



# Zastosowanie urządzeń filtracyjnych w walce z zapyleniem powietrza podczas przeładunku surowców

Zbigniew KUCZERA<sup>1)</sup>, Rafał ŁUCZAK<sup>2)</sup>, Piotr ŻYCKOWSKI<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> dr inż.; Katedra Inżynierii Środowiska, Wydział Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8130-5102>; email: [zkuczera@agh.edu.pl](mailto:zkuczera@agh.edu.pl)

<sup>2)</sup> dr inż.; Katedra Inżynierii Środowiska, Wydział Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6897-8679>; [rluczak@agh.edu.pl](mailto:rluczak@agh.edu.pl)

<sup>3)</sup> dr inż.; Katedra Inżynierii Środowiska, Wydział Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1573-9943>; email: [piotr.zyckowski@agh.edu.pl](mailto:piotr.zyckowski@agh.edu.pl)

<http://doi.org/10.29227/IM-2025-01-34>

Submission date: 17-06-2025 | Review date: 30-06-2025

## Abstrakt

Podczas niektórych procesów przemysłowych dochodzi do ciągłej emisji pyłu do atmosfery. Odpylanie filtracyjne ma na celu ujmowanie go jak najbliżej miejsca jego powstawania. Wielkość odpylaczy filtracyjnych workowych zależy od strumienia objętościowego oczyszczanego powietrza oraz rodzaju i ilości ujmowanego pyłu. W artykule przedstawiono przykłady przemysłowego wykorzystania suchych odpylaczy filtracyjnych podczas przeładunku surowców mineralnych i energetycznych. Zapylenie powietrza może spowodować powstanie niebezpiecznego stężenia pyłu dla zdrowia człowieka oraz może być przyczyną zagrożenia wybuchowego. Miejscowa redukcja zapylenia powietrza za pomocą suchych odpylaczy jest wymagana w zakładach produkcyjnych ze względu na poprawę jakość powietrza i bezpieczeństwo pracy.

**Słowa kluczowe:** zapylenie powietrza, zwalczanie zapylenia, suchy odpylacz filtracyjny, filtry kieszeniowe

## 1. Wprowadzenie

Problematyka emisji i zwalczania zagrożenia pyłowego w zakładach przemysłowych jest istotna ze względu za zagrożenie jakie niesie nadmierne zapylenie na stanowiskach pracy. Zagrożenie to skierowane jest na człowieka jako czynnik szkodliwy i uciążliwy, który wywołuje choroby zawodowe oraz na wyposażenie w sprzęt techniczny linii produkcyjnej. Należy pamiętać o zagrożeniu wybuchem pyłu zawieszonego w powietrzu, traktowane jako bardzo gwałtowna reakcja egzotermiczna. Mieszanina powietrza i pyłu zawierająca od 10% związków organicznych w ilości od 50 do 1000 g/m<sup>3</sup> powietrza, przy odpowiedniej inicjacji termicznej może stanowić mieszaninę wybuchową (CFT Polska, 2024). Rozporządzenie (Dz. U. 2018 poz.1286, 2018) zawiera najwyższe dopuszczalne stężenia i natężenia czynników szkodliwych dla zdrowia na stanowiskach pracy i przyczynia się do redukcji zapylenia w różnych gałęziach przemysłu. Sposoby walki z zapyleniem i emisją pyłów do powietrza rozwijają się bardzo szybko na co wpływa rozwój technologiczny i modernizacja linii technologicznych przetwarzania materiałów. Rozwój naukowy oraz zwiększająca się świadomość zagrożenia ze strony zapyłonego powietrza przyczyniają się do coraz bardziej efektywnych rozwiązań technicznych w walce z zapyleniem.

