



Zastosowanie instalacji odpylających w zakładach przerobczych

Zbigniew KUCZERA¹⁾, Rafał ŁUCZAK²⁾, Piotr ŻYCZKOWSKI³⁾

¹⁾ 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

²⁾ 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

³⁾ 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.zyczkowski@agh.edu.pl

<http://doi.org/10.29227/IM-2025-01-33>

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

Abstrakt

Artykuł dotyczy zagadnienia zastosowania odpylaczy powietrza w instalacjach odpylających w zakładach przerobczych. Podczas przeróbki i transportu surowców energetycznych i mineralnych powstaje miejscowa emisja pyłów do atmosfery. Zapylenie powietrza może spowodować powstanie niebezpiecznego stężenia pyłu węglowego ze względu na jego wybuchowość oraz pyłu kamiennego mając na uwadze zagrożenie pyłami szkodliwymi dla zdrowia. Miejscowa redukcja zapylenia powietrza za pomocą mokrych i suchych odpylaczy zapewnia bezpieczne stężenia pyłu na stanowiskach pracy. W artykule przedstawione przykłady instalacji odpylających w zakładach przerobczych węgla kamiennego i surowców skalnych.

Słowa kluczowe: zapylenie powietrza, zwalczanie zapylenia, suchy odpylacz filtracyjny, mokry odpylacz, frakcja wdychalna, frakcja respirabilna

1. WPROWADZENIE

W procesie kruszenia, klasyfikacji i transportu surowców energetycznych i skalnych powstają duże ilości pyłu przemysłowego. Ze względu na miejsce jego powstawania stosuje się zbiorową ochronę pracowników wykorzystując głównie zraszanie (przesypy taśmociągów, wloty do zbiorników magazynowych) oraz urządzenia odpylające typu mokrego i suchego współpracujące z systemami wentylacji najczęściej ssącej (kruszarki, młyny, sito). Zwalczanie zapylenia w zakładach przerobczych ma na celu ograniczyć [2, 4, 5]:

- powstawanie i osiadania pyłów w strefie niebezpiecznej, ze względu na zagrożenie wybuchem pyłu węglowego,
- negatywne oddziaływanie na zdrowie pracowników spowodowane wdychaniem pyłów przemysłowych zawierających wolną krzemionkę SiO₂, która powoduje zwłóknienie tkanki płucnej oraz działa toksycznie również na inne narządy organizmu ludzkiego.

W przypadku przeróbki mechanicznej w kopalniach największa intensywność występowania pyłu węglowego występuje w obszarach procesów prowadzonych „na sucho” takich jak sekcje klasyfikacji, rozdrabniania grubych sortymentów, suszenia koncentratów mułowych, sortowania i załadunku produktów handlowych oraz na przesypach układów transportujących urobek między sekcjami technologicznymi i zasypach zbiorników [6].

Najprostszą metodą pomiaru stężenia pyłu [mg/m³] jest oznaczanie wagowe pyłu wdychalnego (frakcja wdychalna) oraz pyłu respirabilnego (frakcja respirabilna) w jednostce objętości powietrza.

W warunkach przemysłowych najczęściej do pomiaru indywidualnej ekspozycji na pył w środowisku pracy używa

się pyłomierzy grawimetrycznych CIP 10. Średnie stężenie pyłu przy pomocy CIP 10 oblicza się z zależności zdefiniowanej jako iloraz zmierzonej masy pyłu oraz iloczynu czasu pomiaru i natężenia przepływu powietrza w urządzeniu. Od 21 sierpnia 2018 roku według [11] obowiązujące Najwyższe Dopuszczalne Stężenia (NDS) wynoszą:

- dla pyłów zawierających (wolną) krystaliczną krzemionkę od 2 do 50 mg/m³ i powyżej 50 mg/m³: 0,1 mg/m³;
- dla pyłów węgla (kamienny, brunatny): frakcja wdychalna 10 mg/m³, frakcja respirabilna 2 mg/m³.

