkowania aparatury odpylającej, oprócz znajomości strumienia gazu i stężenia w nim cząstek aerozolowych, niezbędna jest również znajomość właściwości fizykochemicznych cząstek, takich jak ich średnica (rozmiar liniowy), kształt, masa, gęstość, powierzchnia właściwa, skład chemiczny, rozkład rozmiarów poszczególnych frakcji.

Cząstki ciała stałego, będące składnikami pyłów lub dymów, mają zwykle kształt nieregularny. Spośród charakterystycznych kształtów można tu wymienić cząstki:

- sferyczne - np. węgiel aktywny, skrobia, dymy tlenków żelaza, PCW i inne tworzywa sztuczne;
- prostopadłościenne - np. proszek żelaza, kwarc i inne minerały;
- odłamkowe (nieregularne) - np. cement, korund, pigmenty organiczne;

- płaskie (płytkowe) - np. mika, grafit;
- prętowe - np. talk, mąka;
- włókniste - np. włókna tekstylne, celuloza.

W celu wyrażenia średnicy cząstek o kształtach nieregularnych, w zależności od metody pomiaru ich wielkości, stosuje się takie pojęcia, jak:

- średnica projekcyjna, tj. średnica równoważna średnicy koła o tej samej powierzchni co rzut danej cząstki na płaszczyznę prostopadłą do kierunku jej ruchu;
- średnica objętościowa, tj. średnica kuli o takiej samej objętości jak objętość danej cząstki;
- średnica powierzchniowa, tj. średnica kuli o takiej samej powierzchni co powierzchnia zewnętrzna (bez porów wewnętrznych) danej cząstki;
- średnica sedymentacyjna, tj. średnica kuli o takiej samej gęstości oraz prędkości opadania w danym środowisku (zwykle powietrzu) jak dana cząstka;
- średnica aerodynamiczna, tj. średnica kuli o jednostkowej gęstości 1g/cm^3 , o tej samej prędkości opadania w danym środowisku jak dana cząstka.

Stężenie pyłu w gazie wyraża ilość fazy stałej w mieszaninie aerozolowej i może być definiowane jako:

- stężenie masowe - stosunek masy pyłu (lub strumienia masy pyłu) do sumy masy pyłu i gazu (lub ich strumieni masy);
- stężenie objętościowe - stosunek objętości pyłu (strumienia objętości pyłu) do sumy objętości pyłu i gazu (lub ich sumy strumieni objętości);
- stężenie ilościowe - stosunek liczby sztuk ziaren pyłu do objętości gazu (liczba ziaren pyłu w jednostce objętości gazu);
- stężenie masowo-objętościowe, zwane krótko koncentracją - to stosunek masy pyłu (strumienia masy pyłu) do sumy objętości pyłu i gazu (lub ich sumy strumieni objętości).

W literaturze anglojęzycznej stosuje się często, zwłaszcza przy bardzo małym stężeniu zanieczyszczeń gazowych, ale także pyłowych, określanie stężenia objętościowego w częściach na milion (ppm) lub w częściach na miliard (ppb).

W procesach odpylania, które zwykle zachodzą w kilku charakterystycznych etapach, można wyróżnić na ogół następujące fazy:

- kształtowania ruchu gazu i ziaren pyłu;
- koagulacji, tj. łączenia się ze sobą pojedynczych, drobnych ziaren w grupy, a więc tworzenia elementów o masie i wymiarach większych od masy i wymiarów pojedynczych ziaren;

- separacji rozumianej jako trwałe oddzielenie pyłu od gazu;
- wyprowadzenia z odpylacza i zagospodarowania oddzielonego pyłu.