Jako metody walki z zapyleniem najpowszechniej stosuje się zraszanie, separację źródeł emisji często określaną jako hermetyzację oraz odpylanie procesowe. Według Stefanickiej (2013) separacja urządzeń emitujących pyły nie zawsze jest możliwa, a zastosowanie odpowiednich osłon lub odciągów miejscowych wpływa na obniżenie zagrożenia pyłowego. W zakładach górniczych lub w zakładach kamieniarskich popularną metodą obniżenia emisji pyłów jest zraszanie obrabianego materiału lub miejsc przesytywania materiałów

sympich strumieniem rozpylonej wody często z dodatkiem detergentów.

W celu oczyszczenia strumienia powietrza z pyłów popularne stało się zastosowanie różnego typu odpylaczy filtracyjnych, elektrofiltrów a w przemyśle drzewnym cyklonów i multicyklonów.

Podczas niektórych procesów przemysłowych dochodzi do ciągłej emisji pyłu do atmosfery. Jednym ze sposobów ujmowania go jak najbliżej miejsca jego powstawania jest zastosowanie instalacji odpylających (Kuczera et al., 2018b; Kuczera et al., 2019, Kuczera, 2019). Instalacje odpylające zasysające powietrze zawierające substancje stałe zawieszony w powietrzu można podzielić (Kuczera et al., 2018a):

a) ze względu na sposób odbioru zapyłonego powietrza:

- systemy centralne,
- systemy rozproszone (punktowe).

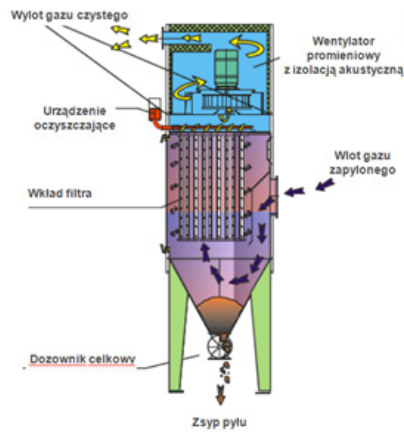
b) ze względu na rodzaj zastosowanego odpylacza:

- systemy z odpyleniem filtracyjnym suchym,
- systemy z odpyleniem mokrym,
- systemy z odpyleniem cyklonowym,
- systemy z odpyleniem na bazie elektrofiltrów.

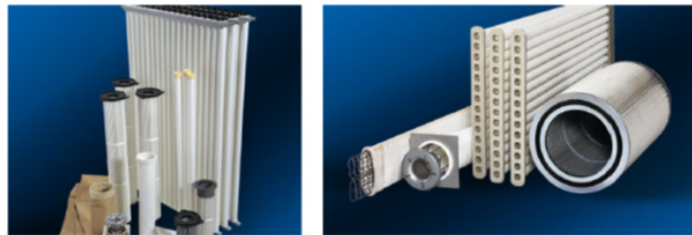
W ssących instalacjach odpylających separacja pyłu z powietrza odbywa się za pomocą urządzeń odpylających zwanych odpylaczami. W artykule zostaną opisane przykłady zastosowania suchych odpylaczy filtracyjnych.

## 2. Metody filtracyjne w walce z zapyleniem powietrza

Metody filtracyjne w walce z zapyleniem powietrza polegają na wykorzystaniu filtrów do usuwania cząstek stałych i gazowych z powietrza, poprawiając w ten sposób jego jakość.



Rys. 1. Budowa kompaktowego odpylacza filtracyjnego firmy DFT (CFT Polska, 2024)  
 Fig. 1. Construction of a compact filter dust collector from DFT (CFT Polska, 2024)



Rys. 2. Ustawienie wkładów filtracyjnych w pionie (rys. po lewej) lub poziomie (rys. po prawej) (CFT Polska, 2024)  
 Fig. 2. Setting the filter inserts vertically (left figure) or horizontally (right figure) (CFT Polska, 2024)

Dostępne są różne typy filtrów, w tym filtry wstępne, dokładne i elektrostatyczne (ESP – elektrostatyczny separator pyłu), a także filtry workowe, cyklony i skrubery.