Według [11] frakcja wdychalna to frakcja aerozolu wnikająca przez nos i usta, która po zdeponowaniu w drogach oddechowych stwarza zagrożenie dla zdrowia, określona zgodnie z normą PN-EN 481. Natomiast frakcja respirabilna to frakcja aerozolu wnikająca do dróg oddechowych, która stwarza zagrożenie dla zdrowia po zdeponowaniu w obszarze wymiany gazowej, określona zgodnie z normą PN-EN 481. W przypadku pyłów węgla obowiązuje jednocześnie oznaczanie stężenia frakcji respirabilnej krzemionki krystalicznej.

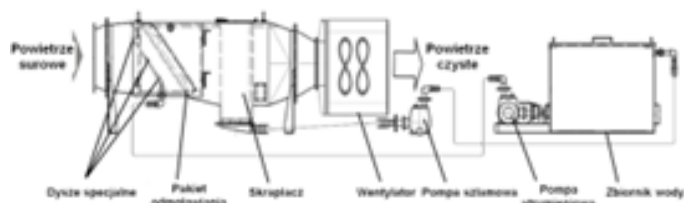
Pomiary zapylenia w zakładach przerobczych wykazały liczne stanowiska pracy, na których przekraczane są wartości NDS pyłów. Wg raportu za 2018 rok [10] zarejestrowano 315 stanowisk pracy z przekroczeniami wartości NDS oraz 585 stanowisk pracy o nadmiernym zapyleniu (0,5-1 NDS). Szczegółowe dane na ten temat przedstawiono w tabeli 1.

Podkreśla się, że drugą najczęstszą przyczyną chorób zawodowych u pracowników zakładów przerobczych (po hałasie) było nadmierne zapylenie, co po latach objawia się zmianami w płucach, prowadzącymi do pylicy. Szczegółowe wyniki badań stężenia i ocenę narażenia na pył wdychalny i respirabilny w górnictwie węgla kamiennego i brunatnego

Tab. 1. Liczba stanowisk pracy zagrożonych obecnością pyłów w zakładach przerobczych [10]

Tab. 1. Number of workplaces exposed to dust in processing plants [10]

Jednostka organizacyjna	Zawartość pyłu o stężeniu	
	powyżej NDS	0,5-1 NDS
PGG SA	143	329
Jastrzębska Spółka Węglowa SA	81	153
Tauron Wydobycie SA	20	47
Węglokoks Kraj Sp. z o.o.	42	25
Kopalnie samodzielne	29	31
Razem	315	585



Rys. 1. Budowa i zasada działania odpylacza mokrego HCN firmy CFT [7]

Fig. 1. Construction and principle of operation of the CFT Wet Scrubber – Type HCN [7]



Rys. 2. Budowa wewnętrzna odpylacza mokrego typoszeregu HCN [7]

Fig. 2. Internal structure of a wet dust collector of the HCN series [7]



Rys. 3. Kompaktowy odpylacz suchy HTKK firmy CFT [7]

Fig. 3. Compact dry dust collector HTKK from CFT [7]

przedstawiono w pracy [8]. Najwyższy udział wyników pomiarów powyżej NDS wykazano na stanowiskach pracy związanych bezpośrednio z wydobyciem surowca (74,76% dla pyłu wdychalnego i 70,84% dla pyłu respirabilnego). Natomiast dla stanowisk pracy dotyczących przeróbki surowców przekroczenia powyżej NDS wynosiły odpowiednio 29,65 i 17,70%.

