

Funkcjonalność urządzenia odbierającego zabrudzenia, wspomagającego proces czyszczenia w strefie niebezpiecznej

Data wpłynięcia do Redakcji: 10/2023
Data akceptacji przez Redakcję do publikacji: 12/2023

2023, volume 12, issue 2, pp. 145-158

Dominik Bałaga
ITG KOMAG, Poland

Piotr Chondrokostas
Bartłomiej Janik
3N Solutions Sp. z o.o., Poland

Marek Kalita
ITG KOMAG, Poland

Piotr Krawczyk
Politechnika Warszawska, Poland

Zbigniew Kuczera
AGH, Poland

Marek Obreński
3N Solutions Sp. z o.o., Poland

Michał Siegmund
Zbigniew Szkudlarek
Stanisław Szweda
ITG KOMAG, Poland

Piotr Życzkowski
AGH, Poland



Streszczenie: Rozwój mechanizacji wydobycia surowców mineralnych, przetwarzania produktów rolnych oraz produkcji środków chemicznych w formie mieszanek różnych substancji stałych, poddawanych procesom kruszenia, mielenia, przesiewania i mieszania wymaga odpowiedniego dostosowania środków zwalczania zagrożeń pyłowych do zachodzących zmian technologicznych i technicznych. Szczególnie istotne jest to, gdy odbiorcy stawiają wysokie wymagania produktom np.: odnośnie do zawartości wilgoci. Taki warunek eliminuje możliwość zwalczania zagrożenia pyłowego metodą mokrą, gdyż pojawienie się wody w procesie technologicznym jest czynnikiem niekorzystnym. W pierwszym rzędzie problem ten jest zauważalny w zakładach wydobywających surowce mineralne w postaci siarki, rud metali, węgla brunatnego i kamiennego oraz w zakładach przemysłowych stosujących odciążenie technologiczne gazów i pyłów niebezpiecznych. Zwalczanie zapylenia jest szczególnie istotne w przypadku pyłów osiadłych znajdujących się w strefie niebezpiecznej. Ponieważ w warunkach rzeczywistych pył zalega nie tylko na podłożu, ale również na wszystkich ścianach i instalacjach znajdujących się w danym obiekcie, to stwarza on potencjalne źródło zagrożenia pożarowego. W artykule omówiono wymagania funkcjonalne stawiane urządzeniom odbierającym zabrudzenia wspomagającym proces czyszczenia obiektów w strefie niebezpiecznej oraz przedstawiono wyniki badań weryfikujących wymagania funkcjonalne urządzenia odbierającego zabrudzenia metodą suchą, w którym wykorzystuje się impulsowy system do automatycznej regeneracji kaset filtracyjnych. Dwufunkcyjność urządzenia umożliwia wstępne zbieranie pyłów osiadłych z maszyn i infrastruktury budowlanej oraz odsysanie zabrudzeń będących skutkiem używania różnych technik czyszczenia powierzchni z zabrudzeń stałych (np.: z użyciem technologii

czyszczenia suchym lodem, sprężonym powietrzem). Omówione rozwiązanie techniczne oraz wyniki badań stanowiskowych upoważniają do stwierdzenia, że urządzenie odbierające zabrudzenia skutecznie i bezpiecznie usuwa lotny i osiadły pył mogący tworzyć mieszaniny wybuchowe.

Słowa kluczowe: odpylanie, odbieranie zabrudzeń, czyszczenie obiektów, strefa niebezpieczna

WPROWADZENIE

Zagrożenie pyłem przemysłowym jest jednym z największych wyzwań ze względu na jego wpływ na stan zdrowia pracowników [1, 2, 3]. Oprócz zagrożeń zdrowotnych, zapylenie obiektów może stwarzać zagrożenie wybuchem. Dotyczy to nie tylko pyłu węglowego – każdy palny pył, np. drzewny może przy odpowiednim stężeniu stwarzać potencjalne zagrożenie wybuchowe [4]. Opisane zagrożenie wymusza konieczność odpylania, zwłaszcza miejsc powstawania mieszanek powietrzno-pyłowej [5, 6] nie tylko w górnictwie lecz również w energetyce [7]. Stale unowocześniane są również metody monitorowania zagrożenia pyłowego, np. z wykorzystaniem spektroskopii fotoakustycznej [8].

Warunkiem skutecznego zwalczania zapylenia jest kompleksowa redukcja procesu powstawania pyłów. Zadanie to jest wyjątkowo trudne w przypadku konieczności czyszczenia zabrudzeń, inaczej mówiąc pyłów osiadłych na obiektach górniczych usytuowanych w strefie niebezpiecznej. Zazwyczaj w procesie czyszczenia wykorzystywany jest strumień sprężonego powietrza. Atmosfera kopalniana jest wtedy potencjalnie zanieczyszczona, nie tylko zabrudzeniami usuniętymi z czyszczonego obiektu, ale również drobkami pyłu osiadłego w otoczeniu czyszczonego obiektu wprowadzonymi w ruch wskutek intensywnego przepływu powietrza w otoczeniu czyszczonego obiektu.

W związku z tym urządzenia odbierające zabrudzenia, zastosowane w procesie czyszczenia obiektów znajdujących się w strefie niebezpiecznej, muszą charakteryzować wysokie parametry techniczne i wymagania funkcjonalne.

Przedmiotem niniejszej publikacji jest specyfikacja wymagań funkcjonalnych stawianych urządzeniu odbierającemu zabrudzenia, które powstają w procesie czyszczenia obiektów w strefie niebezpiecznej oraz ich doświadczalna weryfikacja w warunkach laboratoryjnych.