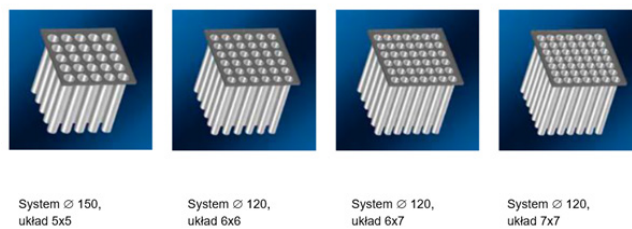
Norma (PN EN ISO 16890, 2023) zawiera klasyfikację filtrów, która została ustalona w oparciu o wielkość cząstek stałych o rozmiarach PM1, PM2,5 i PM10, która stosowana jest również przez Światową Organizację Zdrowia (WHO). Norma PN EN ISO 16890 wprowadza następujące kategorie filtrów, jako (PN EN ISO 16890, 2023):

- ISO Coarse - filtry zgrubne, przeznaczone do zatrzymywania większych cząstek, takich jak piasek i włosy.
- ISO ePM10 - filtry skuteczne w zatrzymywaniu pyłu PM10, w tym pyłków i pyłu pustynnego.
- ISO ePM2.5 - filtry skuteczne w zatrzymywaniu pyłu PM2.5, w tym bakterii, zarodników grzybów i pleśni, pyłków oraz pyłu z tonerów.
- ISO ePM1 - filtry skuteczne w zatrzymywaniu pyłu PM1, w tym wirusów i nanocząstek.

Do określania wydajności wychwytywania cząstek przez filtry w normie uwzględniono zakres cząstek pyłów od 0.3µm do 10µm, w celu określenia przynależności filtra powietrza do grupy PM10, PM2,5 i PM1. Filtr powietrza jest klasyfikowany do konkretnej grupy, jeżeli jego minimalna wydajność zatrzymywania pyłów wynosi co najmniej 50% i jest ona opisywana w przedziale dokładności do 5%. Filtr powietrza o wydajności 66% dla cząstek PM1 jest klasyfikowany jako filtr o oznaczeniu ePM1 65%. Symbol „e” stojący przy klasyfikacji filtra oznacza wydajność materiału filtracyjnego (efficiency) (PN EN ISO16890, 2023).

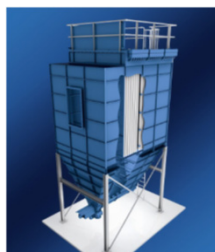
W instalacjach przemysłowego odpylania najczęściej stosuje się dwie klasyczne metody odpylania, tj. odpylanie

mokre oraz suche. Odpylanie mokre wymaga doprowadzenia do instalacji wody, która odpowiednio rozpylana zrasza wzbudzone do powietrza zanieczyszczenia, tym samym ograniczając ich rozprzestrzenianie. Odpylanie suche jest procesem eliminacji cząstek stałych (pyłów) z gazów za pomocą suchych materiałów filtracyjnych, w którym nie wykorzystuje się efektu zraszania za pomocą wody (Kuczera et al., 2018a). Metoda ta jest stosowana, gdy pyły nie są lepkie, wilgotne lub wybuchowe oraz mogą być łatwo oddzielane przez materiał filtracyjny. W instalacjach przemysłowego oczyszczania powietrza odpylanie suche jest szeroko stosowane np. (Kuczera, 2019): obróbka drewna (odpylanie trocin), przeróbka materiałów skalnych, przemysł metalurgiczny, przemysł spożywczy, branża cementowa, przemysł ceramiczny oraz różnego typu spalarnie. Suche odpylacze przemysłowe stosowane są głównie w sytuacji zwiększonego stężenia zanieczyszczeń powietrza przekraczającego 0,05 mg/m<sup>3</sup>, gdy zastosowanie filtrów stacjonarnych nie jest możliwe lub ekonomicznie uzasadnione przez bardzo szybko zapychany materiał filtracyjny i częstą jego wymianę. W celu wydłużenia okresu wykorzystania filtrów suchych wykorzystuje się sprężone powietrze do oczyszczania elementów filtracyjnych w trybie pulsacyjnym. Redukcja pyłu zawieszonego w powietrzu metodą suchą odbywa się przy pomocy suchych odpylaczy filtracyjnych zwanych pulsacyjnymi. Odpylacze suche zatrzymują pył na materiale filtra kieszeniowego lub workowego, a następnie są oczyszczane za pomocą powtarzanego cyklicznie impulsu pneumatycznego, stąd bardzo często określane są jako odpylacze pulsacyjne. Odpowiednie wymogi dotyczące ochrony przeciwpożarowej i antystatycznej są spełnione przez zastosowanie specjalnego materiału i zabezpieczenie go przed gromadzeniem się ła-



