

## Małogabarytowe urządzenie odpylające

### Streszczenie

W artykule zaprezentowano wyniki prac badawczo-rozwojowych, realizowanych przez ITG KOMAG w ramach projektu celowego nr ROW-III-233/2012, dofinansowanego przez Federację Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych NOT, którego zleceniodawcą była firma Wiromag Sp. z o. o. Przedmiotem projektu było opracowanie małogabarytowego urządzenia odpylającego, stosowanego w podziemiach kopalń węgla kamiennego oraz w zakładach mechanicznej przeróbki węgla, do neutralizacji lokalnych zagrożeń pyłowych. Omówiono budowę, zasadę działania urządzenia, przebieg badań oraz zalety proponowanego rozwiązania.

### Summary

Results of R&D work realized by KOMAG within the targeted project No. ROW-III-233/2012, financed by the Polish Federation of Engineering Associations - NOT, ordered by Wiromag, Ltd., are presented. Development of small-size dust control equipment, which is used in undergrounds of hard coal mines and in mechanical coal processing plants to control local dust hazards, was the project subject. Design, principle of operation and tests of the equipment as well as advantages of the suggested solution are discussed.

## 1. Wstęp

Emisja pyłu jest zagrożeniem nieodłącznie towarzyszącym procesom urabiania wszelkiego rodzaju kopalnin, w tym węgla kamiennego. Powstający pył niekorzystnie oddziałuje na organizm ludzki - jest przyczyną chorób zawodowych [7]. Jego obecność stwarza również zagrożenie związane z możliwością wybuchu mieszaniny pyłowo - powietrznej, prowadząc do katastrof górniczych [7]. Ponadto cząstki stałe oddziałują niekorzystnie na maszyny pracujące w obszarze propagacji chmury pyłowej, co może przykładowo objawiać się erozją ruchomych części, pogorszeniem odprowadzania ciepła z powierzchni pokrytych pyłem czy blokowaniem przepływu w przewodach zamkniętych.

Zgodnie z Załącznikiem nr 4 do Rozporządzenia Ministra Gospodarki w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych [6], stosowanie urządzeń odpylających w wyrobiskach chodnikowych jest obowiązkowe. W zakładach górniczych występują jednak inne miejsca propagacji pyłu, do których można zaliczyć m.in.:

- trasy przenośników taśmowych i zgrzeblowych,
- przesypy i wysypy,
- maszyny przerobcze i klasyfikacyjne,
- zbiorniki węgla,
- wozy transportowe.

W celu eliminacji zagrożeń związanych z emisją pyłu, stosuje się:

- odciągi powietrza z miejsca, gdzie emitowany jest pył i jego neutralizację w urządzeniu odpylającym,
- systemy zraszające, których celem jest ograniczenie rozprzestrzeniania się cząstek stałych i częściowe ich wytrącenie,
- indywidualne środki ochrony osobistej (np. półmaski) - w przypadku, gdy nie ma innych możliwości lub mimo zastosowania ww. środków technicznych.

W zastosowaniach przemysłowych do instalacji odciągowo - odpylających stosowane są najczęściej filtry workowe, których użycie w warunkach podziemnych zagrożeń pyłowych jest problematyczne, z uwagi na koncentrację suchego pyłu w tych urządzeniach i związane z tym zagrożenie wybuchem. Z kolei urządzenia odpylające przeznaczone do odpylania powietrza z wyrobisk korytarzowych są „przewymiarowane” w stosunku do potrzeb wydajnościowych lokalnych stacji zwalczania zapylenia, a ich gabaryty powodują, że stanowią one istotną przeszkodę przestrzenną.

W związku z tym specjaliści Instytutu Techniki Górniczej KOMAG w 2012 roku podjęli prace mające na celu opracowanie małogabarytowego urządzenia odpylającego, którego podstawowym zastosowaniem jest lokalne ograniczenie zapylenia w podziemiach kopalń i w zakładach mechanicznej przeróbki węgla.