Ze względu na zakres przeprowadzanych w odpylaczu operacji, aparaty służące do zmiany stopnia zapylenia gazów można podzielić na dwie główne grupy:

- urządzenia samodzielne (koagulująco-oddzielające), tj. takie, w których następuje zarówno koagulacja pyłu (łączenie pojedynczych ziaren w grupy lub wiązanie ich z kroplami cieczy), jak i trwałe wydzielanie ze strumienia gazu skoagulowanego pyłu lub kropeł cieczy wraz ze związanymi z nimi cząstkami,
- urządzenia niesamodzielne, zwane także koncentratorami lub koagulatorami, w których zachodzi jedynie zwiększanie stężenia pyłu w gazie (koncentrowanie) lub koagulacja pyłu, bądź też łączenie go z kroplami cieczy, ale bez wydzielania skoagulowanego pyłu lub kropeł cieczy ze strumienia gazu. Wydzielenie to następuje w innych urządzeniach współpracujących z koncentratorom lub koagulatorem.

Do zjawisk i procesów wykorzystywanych w działaniu poszczególnych grup odpylaczy należy zaliczyć:

- grawitacyjne opadanie ziaren pyłu (komory osadcze);
- bezwładność (inercję) ziaren pyłu (koncentratory i odpylacze inercyjne);
- efekty działania na ziarna pyłu siły odśrodkowej, powstającej podczas spiralnego ruchu zapyłonego gazu (cyklony, multicyklony, koncentratory odśrodkowe);
- efekty działania na ziarna pyłu siły odśrodkowej i siły wywołanej przyspieszeniem Coriolisa (suche odpylacze wirnikowe);
- proces suchej filtracji zapyłonego gazu, zachodzący podczas jego przepływu poprzez suche warstwy porowate. Odpylacze zaliczane do tej grupy noszą nazwę filtrów (filtry ziarniste, filtry ceramiczne i piaskowe),
- proces mokrej filtracji zapyłonego gazu, zachodzący podczas jego kontaktu z cieczą. Odpylacze zaliczane do tej grupy nazywa się płuczkami (płuczki: natryskowe bez wypełnienia, z wypełnieniem stacjonarnym i fluidyzującym, pianowe, z przepływem gazu poprzez zamknięcie wodne - zwane przewałowymi, uderzeniowe, wirnikowe, ze zwężką Venturiego, mokre cyklony, filtry ze zwilżonymi powierzchniami);
- zjawiska jonizacji gazu i pyłu oraz elektrostatycznego przyciągania różnoimiennie naładowanych ciał (odpylacze elektrostatyczne - nazywane potocznie elektrofiltrami);
- proces koagulacji pyłu w polu akustycznym (koagulatory akustyczne).

Zasada działania wykorzystywanego w niniejszym ćwiczeniu odpylacza filtracyjnego oparta jest na przepływie strumienia odpylanego gazu przez zespół porowatych kolektorów. W wyniku działania mechanizmów: inercyjnego, dyfuzyjnego, częściowo elektrostatycznego oraz efektu zaczepienia, cząstki aerozolowe osadzają się na powierzchni kolektorów, a z biegiem procesu odpylania - filtracji - na uprzednio wydzielonych już cząstkach. Cząstki te stanowią wówczas właściwą warstwę filtracyjną, która musi być okresowo usuwana, gdy strata ciśnienia gazu osiągnie dopuszczalną wartość. Odpylanie filtracyjne jest więc procesem cyklicznym, w którym są powtarzane cykle odpylania i oczyszczania (regeneracji) przegrody filtracyjnej.

W procesach odpylania filtracyjnego gazów odlotowych rozróżnić można dwa podstawowe typy przegród - układów filtracyjnych:

- filtry tkaninowe; w których przegrodę filtracyjną stanowią tkaniny tkane lub plecione, a także włókna filcowane, formowane w kształcie worków, kieszeni lub rozpinane na płaskich ramach;
- filtry warstwowe; w postaci przypadkowo upakowanych luźnych lub sprasowanych włókien, ziaren (granul) nieruchomych, ruchomych lub fluidyzowanych.