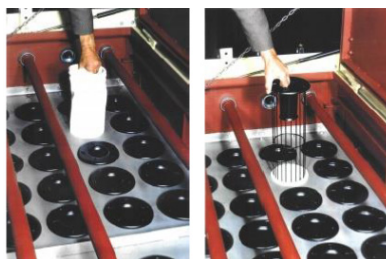
Rys. 3. Ustawienie i rozkład worków w wkładzie filtracyjnym dla średnic 120 i 150 mm (CFT Polska, 2024)

Fig. 3. Positioning and distribution of the bags in the filter insert for diameters 120 and 150 mm (CFT Polska, 2024)



Rys 4. Usytuowanie kompaktowych filtrów workowych w komorze filtracyjnej odpylacza suchego o wydajności do 500.000 m<sup>3</sup>/h (CFT Polska, 2024)

Fig. 4. Location of compact bag filters in the filter chamber of a dry dust collector with a capacity of up to 500,000 m<sup>3</sup>/h (CFT Polska, 2024)



Rys. 5. Wymiana rękawów filtracyjnych w odpylaczu workowym (CFT Polska, 2024)

Fig. 5. Replacing filter sleeves in a bag dust collector (CFT Polska, 2024)

dunków elektrycznych (Kuczera et al., 2019; Lutyński, 2021). Jest to szczególnie ważne w przypadku pyłów wybuchowych. Budowa odpylacza filtracyjnego firmy DFT została przedstawiona na rysunku 1.

Wielkość i typoszereg zastosowanego pulsacyjnego odpylacza filtracyjnego zależy od strumienia objętościowego oczyszczanego powietrza oraz rodzaju i ilości ujmowanego pyłu. Kompaktowe filtry pulsacyjne mogą być dobierane w zależności od kierunku przeprowadzania strugi powietrza pionowo lub poziomo, co pokazano na rys. 2.

Oprócz wyboru odpowiedniego ustawienia wkładów filtracyjnych w odpylaczu, firma oferuje wybór wielkości wkładów filtracyjnych, co ma na względzie uzyskanie właściwej powierzchni materiału filtrującego w komorze filtracyjnej odpylacza (rys. 3 i 4), zapewniającej wysoką sprawność oczyszczania powietrza. W celu zwiększenia efektywności oczyszczania odpowiednio dobiera się liczbę filtrów workowych od 25 (układ 5x5) do 49 (układ 7x7). Istnieje możliwość indywidualnego zaprojektowania rozkładu, liczby filtrów workowych oraz ich wielkości w zależności od własności pyłów. Najczęściej wybiera się wkłady kompaktowe, które mogą pracować w bateriach połączonych segmentowo, co pokazano na rys. 5 (ustawienie pionowe).

Filtr workowy montowany jest na stelażu i umieszczany jest w baterii filtra. Montaż i demontaż koszy i worków (rękawów) filtracyjnych odbywa się w przypadku stwierdzenia utraty sprawności odpylania, co pokazano na rys. 5.

Oczyszczone powietrze jest najczęściej usuwane do atmosfery a pył zostaje zmagazynowany w specjalnym zbiorniku, a następnie usuwany (rys. 6).