SPECYFIKACJA WYMAGAŃ FUNKCJONALNYCH STAWIANYCH URZĄDZENIOM ODBIERAJĄCYM ZABRUDZENIA STOSOWANYM W PROCESIE CZYSZCZENIA OBIEKTÓW USYTUOWANYCH W STREFIE NIEBEZPIECZNEJ

Konieczność sprostania wymaganiom normatywnym [9, 10] sprawia, że urządzenie odbierające zabrudzenie powinno zapewnić wysoką skuteczność oczyszczania powietrza. Przyjęto, że w przypadku ziaren o wielkości do 1 mm powinna ona wynosić 90% oraz 95% dla ziaren większych od 5 mm.

Urządzenie odbierające zabrudzenia jest podstawowym elementem wyposażenia systemu czyszczenia obiektów sprężonym powietrzem. W związku z tym

zasadniczym wymaganiem stawianym temu urządzeniu jest utrzymanie zawartości pyłów w otoczeniu czyszczonego obiektu w przedziale od 10 do 50 mg/m³.

Ze względu na przyjęty powszechnie sposób czyszczenia obiektów za pomocą strumienia sprężonego powietrza, warunkiem skutecznego odsysania zanieczyszczeń jest wydajność urządzenia odbierającego zabrudzenia, większa od wydajności zespołu czyszczącego obiekt. Przyjęto, że wydajność urządzenia odbierającego zabrudzenia, mieszcząca się w przedziale od 0,1 do 0,5 m³/s, spełnia wymagania funkcjonalne w tym zakresie. Zespół odbierający zanieczyszczenia powinno charakteryzować spiętrzenie, wynoszące od 1600 do 2400 Pa.

Warunkiem zapewniającym kompleksową redukcję procesu zapylenia atmosfery kopalnianej jest efektywne zebranie pyłu osiadłego, zalegającego w otoczeniu czyszczonego obiektu. Urządzenie zbierające zabrudzenia powinno umożliwić zebranie 1 kg pyłu w czasie 4 ÷ 6 minut, z odległości do 1 m od wlotu dyszy zasysającej.

Ponieważ proces czyszczenia obiektów jest realizowany w różnych wyrobiskach podziemnych kopalni, urządzenie zbierające zabrudzenia musi mieć budowę mobilną, lub pół mobilną -- to znaczy może być przemieszczane w nowe miejsce pracy za pomocą kolejki podwieszanej lub kolejki spągowej. Ze względu na wymiary przekroju dróg transportowych wymiary gabarytowe urządzenia odbierającego zanieczyszczenia powinny mieścić się w granicach: długość – do 2 m, szerokość – 0,7 ÷ 1,0 m, wysokość – do 1,3 m.

Poniżej dokonano przeglądu metod odpylania w aspekcie spełnienia wyżej opisanych wymagań odnośnie do cech funkcjonalnych urządzenia odbierającego zabrudzenie w strefie niebezpiecznej.

PRZEGLĄD METOD ODPYLANIA W ASPEKCIE MOŻLIWOŚCI ICH ZASTOSOWANIA W PROCESIE CZYSZCZENIA OBIEKTÓW W STREFIE NIEBEZPIECZNEJ

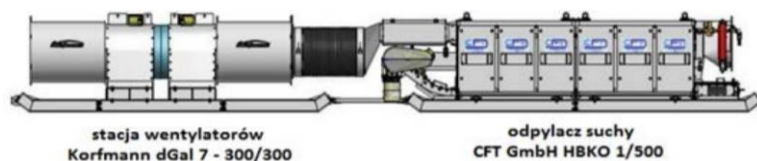
Spośród dwóch podstawowych metod odpylania – metody mokrej i metody suchej, w górnictwie polskim szersze zastosowanie znalazła metoda mokra. W metodzie tej pył odessany z miejsca jego powstania jest neutralizowany poprzez połączenie z wodą, co sprawia, że w jego składzie zwiększa się udział części niepalnych. Odpylacze mokre są tańsze od odpylaczy suchych, mają zwartą budowę; stanowią one wyposażenie lutniociągów, będących elementami systemów wentylacji kombinowanej lub ssącej, bądź pracują niezależnie jako urządzenia do lokalnego oczyszczania powietrza z pyłu. Stosowane są urządzenia odpylające typu UO-400-Z (wydajność nominalna 80 m³/min, skuteczność odpylania – całkowita 99%, respirabilna 97%), BSA-600 (wydajność 320 m³/min, skuteczność odpylania – 99%/95%), UO-1200 (wydajność 600 m³/min, skuteczność odpylania – 99%/97%), opracowane w ITG KOMAG [11]. Przykładowo odpylacz mokry typu HCN (Hoeko-Vent) pracuje standardowo z

wydajnością od 100 do 1500 m³/min i zgodnie z informacjami podanymi w [12] przy obciążeniu pyłem 2000 mg/m³ osiąga stopień separacji 89,4% dla pyłu frakcji respirabilnej poniżej 10 μm.

Zaostrzenie prawa w zakresie dopuszczalnych stężeń pyłu, zwłaszcza największych stężeń pyłu zawierającego wolną krzemionkę spowodowało, że w całej Europie odpylacze mokre są coraz rzadziej stosowane. Cechuje je bowiem większa ilość pyłu przepuszczonego przez odpylacz. W przypadku wszystkich odpylaczy mokrych stopień separacji ulega stagnacji, co oznacza, że im większy jest ładunek pyłu w zanieczyszczonym powietrzu, tym większa jest zawartość resztkowa pyłu [12]. Ponadto odpylacze mokre mogą powodować wzrost wilgotności względnej w wyrobisku.