Filtry tkaninowe i włókniste wykonuje się z włókien naturalnych i syntetycznych, np. bawełny, wełny, nylonu, teflonu, włókna szklanego. Regeneracja filtru polega na wstrząsaniu mechanicznym lub przedmuchu powietrzem w kierunku przeciwnym do odpylania, w wyniku czego wydzielony pył w dużym stopniu zostaje usunięty. Duży wpływ na sprawność odpylania ma jakość tkaniny, a głównie równomierność rozłożenia w niej włókien, rozmiar porów i przekrój swobodny. Tkanina filtracyjna powinna spełniać odpowiednie warunki. Przy dużej zdolności do zatrzymywania cząstek tkanina powinna być również odporna na korozyjne i erozyjne działanie strumienia aerozolu, na wpływ temperatury procesu oraz oddziaływania mechaniczne związane z jej regeneracją. Pozostałe czynniki, jak zdolność do uwalniania pyłu i właściwości elektrostatyczne, są określone głównie przez powierzchniowe preparowanie tkaniny. Układy filtracyjne są zaliczane do najbardziej skutecznych metod odpylania. Uzyskuje się przy ich stosowaniu sprawności odpylania 99,9% dla cząstek o wymiarze do 0,5 μm , a nawet mniejszych - do 0,01 μm .

Do analizy i oceny ilościowej procesu odpylania, a tym samym mechanizmów wydzielania cząstek, są konieczne odpowiednie kryteria. Jako podstawowe kryterium przyjmowana jest tzw. całkowita sprawność odpylania. Jest to stosunek strumienia masy pyłu zatrzymanego w odpylaczu do masy pyłu wprowadzanego (wraz z oczyszczanym gazem) do odpylacza, czyli

$$\eta = \frac{m_z}{m_w}, \quad (1)$$

gdzie: m_z - masa pyłu zatrzymanego w odpylaczu, kg;
 m_w - masa pyłu wprowadzonego do odpylacza, kg;

ale także

$$\eta = \frac{m_z}{m_z + m_o} = \frac{m_w - m_o}{m_w} \quad (2)$$

gdzie: m_o - masa pyłu opuszczającego odpylacz w oczyszczonym gazie (masa pyłu nie zatrzymanego w odpylaczu), kg.

Ocenie ilości pyłu opuszczającego odpylacz, zwłaszcza gdy urządzenie to osiąga bardzo wysoką sprawność, służy również pojęcie penetracji, definiowane jako stosunek masy pyłu opuszczającego odpylacz (pyłu nie zatrzymanego, przechodzącego) do masy pyłu wprowadzanego wraz z gazem do odpylacza

$$p = \frac{m_o}{m_w} = \frac{m_w - m_z}{m_w} = 1 - \frac{m_z}{m_w}, \quad (3)$$

a więc: $p = 1 - \eta$.

Dla pełnej oceny efektów działania odpylacza nie wystarcza jednak znajomość jego całkowitej sprawności odpylania. Nie jest bowiem obojętne dla jakiego uziarnienia pyłu jest ona określona. Zdolność do separacji poszczególnych klas ziarnowych pyłu opisuje frakcyjna sprawność odpylania η_f . Frakcyjna sprawność odpylania i-tej klasy ziarnowej (np. o średnicy zastępczej $(5 \div 10) \mu\text{m}$, np. η_{5-10}) jest to stosunek masy pyłu tej klasy ziarnowej zatrzymywanego w odpylaczu do masy pyłu tejże klasy wprowadzanego (wraz z gazem) do odpylacza, czyli

$$\eta_{f,i} = \frac{m_{z,i}}{m_{w,i}} = \frac{m_{w,i} - m_{o,i}}{m_{w,i}} = \frac{m_{z,i}}{m_{z,i} + m_{o,i}}. \quad (4)$$

gdzie: $\eta_{f,i}$ - sprawność odpylania i-tej frakcji, -;
 $m_{z,i}$ - masa pyłu i-tej frakcji zatrzymanego w odpylaczu, kg;
 $m_{w,i}$ - masa pyłu i-tej frakcji wprowadzonego do odpylacza, kg;
 $m_{o,i}$ - masa pyłu i-tej frakcji opuszczającej odpylacz, kg;

Współzależność między całkowitą sprawnością odpylania a sprawnością frakcyjną wyraża równanie

$$\eta = \sum_{i=1}^n \eta_{f,i} u_{w,i} \quad (5)$$

gdzie: $u_{w,i} = \frac{m_{w,i}}{m_w}$ - masowy udział i-tej frakcji ziarnowej w pyłe wprowadzonym wraz z gazem do odpylacza, -