### 3. Przykłady zastosowania instalacji odpylających na bazie pulsacyjnych odpylaczy filtracyjnych w branży oekologicznej

Instalacje odpylania wykorzystujące pulsacyjne odpylacze filtracyjne są powszechnie stosowane w przypadku, występowania pyłów wybuchowych lub szkodliwych dla zdrowia np. pył węglowy, pył z produkcji wełny szklanej lub skalnej, pył azbestowy.

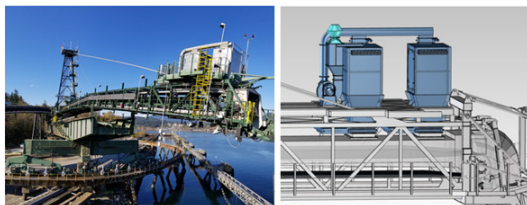
Instalacje odpylające są stosowane w wielu branżach przemysłowych, najczęściej dotyczą usuwania pyłu z miejsc o dużej jego emisji podczas procesów wydobywania, wytwarzania, przeróbki i transportu np. przemysł oekologiczny, przemysł drzewny, branża chemiczna, odzysk i recykling odpadów, metalurgia, branża spożywcza, odpylanie spalin. Poniżej zostaną przedstawione jedynie przykłady zastosowania tego typu instalacji przy wykorzystaniu odpylaczy na podstawie doświadczeń firmy DFT w branży oekologicznej podczas transportu i przeładunku węgla i rud metali oraz procesów przeróbki surowców skalnych [5]:

- Przykład 1. Górnictwo węglowe – odpylanie kocówki wysięgnika przenośnika taśmowego do rozładunku węgla (rys. 7). Instalacja odpylająca (kolor niebieski) o parametrach technicznych:



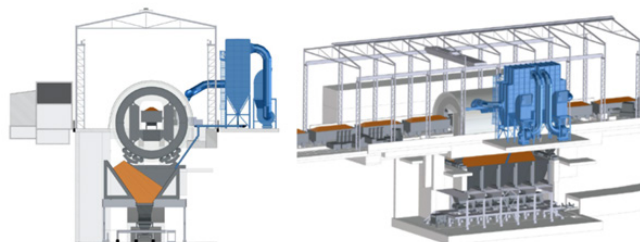
Rys. 6. Odpylacz workowy pulsacyjny z możliwością magazynowania usuwanego pyłu (CFT Polska, 2024)

Fig. 6. Pulse bag dust collector with the possibility of storing the removed dust (CFT Polska, 2024)



Rys. 7. Zastosowanie odpylaczy suchych na końcówce wysięgnika przenośnika taśmowego (CFT Polska, 2024)

Fig. 7. Application of dry dust collectors at the end of the belt conveyor boom (CFT Polska, 2024)



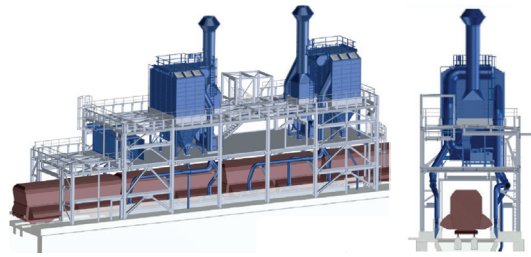
Rys. 8. Zastosowanie instalacji odpylającej na bazie suchego odpylacza workowego na stacji rozładowywania urobku (CFT Polska, 2024)

Fig. 8. Application of a dust removal installation based on a dry bag dust collector at the spoil unloading station (CFT Polska, 2024)