Odpylacze typu suchego umożliwiają praktycznie całkowite wyeliminowanie zapylenia w miejscach jego emisji osiągając wartości zapylenia poniżej 1 mg/m³ dla frakcji respirabilnej poniżej 5 μm. Obecnie wszystkie projekty tunelowe realizowane za pomocą maszyn urabiających typu TBM lub kombajnów chodnikowych, wykorzystują suchą metodę odpylania [12].

W polskich kopalniach węgla kamiennego odpylacze typu suchego mają mniejszy udział w zwalczaniu zapylenia ze względu na wyższą cenę zakupu w stosunku do odpylaczy typu mokrego. Są to odpylacze typu HBKM i HBKO zastosowane, między innymi w LW „Bogdanka” S.A. [13, 14], PG „Silesia” Sp. z.o.o, PGG S.A. i JSW S.A. (rys. 1).



Rys. 1 Schemat instalacji odpylającej zastosowanej w LW „Bogdanka” S.A.

Źródło: [13]

W KGHM S.A. ZG „Polkowice-Sieroszowice” pracuje wysokowydajny odpylacz suchy HTKK firmy CFT o wydajności 1500 m³/min [15], który w czasie urabiania mechanicznego soli kamiennej za pomocą kombajnu chodnikowego ATM 105 IC-P firmy SANDVIK odbiera i filtruje bardzo duże ilości odpadowego pyłu solnego (rys. 2).



Rys. 2 Widok odpylacza suchego HTKK w komorze solnej ZG „Polkowice-Sieroszowice”

Źródło: [12]

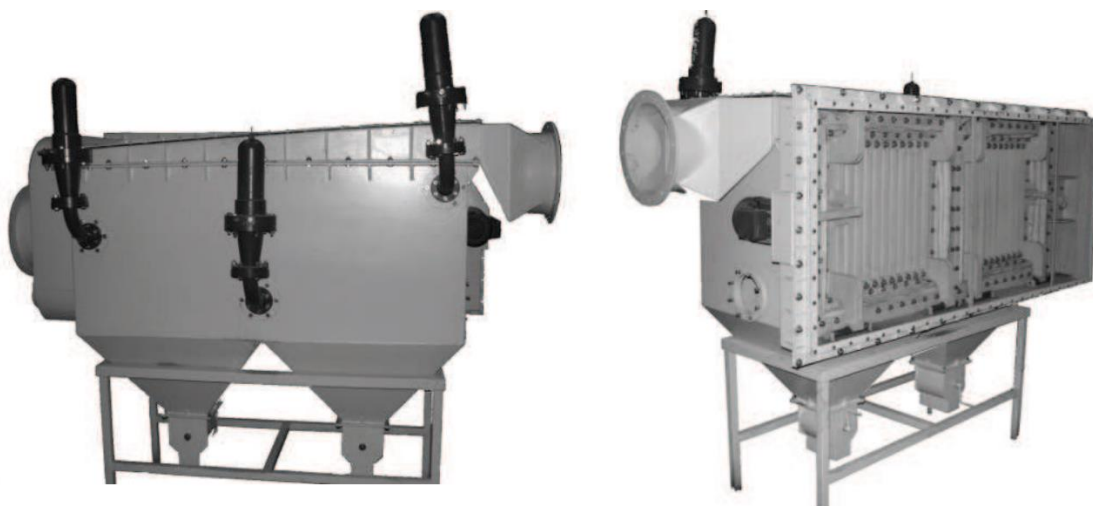
Jakkolwiek producenci odpylaczy suchych zaliczają je do pół-mobilnych (np.: [16, 17]), to ich zastosowanie w procesie technologicznym czyszczenia obiektów usytuowanych w strefie niebezpiecznej jest, praktycznie rzecz biorąc, niemożliwe. Urządzeniem odpylającym, którego wymiary gabarytowe umożliwiałyby zastosowanie do usuwania pyłu powstałego w procesie czyszczenia obiektów jest odpylacz suchy typu HKAF 40/100 (rys. 3) [18], jednak jego wydajność, wynosząca do 100 m³/min, nie spełnia wymagań funkcjonalnych przedstawionych w rozdziale 2.1.



Rys. 3 Odpylacz suchy typu HKAF 40/100

Źródło: [18]

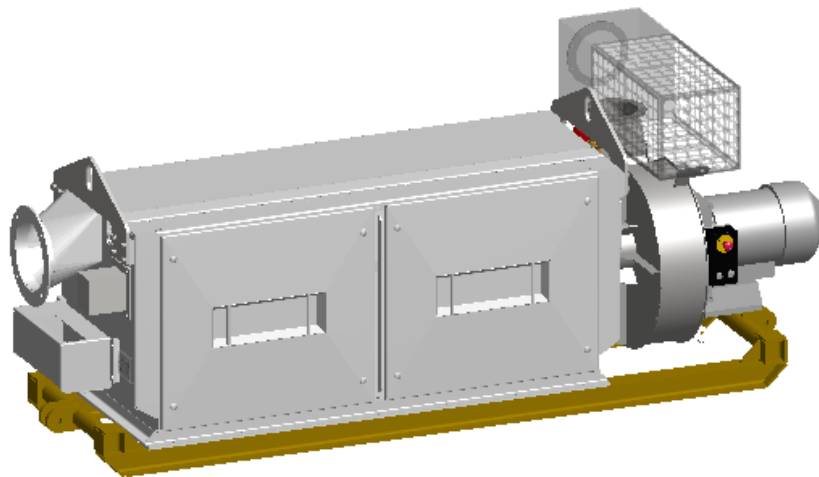
Prototypowy odpylacz suchy opracowany w ITG KOMAG [11] (rys. 4), również ze względu na zbyt małą wydajność nie może służyć do odpylania obiektów czyszczonych strumieniem sprężonego powietrza.