2. PODZIAŁ METOD REDUKCJI ZAPYLENIA

Systemy odpylania w zakładach przerobczych węgla kamiennego, rud i surowców skalnych dzielą się:

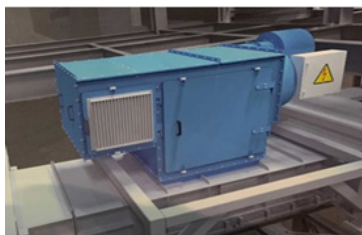
a) ze względu na sposób odbioru zapyłonego powietrza:

- systemy centralne,
- systemy rozproszone (punktowe).

b) ze względu na rodzaj zastosowanego odpylacza:

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

W ssących instalacjach odpylających separacja pyłu w powietrzu odbywa się za pomocą urządzeń odpylających zwanych odpylaczami. W artykule zostaną szerzej opisane odpylacze typu mokrego oraz suchego [7] i zostaną przedstawione przykłady ich zastosowania w zakładach przerobczych. Odpylacze mokre działają na zasadzie oczyszczania powietrza zawierającego pył, poprzez przechwycenie cząstek stałych zawieszonych w powietrzu przez kropelki wody, a następnie oddzielenie kropli wody od powietrza. Specjalne dysze generują kurtynę wodną oddziałującą na zasysane zanieczyszczone powietrze. Mieszanina pyłu, wody i powietrza przepływa przez „demister” (odmgławiacz), w którym następuje dalsze ich mieszanie. Skraplacz oddziela szlam i pozostałości wody od powietrza, a oczyszczone powietrze opuszcza system przez wentylator, który wytwarza odpowiednie podciśnienie. Wentylator umieszczony jest w strumieniu powietrza czystego. Oddzielona mieszanina wody i pyłu jest odpompowana do zbiornika w celu sedymentacji. Zbiornik ten może być umieszczony razem z urządzeniem bądź oddzielnie. Oczyszczona po sedymentacji woda ponownie wraca do dysz skra-



Rys. 4. Kompaktowy odpylacz suchy firmy DFT do rozproszonych źródeł zapylenia [7]

Fig. 4. Compact dry dust collector from DFT for dispersed dust sources [7]



Rys. 5. Schemat instalacji centralnego odpylenia obiektu kruszarni węgla kamiennego [7]

Fig. 5. Diagram of the central dust removal installation of the hard coal crushing plant [7]



Rys. 6. Zabudowany punkt odbioru zapylnego powietrza na obiekcie kruszarni [7]

Fig. 6. Built-in dusty air collection point at the crushing plant [7]



Rys. 7. Miejsce zabudowy szeregowo połączonych wentylatorów Korfmann typoszeregu ESN-9/550 [7]

Fig. 7. Place of installation of series-connected Korfmann fans of the ESN-9/550 type series [7]

plających przy użyciu pompy strumieniowej [2, 3, 5, 7, 9]. Budowa mokrego odpylacza HCN przedstawiona została na rys. 1.

Na rysunku 2 przedstawiono budowę wewnętrzną odpylacza mokrego HCN firmy CFT ze względu na sposób ułożenia dysz specjalnych na jego wlocie.

Redukcja pyłu w powietrzu metodą suchą odbywa się przy pomocy suchych odpylaczy filtracyjnych. Odpylacze suche zatrzymują pył na materiale filtra, a następnie są oczyszczane za pomocą powtarzanego cyklicznie impulsu pneumatycznego, skierowanego w kierunku przeciwnym do zasysanego powietrza. Odpylacze kompaktowe suche CFT typoszeregu HBKO lub HTKK dostępne są dla wydajności objętościowych zasysanego powietrza od 30 do 3000 m³/min (rys. 3) i pozwa-

lają na osiągnięcie resztkowej zawartości pyłu $\leq 0,05$ mg/m³. Odpowiednie wymogi dotyczące ochrony przeciwpożarowej i antystatycznej są spełnione przez zastosowanie specjalnego materiału i zabezpieczenie przed gromadzeniem się ładunków elektrycznych [2, 3, 4, 5, 7].

W przypadku instalacji rozproszonych stosuje się odpylacze suche DFT, które dobiera się odpowiednio mając na uwadze ilość odprowadzanego pyłu (rys. 4). Mają one zwartą budowę, małe gabaryty, niskie opory przepływu powietrza w związku z czym pozwalają na oszczędności energii elektrycznej rzędu 40% [7].

3. PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA INSTALACJI ODPYLAJĄCYCH W ZAKŁADACH PRZERÓBczyCH



Rys. 8. Miejsce zabudowy odpylacza mokrego HCN1100/1 w układzie centralnym odpylania [7]
 Fig. 8. Installation location of the HCN1100/1 wet dust collector in the central dust removal system [7]



Rys. 9. Przewody wentylacyjne – kształtki i sposób ich łączenia [7]
 Fig. 9. Ventilation ducts – fittings and their connection method [7]



Rys. 10. Przewód zbiorczy doprowadzający zabrudzone powietrze do odpylacza HCN [7]
 Fig. 10. Collecting pipe supplying contaminated air to the HCN dust collector [7]

Podstawową metodą ograniczania emisji nieorganizowanej w zakładach przerobczych oraz emisji wtórnej z dróg technologicznych jest zraszanie wodne. Jednakże zraszanie, w odróżnieniu od odpylania, może mieć negatywny wpływ na procesy przerobcze [12]. W związku z tym instalacja taka musi być zaprojektowana indywidualnie do stawianych wymagań [1].

Odpylanie w zakładach przerobczych można prowadzić centralnie lub punktowo. Instalacje centralnego odpylania wymagają odpowiednio zaprojektowanej instalacji ssącej, która ma zapewnić jak najmniejszą stratę ciśnienia. Przykładem zastosowania odpylania centralnego w zakładzie przerobczym jest instalacja zastosowana w zakładzie przeróbki węgla kamiennego PG „Silesia”. Schemat centralnej instalacji odpylającej na obiekcie kruszarni został przedstawiony na rys. 5 [7].

W instalacji zastosowano odpylacz mokry firmy CFT HCN1100/1, który współpracował z wentylatorami osiowymi firmy Korfmann 2xESN9-550 o mocy sumarycznej silników 2x55kW dla ich połączenia szeregowego. Powietrze oczyszczone było wyprowadzane przez ścianę na zewnątrz budynku. Układ wodny było otwarty, tzn. nie instalowano zbiornika sedymentacyjnego. Woda szlamowa była grawitacyjnie odprowadzana na poziom niżej i do osadnika. Za obieg wody odpowiadała pompa o mocy 4 kW. Zużycie wody wynosiło 0,1 l/m³/min, czyli około 110 l/min. Przy zainstalowanym zbiorniku, można przyjąć 11 l/min czyli 10% normalnego zużycia [7]. Ze względu na występowanie stref wybuchowych,

zagrożenie metanowe i wybuchem pyłu węglowego wszystkie urządzenia posiadały certyfikat ATEX.

Zastosowany w instalacji jeden centralny odpylacz mokry HCN 1100 o wydajności 1100 m³/min, odbierał powietrze z 17 punktów pylenia: kruszarki, przesiewacze, przesypy (rys. 6). Ze względu na ograniczoną przestrzeń na instalacje, odpylacz wraz z wentylatorami charakteryzował się niewielkimi gabarytami (rys. 7 i 8). Instalacja została wykonana z przewodów stalowych, których średnicę, długość i połączenia odpowiednio dostosowano w celu zapewnienia właściwej prędkości powietrza na wlocie do odpylacza mokrego (rys. 9 i 10). Średnica przewodu na wlocie do odpylacza wynosiła 1100 mm.

Przykładem instalacji punktowego odpylania podczas przeróbki surowców skalnych jest przykład odpylania kruszarki w kopalni kruszyw budowlanych na przykładzie odpylacza suchego firmy DFT (rys. 11).