## 2. Budowa i parametry techniczne urządzenia oraz zasada działania

W ramach prac nad rozwojem konstrukcji, realizowanych w formie projektu celowego na

podstawie trójstronnej umowy pomiędzy FSNT NOT, firmą Wiromag Sp. z o.o. – producentem urządzenia oraz Instytutem Techniki Górniczej KOMAG, w pierwszej kolejności opracowano model urządzenia, oznaczony symbolem UO-400-1. Model posłużył do zbadania procesu odpylania. Na podstawie wyników badań opracowano prototyp urządzenia, oznaczony symbolem UO-400-02.

W urządzeniu odpylającym UO-400-02 wytrącenie pyłu z zapyłonego powietrza odbywa się metodą mokrą. Metoda odpylania na mokro polega w tym przypadku na zassaniu zanieczyszczonego powietrza z otoczenia źródeł pyłu, wprowadzeniu go do urządzenia odpylającego typu UO-400-02, poprzez dyszę wirową z wentylatorem, gdzie pył łączy się z wodą. Dzięki wykorzystaniu energii kinetycznej kropeł wody, nadawanej przez wirnik dyszy, zapewnia ona wysoką skuteczność tego procesu. Jest to rozwiązanie konkurencyjne wobec stosowania natrysku wody za pomocą dysz stałych, gdzie niższa energia kinetyczna kropeł wody nie gwarantuje uzyskania wysokiego stopnia odpylania.

Na skutek działania siły odśrodkowej pochodzącej od wiru powietrza wywoływanego przez wirnik dyszy wirowej, w odkraplaczu urządzenia odpylającego, następuje oddzielenie mieszaniny wodno-pyłowej od powietrza. Oczyszczone powietrze jest wyprowadzane do otoczenia.

Mieszanina wodno-pyłowa spływa przykładowo na spąg, przenośnik lub do zbiornika urządzenia odpylającego. W zbiorniku następuje sedymentacja zanieczyszczeń, a osiadły pył jest okresowo usuwany ze zbiornika.

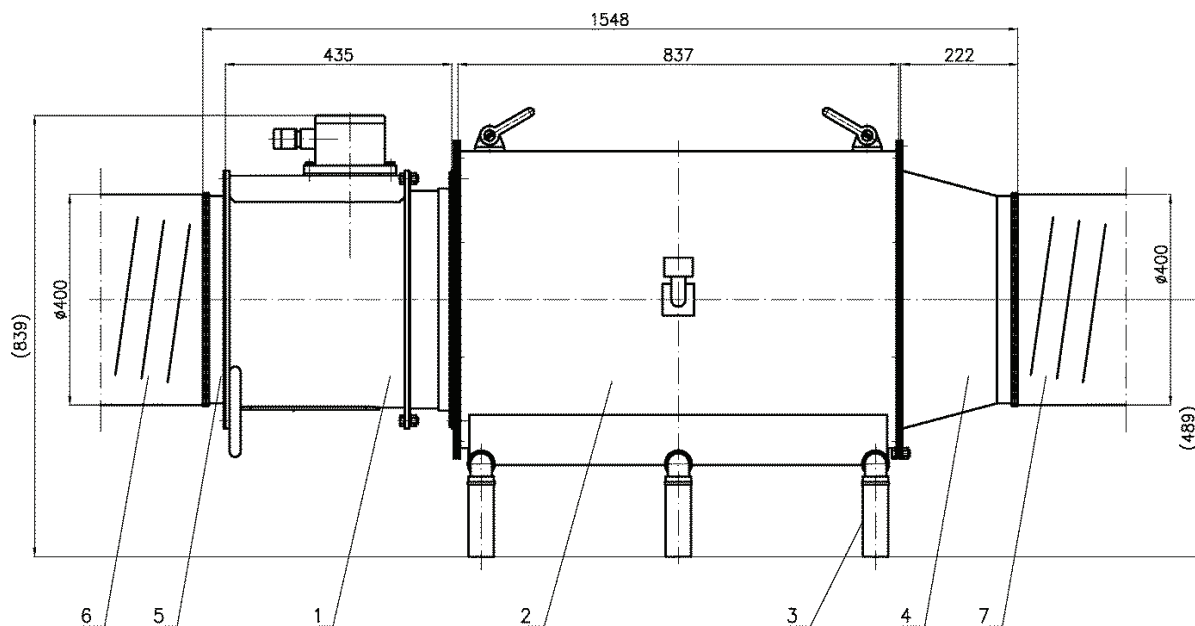
Działanie odkraplacza powoduje, że z urządzenia odpylającego wypływa „suche” powietrze, pozbawione kropeł wody.