Rys. 4 Prototypowy odpylacz suchy opracowany w ITG KOMAG

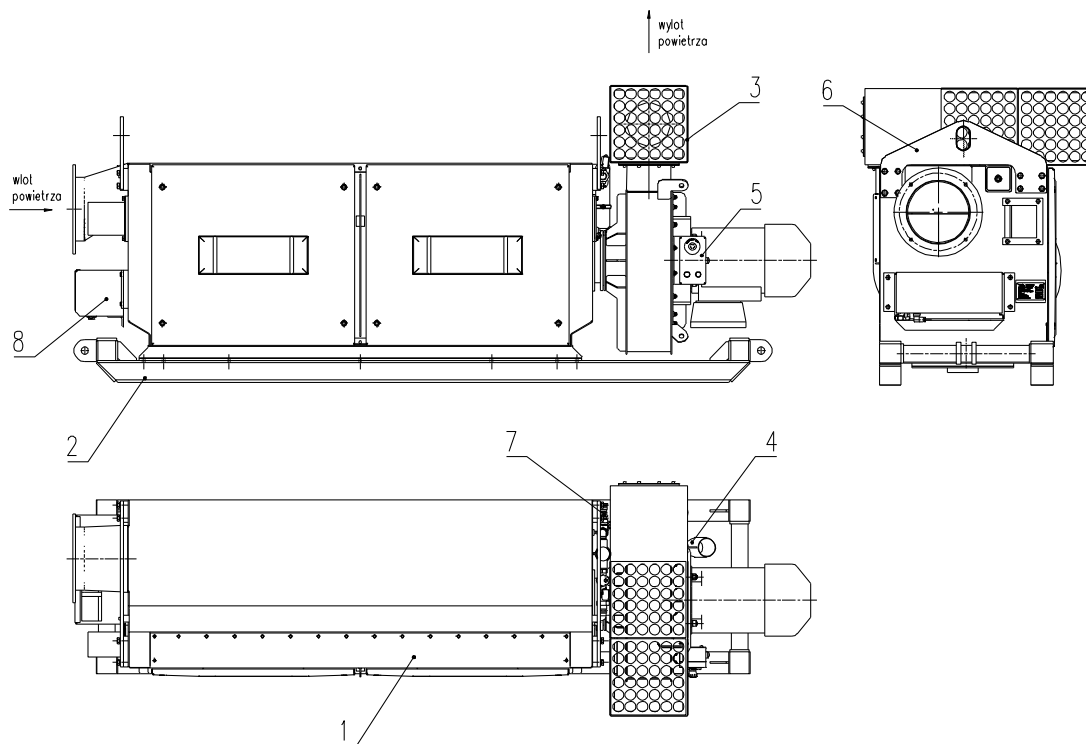
Źródło: [11]

Celem spełnienia wymagań funkcjonalnych stawianych urządzeniu odpylającemu stosowanemu w procesie czyszczenia obiektów usytuowanych w strefie niebezpiecznej opracowano w ITG KOMAG urządzenie odbierające zabrudzenia, którego widok przedstawiono na Rys. 5.



Rys. 5 Odpylacz suchy typu HKAF 40/100

Zasadniczym zespołem urządzenia odbierającego zabrudzenia (rys. 6) jest zespół oczyszczania powietrza 1, który składa się z separatora wstępnego, kanału powietrznego, obudowy z blachy stalowej kompaktowych wkładów filtracyjnych.



Rys. 6 Budowa urządzenia odbierającego zabrudzenia

1 - zespół oczyszczania powietrza, 2 - zespół odbioru zanieczyszczeń, 3 - dyfuzor,
4 - uchwyt złącza kablowego, 5 - pulpit sterowniczy, 6 - zawiesie, 7 - zespół pneumatyczny,
8 - pneumatyczne sterowanie czyszczeniem

Dodatkowymi komponentami są: zespół pneumatyczny 7 oraz układ pneumatycznego sterowanie czyszczeniem 8. Zespół odbioru zanieczyszczeń 2 mocowany jest za pomocą połączeń śrubowych, do spodniej strony zespołu oczyszczania powietrza.

Do króćca wylotowego wentylatora mocowany jest kołnierzowo, za pomocą połączeń śrubowych, dyfuzor 3 zmniejszający prędkość strumienia wylotowego powietrza.

Zespół pneumatyczny 7 służy do sterowania przepływem sprężonego powietrza, doprowadzanego do urządzenia odbierającego zabrudzenia oraz do odrębnego zewnętrznego urządzenia wchodzącego w skład systemu czyszczenia obiektów, nie przedstawionego na rys. 6.

Przedmiotem niniejszej publikacji są badania funkcjonalnej przydatności zaprojektowanego urządzenia odbierającego zanieczyszczenia do realizacji niżej wymienionych zadań:

- wstępne usuwanie suchych pyłów osiadłych z obiektów (np. maszyny, urządzenia, elementy infrastruktury budowlanej naziemnej i podziemnej),
- usuwanie zabrudzeń będących skutkiem używania różnych technik czyszczenia powierzchni z zabrudzeń stałych (np. z użyciem technologii czyszczenia suchym lodem, sprężonym powietrzem).

Testy sprawdzające funkcjonalność urządzenia odbierającego zabrudzenia wykonano w laboratorium ITG KOMAG.