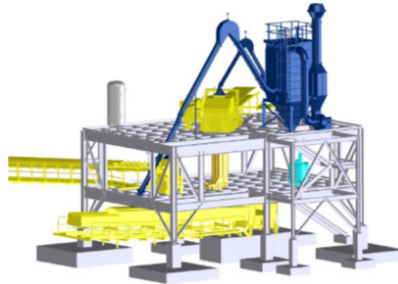
- Filtr workowy: KJF 1500/18-18,
  - Objętościowe natężenie przepływu: 4.000 m<sup>3</sup>/h,
  - Temperatura robocza: -40°C / +40°C,
  - Powierzchnia filtra: 75 m<sup>2</sup>.
- Przykład 2. Górnictwo węglowe – stanowisko rozładunku wagonów z węglem z ochroną przeciwwybuchową (2 x 80 Mg), Nouadhibou, Mauretania (rys. 8). Instalacja odpylająca (kolor niebieski) o parametrach technicznych:
    - Filtr workowy: SJV 180/12-18/24-V,
    - Objętościowe natężenie przepływu: 90.000 m<sup>3</sup>/h,
    - Temperatura robocza: 0°C / +40°C,
    - Powierzchnia filtra: 778 m<sup>2</sup>.
  - Przykład 3. Górnictwo węglowe – stanowisko rozładunku wagonów z węglem z ochroną przeciwwybuchową (2 x 80 Mg), Mannheim, Niemcy (rys. 9). Instalacja odpylająca (kolor niebieski) o parametrach technicznych:
    - Filtr workowy: SJV 170/12-18/21-V2,
    - Objętościowe natężenie przepływu: 60.000 m<sup>3</sup>/h,
    - Temperatura robocza: -20°C / +40°C,
    - Powierzchnia filtra: 643 m<sup>2</sup>.
  - Przykład 4. Górnictwo rud – narożna wieża przepływowa, Mauretania (rys. 10). Instalacja odpylająca (kolor niebieski) o parametrach technicznych:
    - Filtr workowy: SJV 115/13-15/10V,
    - Objętościowe natężenie przepływu: 15.000 m<sup>3</sup>/h,
    - Temperatura robocza: -0°C / +40°C,
    - Powierzchnia filtra: 175 m<sup>2</sup>.
  - Przykład 5. Instalacje suchego odpylania na portowych stacjach przeładunkowych węgla: instalacja filtracyjna, port w Rydze, Łotwa (rys. 11) oraz instalacja filtracyjna (bunkry węglowe), port w Santa Maria, Kolumbia (rys. 12).
  - Przykład 6. Kopalnie odkrywkowe, tunele i inne roboty ziemne tj. kruszarki, drążnie i budowa tuneli, instalacje do mieszania asfaltu, obróbka kamienia, remonty mostów (rys. 13 i 14).
- Zastosowanie suchych odpylaczy pozwala uzyskać odpowiednią jakość powietrza na stanowiskach pracy np. podczas urabiania twardych skał, niezależnie od ilości powstającego pyłu, uzyskując stężenie zapylenia w powietrzu oczyszczonym na poziomie poniżej 0,05 mg/m<sup>3</sup> (CFT, 2025).

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Zastosowanie odpylania podczas przeładunku surowców ma zapewnić ograniczenie emisji pyłu do atmosfery. Zapylenie powietrza może spowodować powstanie niebezpiecznego



Rys. 9. Zastosowanie instalacji odpylającej na bazie suchych odpylaczy workowych na stacji rozładowywania urobku (CFT Polska, 2024)  
 Fig. 9. Application of a dust removal installation based on dry bag dust collectors at the spoil unloading station (CFT Polska, 2024)



Rys. 10. Zastosowanie odpylania suchego na narożnej wieży przesypowej (CFT Polska, 2024)  
 Fig. 10. Application of dry dust removal on a corner transfer tower (CFT Polska, 2024)



Rys. 11. Zastosowanie instalacji odpylającej na portowej stacji rozładunkowej węgla w porcie w Rydze (CFT Polska, 2024)  
 Fig. 11. Application of dust removal installation at the port coal unloading station in the port of Riga (CFT Polska, 2024)



Rys. 12. Zastosowanie instalacji odpylającej na wlocie do bunkrów magazynowych węgla w porcie Santa Maria (CFT Polska, 2024)  
 Fig. 12. Application of a dust removal installation at the inlet to coal storage bunkers in the port of Santa Maria (CFT Polska, 2024)