W podobny sposób jest określona frakcyjna penetracja i-tej klasy ziarnowej pyłu

$$p_{f,i} = \frac{m_{o,i}}{m_{w,i}} = 1 - \frac{m_{z,i}}{m_{w,i}} = 1 - \eta_{f,i}, \quad (6)$$

a także relacja między penetracją całkowitą a frakcyjną

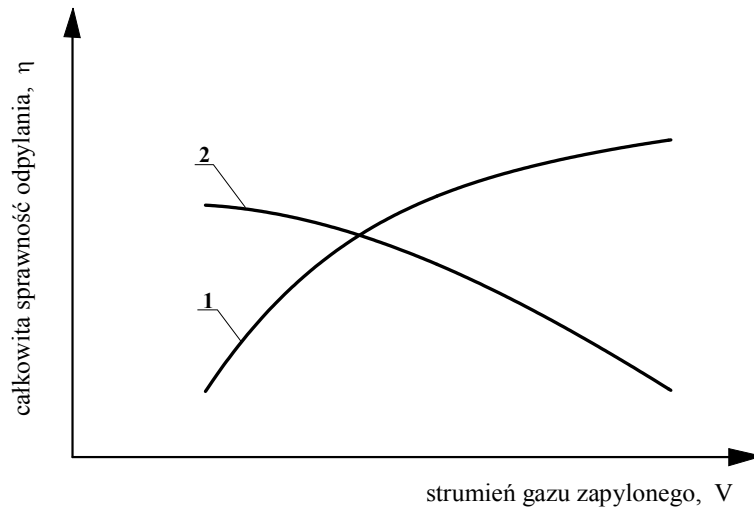
$$p = \sum_{i=1}^n p_{f,i} u_{w,i}. \quad (7)$$

W przypadku konieczności bardzo skutecznego oczyszczania gazów stosuje się często wielostopniowe stacje oczyszczania, składające się z szeregowo współpracujących urządzeń. Całkowita sprawność oczyszczania takiej stacji zależy od sprawności tworzących ją elementów (pojedynczych urządzeń), co wyraża równanie

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2)\dots(1 - \eta_n), \quad (8)$$

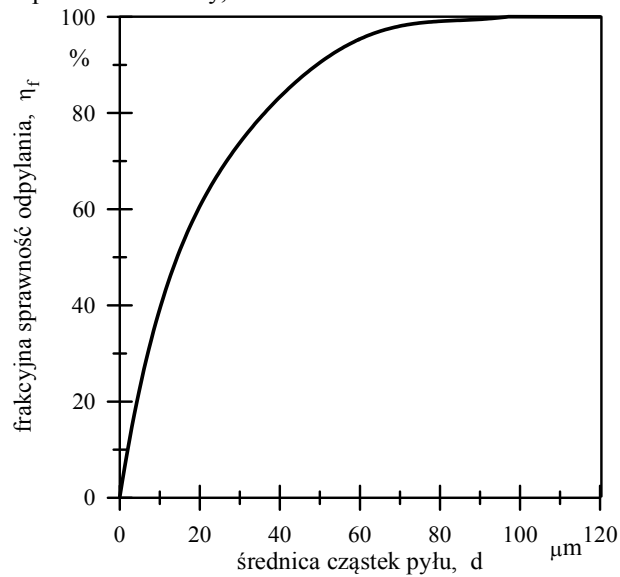
gdzie: 1, 2, 3, ..., n - numery kolejnych odpylaczy.

Podstawowymi czynnikami wpływającymi na sprawność odpylania filtracyjnego są właściwości fizyczne cząstek i gazu nośnego, prędkość filtracji, właściwości tkaniny filtracyjnej i parametry jej regeneracji. Na ogół występuje zmniejszenie sprawności odpylania ze zwiększeniem prędkości filtracji i zmniejszaniem się rozmiaru cząstek. Na rys. 1 i 2 przedstawiono typowe charakterystyki sprawności odpylania odpylaczy.