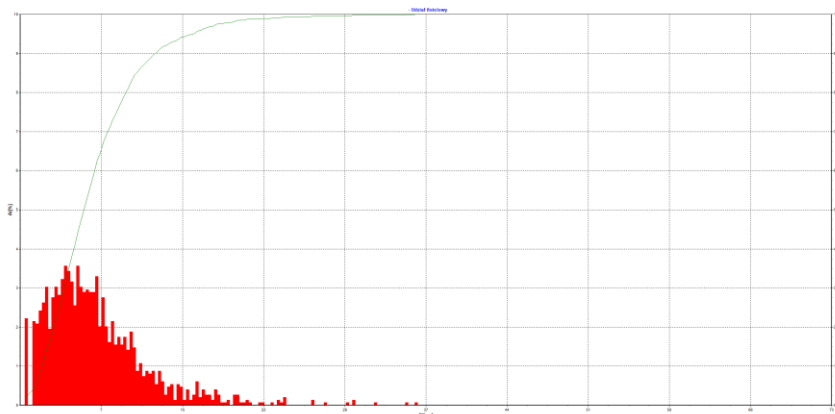
WYNIKI BADAŃ

Zakres badań obejmował:

- testy skuteczności oczyszczania powietrza,
- testy zawartości pyłów w otoczeniu czyszczonego obiektu,
- testy wydajności i spiętrzenia,
- testy efektywności zbierania zanieczyszczeń.

Wyniki przeprowadzanych testów przedstawiono poniżej.

Testy skuteczności oczyszczania powietrza realizowano przy użyciu analizatora IPS, w wersji Q, służącego do pomiaru on-line, wymiarów i koncentracji cząstek zawieszonych w powietrzu. W czasie pomiarów zrealizowano 6 wariantów pomiarowych, w których określano rozkład frakcyjny cząstek pyłu dostarczanego do instalacji oraz odprowadzanego z instalacji. Użyto dwóch rodzajów pyłów różniących się składem ziarnowym. Przykładowo wyznaczony procentowy udział ilościowy rozmiaru cząstek w danej klasie wymiarowej przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7 Wykres przedstawiający procentowy udział ilościowy rozmiaru cząstek w danej klasie wymiarowej zmierzony dla pyłu nr 3 (3NS0123)

Źródło: [19]

Miarą skuteczności oczyszczania powietrza przez badane urządzenie odbierające zabrudzenia jest skuteczność redukcji zapylenia powietrza. Z Tabeli 1, w której zestawiono rezultaty wykonanych 6 serii pomiarowych wynika, że badane urządzenie spełnia wymagania funkcjonalne w zakresie oczyszczania powietrza.

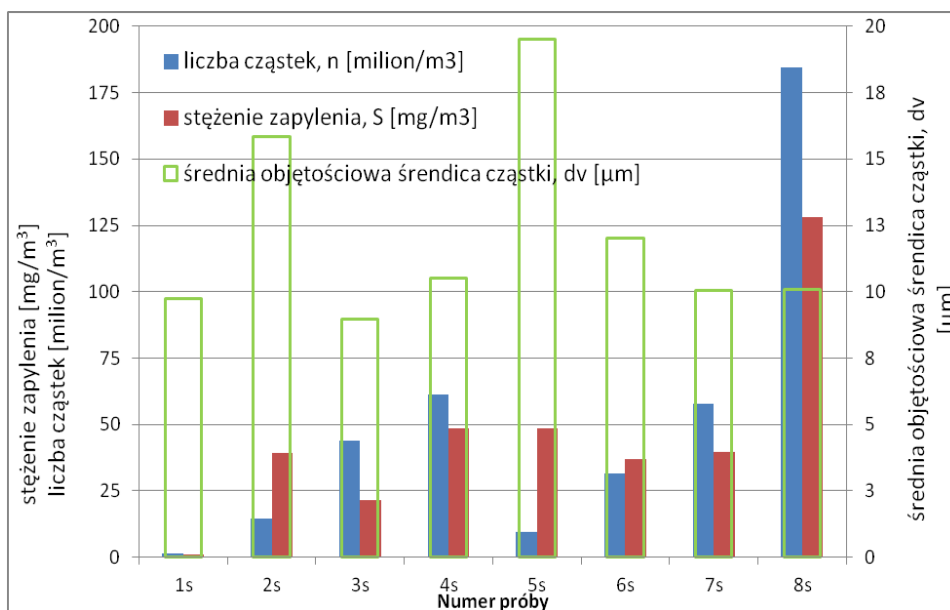
Tabela 1 Wyniki skuteczności urządzenia odbierającego zabrudzenia

Numer pomiaru	Typ pyłu	Stężenie pyłu wlotowego, mg/m ³	Wartość średnia stężenia pyłu wylotowego (tło), mg/m ³	Wartość średnia stężenia pyłu wylotowego, mg/m ³	Skuteczność redukcji zapylenia, %
1	Nr 1	2000	0.103667	6.110333	99.6997
2	Nr 2	2000	0.103667	1.578333	99.9263
3	Nr 1	10000	0.103667	0.502333	99.9960
4	Nr 2	10000	0.103667	0.476667	99.9963
5	Nr 1	2000	0.103667	0.447333	99.9942
6	Nr 2	2000	0.103667	0.219667	99.9828

Źródło: [19]

Testy zawartości pyłów w otoczeniu czyszczonego obiektu dotyczyły pomiarów zapylenia w okolicach szafy sterowniczej i transformatora przy różnym rodzaju zdeponowanego pyłu oraz pomiarów zapylenia w różnych punktach i warunkach przewietrzania a także dla różnych sposobów odciągu zapylenia. Również w tych badaniach użyto analizatora IPS. Pomiarzy prowadzono dla pyłów cementowych, węglowych, kamiennych, przewodzących, miedzianych, nieprzewodzących i kamienno-węglowych.