Rys. 13. Instalacja odpylająca kruszarkę w kopalniach wapienia (CFT Polska, 2024)  
 Fig. 13. Crusher dust removal installation in limestone mines (CFT Polska, 2024)



Rys. 14. Instalacja odpylająca na maszynie TBM (Tunnel Boring Machine) (CFT Polska, 2024)

Fig. 14. Dust extraction installation on a TBM (Tunnel Boring Machine) (CFT Polska, 2024)

stężenia pyłu dla zdrowia człowieka oraz może być przyczyną zagrożenia wybuchowego. Miejscowa redukcja zapylenia powietrza za pomocą suchych odpylaczy jest wymagana w zakładach produkcyjnych ze względu na poprawę jakości powietrza i bezpieczeństwo pracy. W przypadku kopalni palnych dla dużych strumieni oczyszczanego powietrza najczęściej stosuje się kompaktowe odpylacze filtracyjne (workowe). Wielkość i typoszereg zastosowanego pulsacyjnego odpylacza

filtracyjnego zależy od strumienia objętościowego oczyszczanego powietrza oraz rodzaju i ilości ujmowanego pyłu. Kompaktowe filtry pulsacyjne mogą być dobierane w zależności od kierunku przeprowadzania strugi powietrza pionowo lub poziomo. W artykule przedstawiono przykłady zastosowania instalacji odpylających na bazie filtrów pulsacyjnych podczas przeładunku surowców mineralnych (ruda żelaza) i energetycznych (węgiel kamienny).

#### Literatura – References

1. Kuczera Z., Ptaszyński B.: 2018a. Ograniczenie zapylenie w przodku drążonego wyrobiska w LW „Bogdanka” S.A. Inżynieria Mineralna, z. 1(41).
2. Kuczera Z., Ptaszyński B.: 2018b. Weryfikacja nowego rozwiązania technicznego ograniczającego zapylenie w przodku drążonego wyrobiska w LW „Bogdanka” S.A. Inżynieria Mineralna, z. 1(41).
3. Kuczera Z., Ptaszyński B.: 2019. Zwalczenie zapylenia w górnictwie polskim. Inżynieria Mineralna Z. 2(43).
4. Kuczera Z.: 2019. Metody zwalczania zapylenia w kopalniach podziemnych jako ważny aspekt bezpieczeństwa pracy. W: XXVIII Szkoła Eksploatacji Podziemnej 2019. Kraków, 25-27.02.2019r. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk.
5. Lutyński A.: 2021. Zagrożenia pyłem i ich zwalczanie w zakładach przeróbki mechanicznej kopalni węgla kamiennego. Inżynieria Mineralna. Tom 1 Nr 1. <http://doi.org/10.29227/IM-2021-01-02>
6. Materiały udostępnione przez firmę CFT Polska. 2024.
7. PN-EN ISO 16890. Przeciwpyłowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej. 2023.
8. Rozporządzenia Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy - Dz. U. 2018 poz. 1286.
9. Stefanicka M.: 2013. Techniczne metody ograniczania zapylenia w zakładach kruszyw i ocena ich skuteczności. Mining Science 2013 vol. 20, p.71-85.
10. CFT Polska: 2025. <https://cft-gmbh.de/pl/odpylanie>

#### *Application of Filtering Devices in the Fight against Air Dustiness During Raw Material Transfer*

*Some industrial processes constantly release dust into the air. Filter dust collection aims to remove it as close to its source as possible. The size of baghouse filter dust collectors depends on the volumetric flow of the air being purified and the type and amount of dust being captured. This article provides examples of the industrial use of dry filter dust collectors during the reloading of mineral and energy raw materials. Airborne dust can create hazardous concentrations that threaten human health and pose an explosion risk. Local dust reduction using dry dust collectors is essential in manufacturing plants to improve air quality and occupational safety.*

**Keywords:** *air dust, dust control, dry filter dust collector, pocket filters*