Rys. 1. Całkowita sprawność odpylania w funkcji strumienia gazu;

- 1 - np. cyklon, odpylacz mokry Venturiego, płuczka przewalowa,
2 - np. filtr tkaninowy, elektrofiltr.



Rys. 2. Przykładowy przebieg zmian frakcyjnej sprawności odpylania w funkcji wielkości ziaren pyłu

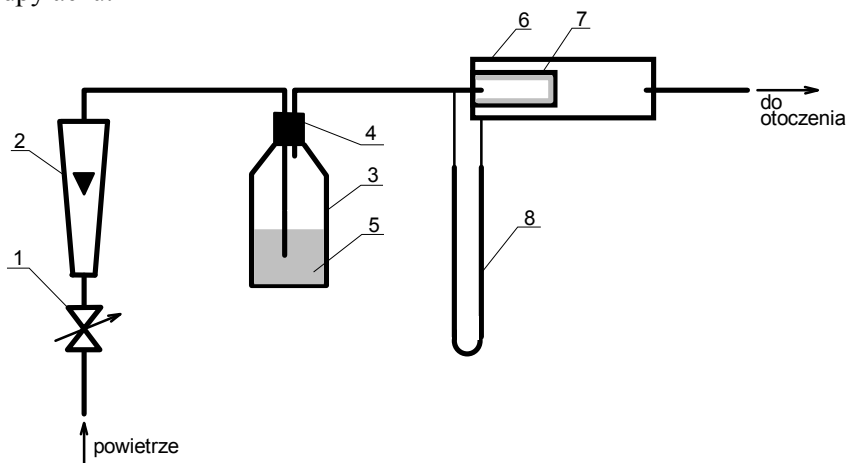
Warto podkreślić, że ze wszystkich rodzajów urządzeń do odpylania najwyższe sprawności w usuwaniu cząstek ciała stałego z gazu uzyskuje się w

odpylaczach filtracyjnych wyposażonych w specjalnie preparowane bibuły nasączone cieczą o dużej lepkości (zwykle olejem).

3. OPIS STANOWISKA LABORATORYJNEGO

Schemat stanowiska pomiarowego do badania sprawności odpylania filtru tkaninowego przedstawiono na rys. 3.

Powietrze, którego strumień regulowany jest zaworem (1) i mierzony rotametrem (2), wprowadzone jest do szklanego naczynia (3) częściowo wypełnionego suchą sproszkowaną kredą i zamkniętego gumowym korkiem (4). W naczyniu tym na skutek przepływu powietrza przez warstwę kredy tworzy się gaz zapyłony, kierowany następnie do komory filtracyjnej (6). W komorze umieszczony jest tkaninowy filtr workowy (7), wewnątrz którego następuje osadzanie się cząstek ciała stałego. Oczyszczone powietrze kierowane jest do otoczenia. Wypełniony wodą manometr U-rurkowy (8) pozwala na obserwacje zmian oporów przepływu gazu przez filtr w miarę zwiększania się ilości pyłu zatrzymanego wewnątrz worka. W skład stanowiska wchodzi również waga analityczna służąca do określania masy pyłu wprowadzanego oraz zatrzymanego w odpylaczu.

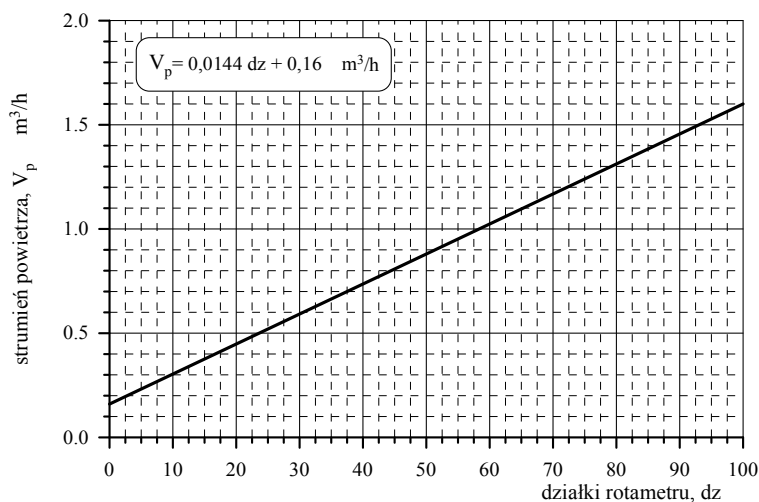


Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego

- 1- zawór regulacyjny, 2 - rotametr, 3 - naczynie szklane, 4 - korek gumowy,
5 - kreda, 6 - komora filtracyjna, 7 - filtr workowy, 8 - U - rurka