Na rys. 8 pokazano wykres średnich wielkości zapylenia w poszczególnych próbach badawczych.



Rys. 8 Wyniki pomiaru zapylenia w okolicy czyszczonej szafy sterowniczej, przy różnym rodzaju zdeponowanego pyłu [1 s÷8 s]

Źródło: [19]

Celem przeprowadzonych testów zawartości pyłów w otoczeniu czyszczonego obiektu była ocena skuteczności zwalczania zapylenia powietrza przez urządzenie odbierające zabrudzenia w trakcie czyszczenia obiektu sprężonym powietrzem. Miarą skuteczności zwalczania zapylenia w otoczeniu czyszczonego obiektu jest skuteczność redukcji zanieczyszczenia powietrza – $\eta_{red\ zap.}$ wyznaczana ze wzoru:

$$\eta_{red\ zap} = \frac{\bar{S}_1 - \bar{S}_2}{\bar{S}_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

S_1 – stężenie pyłu podczas czyszczenia obiektu przy wyłączonym urządzeniu zbierającym zanieczyszczenia (patrz rys. 8 próba 8s),

S_2 – stężenie pyłu podczas czyszczenia obiektu przy włączonym urządzeniu zbierającym zanieczyszczenia.

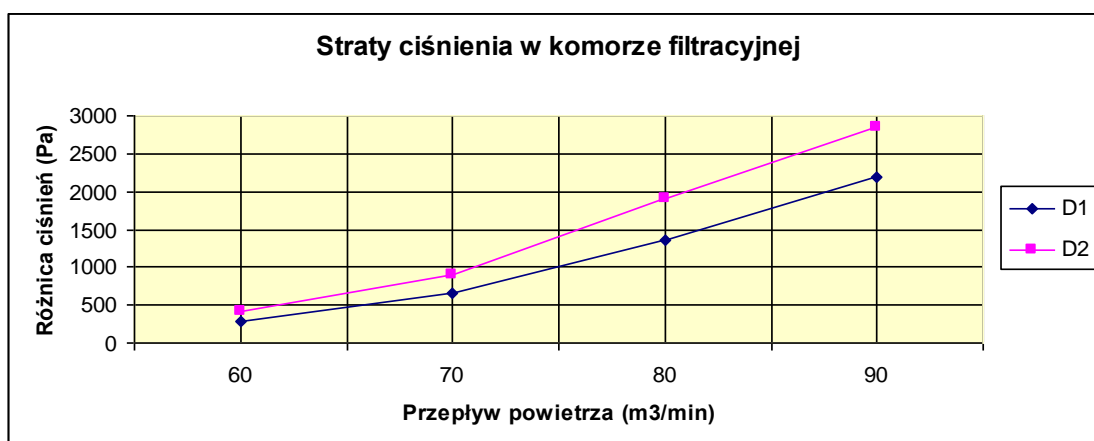
W trakcie pomiarów uzyskano średnią wartość skuteczności redukcji zanieczyszczeń, wynoszącą 77%. Działanie urządzenia odbierającego zabrudzenia w trakcie procesu czyszczenia obiektu sprawia, że zapylenie powietrza uległo zmniejszeniu o 77 %.

Testy wydajności odpylania zostały przeprowadzone w sposób pośredni mierząc prędkość powietrza na króćcu wlotowym do instalacji (rys. 9). Do pomiaru prędkości przepływu strumienia powietrza wykorzystano anemometr skrzydełkowy. Pomiar wykonywano w osi króćca pomiarowego oraz w połowie jego promienia. Średnica wewnętrzna króćca wlotowego wynosiła $D = 300$ mm oraz 160 mm. Średnia wydajność instalacji odpylania wyniosła $1,405$ m³/s.



Rys. 9 Wykres zależności wydajności instalacji od prędkości przepływu powietrza
Źródło: [19]

Testy spiętrzenia realizowano za pomocą rurek Prandtla zabudowanych na króćcach pomiarowych: wlotowym i wylotowym. Na rys. 10 wykres D1 przedstawia wartości uzyskane dla komory filtracyjnej, w której wkłady filtracyjne nie były jeszcze zanieczyszczone, a wykres D2 przedstawia wartości uzyskane dla komory filtracyjnej, w której wkłady filtracyjne były nasycone pyłem. Czas nasycania wynosił 2 godziny, a ilość dawki pyłu wynosiła 2000 mg/m³.



Rys. 10 Wykres spiętrzenia (różnicy ciśnień) w zależności od przepływu powietrza (wydajności) w komorze filtracyjnej

Źródło: [19]

Testy efektywności zbierania zanieczyszczeń miały na celu wyznaczenie granicznej odległości układu odbierającego pył osiadły znajdujący się na powierzchni. Zbieranie zanieczyszczeń realizowano przy pomocy układu odciągowego, który przystosowano do:

- pomiaru statycznego, w którym pył został luźno usypany nierównomiernie (w formie stożka) na płaskiej powierzchni; rura odciągowa była nieruchomo pionowo zawieszona nad usypanym pyłem,
- pomiaru dynamicznego, w którym pył rozsypany został na powierzchni 0,28 m² (grubość warstwy pyłu wynosiła ok. 1,5 cm); powierzchnia wlotowa rury

odciągowej wykonywała ruch w płaszczyźnie poziomej o stałej wysokości, równoległe do podłoża – w obszarze zasypanej warstwy.