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zastosowanie odpylania w procesach przerobczych ma zapewnić ograniczenie emisji pyłu do atmosfery. Jest to szczególnie ważne dla bezpieczeństwa pracowników ze względu na zmniejszenie zagrożenia wybuchem pyłu węglowego podczas przeróbki kopalin palnych tj. węgiel kamienny oraz ograniczenie negatywnego oddziaływanie na zdrowie pracowników spowodowane wdychaniem pyłów przemysłowych zawierających wolną krzemionkę SiO₂, która powoduje zwłóknienie tkanki płucnej oraz działa toksycznie również na inne narzą-



Rys. 11. Odpyłacz suchy firmy DFT na przesypie z kruszarki [7]

Fig. 11. DFT dry dust collector at the crusher discharge [7]

dy organizmu ludzkiego. Instalacje odpylające mogą filtrować pył centralnie lub punktowo. Na wybór rodzaju instalacji odpylającej ma wpływ rodzaj i specyfika zakładu przerobczego. Przykłady odpylania przedstawione w artykule dotyczą małych zakładów przerobczych w górnictwie i dotyczą jedynie

odpylaczy suchych i mokrych. W przypadku dużych zakładów przerobczych do wstępnego odpylania stosowane są cyklony a do dokładnej filtracji stosowane są suche odpylacze pulsacyjne workowe lub elektrofiltry o wydajnościach odpylania powietrza rzędu kilkaset tysięcy m^3/h .

Literatura – References

1. Bałaga D., Kalita M., Siegmund M., Klimek Z., Urbanek A., Waloszczyk A. (2018) Projekt instalacji zraszającej NEPTUN do zmniejszania zapylenia w zakładzie przeróbczym KWK „Bolesław Śmiały”. *Maszyny Górnicze* nr 3/2018
2. Kuczera Z., Ptaszyński B. (2018) Ograniczenie zapylenie w przodku drążonego wyrobiska w LW „Bogdanka” S.A. *Inżynieria Mineralna* 1(41) 2018
3. Kuczera Z., Ptaszyński B. (2018) Weryfikacja nowego rozwiązania technicznego ograniczającego zapylenie w przodku drążonego wyrobiska w LW „Bogdanka” S.A. *Inżynieria Mineralna* 1(41) 2018
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. Kuczera Z., Ptaszyński B. (2019) Zwalczanie zapylenia w górnictwie polskim. *Inżynieria Mineralna* 2(43) 2019
6. Lutyński A. (2021) Zagrożenia pyłem i ich zwalczanie w zakładach przeróbki mechanicznej kopalń węgla kamiennego. *Inżynieria Mineralna — Styczeń – Czerwiec 2021*
7. Materiały udostępnione przez firmę CFT Polska
8. Mikołajczyk U., Bujak-Pietrek S., Szadkowska-Stańczyk I. (2010) Narażenie na pył w górnictwie węglowym. Analiza na podstawie pomiarów wykonanych przez laboratoria badań środowiska pracy w Polsce w latach 2001-2005. *Medycyna Pracy* 2010;61(3):287–297
9. Prostański D., Jedziniak M. (2013) Rozwój systemów zwalczania zagrożeń pyłowych. *Maszyny Górnicze* nr 2/2013
10. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego (2019) Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2019
11. Rozporządzenie 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
12. Stefanicka M. (2013) Techniczne metody ograniczania zapylenia w zakładach kruszyw i ocena ich skuteczności. *Mining Science*, vol. 20, 2013, 71–85

Application of Dust Removal Installations in Processing Plants

The article concerns the use of wet and dry dust collectors in dust removal installations in processing plants. During the processing and transport of energy and mineral raw materials, local emissions of dust into the atmosphere occur. Air dust may result in dangerous concentrations of coal dust due to its explosion and stone dust due to the risk of dust harmful to health. Local air dust reduction using wet and dry dust collectors ensures safe dust concentrations at workplaces. The article presents examples of dust removal installations in hard coal and rock raw material processing plants.

Keywords: *dust-laden air, dust abatement, dry deduster, wet deduster, inhalable fraction, respirable fraction*