Masę pyłu wprowadzonego wyznacza się na podstawie różnicy ciężaru naczynia z kredą, mierzonego przed i po zakończeniu przepływu gazu przez naczynie. W analogiczny sposób określana jest masa pyłu zatrzymanego w

worku odpylacza tkaninowego. Charakterystykę rotametrzu mierzącego strumień powietrza przedstawiono na rys. 3.



Rys. 4. Charakterystyka rotametrzu powietrza

4. METODYKA PROWADZENIA POMIARÓW

W celu przeprowadzenia ćwiczenia należy:

- naczynie szklane (3) napełnić do połowy suchą sproszkowaną kredą;
- wykorzystując wagę analityczną wyznaczyć masę szklanego naczynia z kredą ;
- oczyścić (wytrząść) worek filtracyjny (7) i wyznaczyć jego masę przy użyciu wagi analitycznej;
- naczynie (3) zamknąć korkiem (4) i całość umieścić w odpowiednim uchwycie stanowiska;
- zamontować worek filtracyjny w komorze filtru (6);
- zaworem (1) ustalić stosunkowo niewielki, kontrolowany rotametrem (2), strumień powietrza przepływającego przez elementy stanowiska;
- w trakcie przepływu powietrza przez szklane naczynie (3) potrząsać nim energicznie w celu spulchnienia kredy a tym samym ułatwienia wytwarzania się gazu zapyłonego;
- w trakcie trwania procesu obserwować zmiany oporów przepływu gazu przez filtr workowy;
- odpylanie prowadzić do chwili zużycia całej ilości kredy;

- j) po zamknięciu dopływu powietrza zdemontować naczynie (3) z uchwyty i po wyjęciu korka (4) zważyć je powtórnie co pozwala na określenie masy kredy wprowadzonej do odpylacza;
- k) z komory filtracyjnej wyjąć worek i ważąc go wyznaczyć masę kredy zatrzymanej w odpylaczu;
- l) wyniki zanotować w tabeli pomiarowej;

Sprawność odpylania filtru workowego							
Rodzaj gazu zapyłonego: powietrze zanieczyszczone cząstkami kredy							
Strumień powietrza		Masa naczynia z kredą	Masa pustego worka	Masa pustego naczynia	Masa worka z kredą	Masa kredy wprowadzonej	Masa kredy zatrzymanej
dz	m ³ /h	g	g	g	g	g	g
20							
40							
...							

- m) po oczyszczeniu worka filtracyjnego z kredy (poprzez energiczne potrząsanie nim), powtórzyć czynności wg pkt. a)÷l) dla innych wartości strumienia powietrza.

5. ZAKRES OPRACOWANIA WYNIKÓW

1. Na podstawie zależności (1) i (3) wyznaczyć całkowitą sprawność odpylania oraz penetrację dla badanego filtru.
2. Wykreślić charakterystykę zmian zmierzonej całkowitej sprawności odpylania oraz penetracji filtru w funkcji strumienia oczyszczanego gazu.
3. Podać wnioski z przeprowadzonego ćwiczenia.

6. LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

[1] WARYCH J.: Oczyszczanie przemysłowych gazów odlotowych, WNT W-wa 1994

[2] KABSCH P.: Odpylanie i odpylacze, t.1, WNT W-wa 1992

7. TEMATYKA ZAGADNIEŃ KONTROLNYCH

1. Wielkości charakteryzujące gaz zapyłony.

2. Wielkości charakteryzujące cząstki pyłu.
3. Podział urządzeń odpylających.
4. Właściwości tkanin filtracyjnych stosowanych w odpylaczach.
5. Wielkości charakteryzujące odpylacze.