Z porównania obu pomiarów (statycznego i dynamicznego) wynika, że najbardziej efektywne jest usuwanie osiadłego pyłu podczas przemieszczania wylotu rury w odległości do 10 cm od jego powierzchni.

PODSUMOWANIE

Wnioski z badań przedstawiono tabelarycznie (tabela 2), w których porównano wartości oczekiwane z wartościami uzyskanymi podczas prowadzonych testów.

Tabela 2 Porównanie wartości uzyskanych w testach z wartościami oczekiwanymi na etapie projektowania

Lp.	Parametr	Wartość oczekiwana	Wartość uzyskana	Uwagi
1.	Skuteczność oczyszczania powietrza	min. 90% dla ziaren o wielkości < 1 mm i min. 95% dla ziaren o wielkości >5 mm	min. 99,7% dla ziaren < 1 mm i 100% dla ziaren >5 mm	Moduł filtrujący wychwytuje wszystkie ziarna o wielkości >0,015 mm.
2.	Zawartość pyłów w otoczeniu czyszczonego obiektu	od 10÷50 mg/m ³	Szafa sterownicza: 0,9÷48,4 mg/m ³ Transformator: 23,6÷48 mg/m ³ Płytką z warstwą gipsu: 0,3÷49,7 mg/m ³ Różne ustawienia rury: 1,5÷34,9 mg/m ³	W pomiarach uzyskano średnią skuteczność redukcji zanieczyszczeń wynoszącą 77%.
3.	Wydajność	0,1÷0,5 m ³ /s	0,11÷0,49 m ³ /s	Wydajność uzyskana dla prędkości przepływu powietrza z zakresu 1,5÷7 m/s. Maksymalna możliwa do uzyskania wydajność, wynosi 1,405 m ³ /s.
4.	Spiętrzenie	1600÷2400 Pa	1750÷2300 Pa	Wartość parametrów mieści się w projektowanym zakresie.
5.	Efektywność zbierania zanieczyszczeń	1 kg w czasie od 4÷6 min. z odległości 0÷100 cm	1 kg w czasie 15 s z odległości 10 cm	Badania dotyczyły pyłu osiadłego zalegającego na powierzchni.
6.	Kontrola wymiarów gabarytowych modułu filtrującego	Długość: 2 m Szerokość: 0,7÷1,0 m Wysokość: maks. 1,3 m	: 1,06 m : 0,81 m : 0,84 m	Wartość parametrów mieszczą się w przyjętym we wniosku projektowym zakresie.

Źródło: [19]

Dane zestawione w tabeli 2 upoważniają do stwierdzenia, że urządzenie odbierające zabrudzenia spełnia założenia techniczne i funkcjonalne, które określono na etapie jego projektowania.

Testy urządzenia odbierającego zabrudzenia przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych umożliwiających realizację każdego pomiaru w porównywalnych warunkach otoczenia. Należy przypuszczać, że działanie omawianego urządzenia w warunkach eksploatacyjnych, np.: w wyrobisku górniczym, spowoduje jeszcze większą redukcję zapylenia powietrza w trakcie czyszczenia danego obiektu. Urządzenie umożliwi bowiem, jeszcze przed rozpoczęciem operacji usuwania zabrudzeń, bezpieczne zebranie pyłu osiadłego na czyszczonym obiekcie i jego otoczeniu.

LITERATURA

- [1] P. Mocek, K. Mocek. Mine dust - as a cause of respiratory diseases of miners. *Mining Machines*. Vol. 40 Issue 2, pp. 98-109, 2022.
- [2] L. Stańczak, W. Kaniak. Occupational health and safety management in hard coal mines in the aspect of dust hazard. *Mining Machines*. Vol. 39 Issue 2, pp. 53-62, 2021.
- [3] Xiao Yun, Wenjun Meng, Haoran Xu, Wenxiao Zhang, Xinyuan Yu, Huizhong Shen, Yilin Chen, Guofeng Shen, Jianmin Ma, Bengang Li, Hefa Cheng, Jianying Hu, Shu Tao. Coal Is Dirty, but Where It Is Burned Especially Matters. *Environ. Sci. Technol.* 55, 11, 7316-7326, 2021.
- [4] R. Krzykowski, S. Treczek, M. Krzykowski. Przeciwdziałanie skutkom zapylenia obiektów przemysłowych w sektorze energetycznym. *Z.N. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk*. Nr 78 (2010), s. 87-97.
- [5] Hao Jin, Shihang Li, Hesheng Yu, Liang Yuan, Fubao Zhou, Zhongchao Tan. Filtration of dust particles in underground coal mines. *Powder Technology*. Volume 423, 1 June 2023, Page 118506 <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.118506>.
- [6] S. Li et al. (Shihang Li, Biao Xie, Shuda Hu, Hao Jin, Hao Liu, Xiaoyu Tan, Fubao Zhou,) Removal of dust produced in the roadway of coal mine using a mining dust filtration system. *Advanced Powder Technol.* Volume 30, Issue 5, May 2019, Pages 911-919 <https://doi.org/10.1016/j.appt.2019.02.005> ISSN 0921-8831,
- [7] Yi-Shun Chen, Shu-San Hsiau, Jhan-Ruei Syu, Yi-Lun Chang. Influence of removal efficiency on a moving granular bed filter. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*. Volume 149, March 2020, 107836.
- [8] P. Nascimento. *Development of a Real-Time Respirable Coal Dust and Silica Dust Monitoring Instrument Based on Photoacoustic Spectroscopy*. / Nascimento, P., Taylor, S.J., Arnott, W.P. et all. // *Min. Metall. Explor* - 2022, s. 1-9, DOI:10.1007/s42461-022-00653-6.
- [9] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. *Dz.U.* z 2002 r. Nr 217 poz. 1833 z późn. zm.
- [10] Dyrektywa 1999/92/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 1999 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa. *Dz.U.* L 23 z 28.1.2000.
- [11] D. Bałaga, M. Jedziniak, M. Kalita, M. Siegmund, Z. Szkudlarek. Metody i środki zwalczania zagrożeń pyłowych i metanowych w górnictwie węglowym. *Maszyny Górnicze* Nr 3/2015, s. 68-81.
- [12] Z. Kuczera, B. Ptaszyński. Zwalczanie zapylenia w górnictwie polskim. *Inżynieria Mineralna*. Z. 2(43) 2019, s. 181-187. <http://doi.org/10.29227/IM-2019-02-31>.
- [13] Z. Kuczera, B. Ptaszyński. Ograniczenie zapylenie w przodku drążonego wyrobiska w LW „Bogdanka” S.A. *Inżynieria Mineralna* Z. 1(41) 2018, s. 287-292. <http://doi.org/10.29227/IM-2018-01-41>.

- [14] Z. Kuczera, B. Ptaszyński. *Weryfikacja nowego rozwiązania technicznego ograniczającego zapylenie w przodku drążonego wyrobiska w LW „Bogdanka” S.A.* Inżynieria Mineralna Z. 1(41) 2018, s. 293-298. <http://doi.org/10.29227/IM-2018-01-42>.
- [15] B. Bialy, C. Both. *Semi-mobile dry-type deduster for the Polish salt mine.* Mining Report Glückauf Volume150, Issue4, August 2014, pp. 208-213 <https://doi.org/10.1002/mire.201400024>.
- [16] Shihang Li, Fubao Zhou, Fei Wang, Biao Xie. *Application and research of dry-type filtration dust collection technology in large tunnel construction.* Advanced Powder Technology. Volume 28, Issue 12, December 2017, Pages 3213-3221 <https://doi.org/10.1016/j.apt.2017.10.003>.
- [17] <https://cst-germany.com/en/product/dry-type-deduster-type-htkk-1-1200-2s-id165> (dostęp 22.06.23).
- [18] <https://cst-germany.com/en/product/dry-type-deduster-type-hkaf-40100-id268> (dostęp 22.06.23).
- [19] Badania funkcjonalne zespołu odbierającego zabrudzenia w warunkach laboratoryjnych. Sprawozdanie z badań nr W90.389BY02. ITG KOMAG, kwiecień 2023, niepublikowana

Functionality of the dirt collecting device, supporting the cleaning process in the hazardous area

Abstract: A mechanization development of mining of mineral resources, processing of agricultural products and a production of chemicals in a form of mixtures of various solids, subjected to crushing, grinding, screening and mixing processes, requires an appropriate adaptation of measures to control dust hazards according to technological and technical changes that take place. This is particularly important when customers set high products requirements, for example: as regards the moisture content. Such a condition eliminates a possibility of controlling dust hazards using wet methods, since a presence of water in the technological process is an unfavourable factor. In the first place, this problem is noticeable in the plants extracting mineral resources such as sulphur, metal ores, lignite and hard coal, as well as in the industrial plants using technological extraction of gases and hazardous dust. Dust control is particularly important in the case of the dust deposited in a hazardous area. Since, in real-world conditions, dust settles not only on the ground, but also on all walls and installations in a facility, creating a potential source of fire hazard. The article describes functional requirements for dust collection devices supporting the cleaning process of facilities in the hazardous areas. It presents the results of tests verifying these functional requirements for the dust collection device, using the dry method, in which a pulsed automatic filter cartridge regeneration system is applied. The dual-functionality of the device makes it possible to pre-collect settled dust from machinery and construction infrastructure, as well as to extract dirt resulting from the use of various cleaning techniques enabling to remove solid dirt from surfaces (e.g.: using dry ice cleaning technology, compressed air). The discussed technical solution and the results of bench tests support the conclusion that the collection device effectively and safely removes volatile and settled dusts that can generate explosive mixtures.

Keywords: dust removal, dirt collection, facility cleaning, hazardous area

Dominik Bałaga

Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice, Polska
e-mail: dbalaga@komag.eu

Piotr Chondrokostas

3N Solutions sp. z o.o.
ul. Szeligowska 40a, 01-320 Warszawa, Polska
e-mail: piotr.chondrokostas@3ns.com.pl

Bartłomiej Janik

3N Solutions sp. z o.o.
ul. Szeligowska 40a, 01-320 Warszawa, Polska
e-mail: bartlomiej.janik@3ns.com.pl

Marek Kalita

Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice, Polska
e-mail: mkalita@komag.eu

Piotr Krawczyk

Politechnika Warszawska,
Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa
Pl. Politechniki 1, 00-661 Warszawa, Polska
e-mail: piotr.krawczyk@pw.edu.pl

Zbigniew Kuczera

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska
e-mail: zkuczera@agh.edu.pl

Marek Obrębski

3N Solutions sp. z o.o.
ul. Szeligowska 40a, 01-320 Warszawa, Polska
e-mail: marek.obrebski@3ns.com.pl

Michał Siegmund

Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice, Polska
e-mail: msiegmund@komag.eu

Zbigniew Szkudlarek

Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice, Polska
e-mail: zszkudlarek@komag.eu

Stanisław Szweda

Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice, Polska
e-mail: ssszweda@komag.eu

Piotr Życzkowski

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska
e-mail: piotr.zyczkowski@agh.edu.pl