Budowę urządzenia odpylającego UO-400-02 przedstawiono na rysunku 1. Urządzenie składa się z następujących zasadniczych zespołów:

- dyszy wirowej (wyposażonej w wentylator) (poz. 1),
- odkraplacza (poz. 2),
- węży spływowych (poz. 3),
- konfuzora i króćca (poz. 4 i 5),
- układu lutni elastycznych (poz. 6, 7).

Dysza wirowa wyposażona w wentylator przetłacza powietrze silnie zanieczyszczone pyłem, które może również zawierać metan. Silnik elektryczny zespołu zabudowany jest w specjalnej, odpowiednio uszczelnionej komorze o odrębnym przewietrzaniu, usytuowanej częściowo w kanale przepływowym członu nadłopatkowego i kadłuba. Obudowa silnika wyposażona jest w odpowiednie kanały doprowadzające powietrze z otoczenia i odprowadzające powietrze, którym chłodzony jest silnik elektryczny. Wlot dyszy wirowej zabezpieczony jest sitem o wielkości oczek 12,5 mm (stopień ochrony IP2X).

Dysza wirowa (poz. 1) połączona jest z odkraplaczem (poz. 2). Do odkraplacza za pomocą zespołu gniazda, wężem DN19 doprowadzana jest woda. Wewnątrz odkraplacza znajduje się zespół rurek zakończonych dyszą wodną oraz dwa segmenty żeber, pomiędzy którymi zatrzymywane są krople wody. Woda z pyłem wytrąconym w odkraplaczu spływa króćcami znajdującymi się przy dnie odkraplacza i węzami spływowymi (poz. 3).



Rys. 1. Budowa urządzenia odpylającego UO-400-2; (1 – dysza wirowa, 2 – odkraplacz, 3 – węże spływowe, 4 – konfuzor, 5 – króciec, 6 – lutnia elastyczna ssąca, 7 – lutnia elastyczna tłocząca [3])

Po stronie wlotowej urządzenia, do króćca (poz. 5) podłącza się lutnię elastyczną ssącą (poz. 6) za pomocą opaski, stanowiącą układ ssawny, doprowadzający zapyłone powietrze do urządzenia. Analogicznie po stronie wylotowej, do konfuzora (poz. 4) montuje się podobny układ (poz. 7), odprowadzający oczyszczone powietrze z urządzenia.

Użytkownik może we własnym zakresie wyposażyć urządzenie w zamknięty układ wodny, składający się ze zbiornika, pompy tłoczącej i przewodu tłoczego. Jedna pompa wodna ze zbiornikiem może zasilać kilka urządzeń UO-400-02. W tabeli 1 przedstawiono parametry techniczne urządzenia.

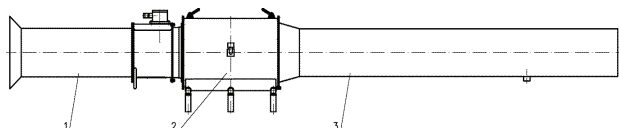
**Parametry techniczne urządzenia odpylającego UO-400-2 [3]**

Tabela 1

Parametr	Wymiar	Wartość
Wydajność nominalna	m <sup>3</sup> /min	80
Zakres wydajności	m <sup>3</sup> /min	40-120
Nominalne zużycie wody przy pracy bez zbiornika	dm <sup>3</sup> /min	30
Zużycie wody przy pracy ze zbiornikiem i pompą (z zamkniętym obiegiem wodnym)	dm <sup>3</sup> /min	1-3
Długość całkowita	mm	1548
Średnica wlotowa i wylotowa przyłączeniowa	mm	400
Maksymalna długość przyłączonego przewodu ssącego lub tłoczącego	m	15
Masa całkowita	kg	ok. 246
Skuteczność odpylania (całkowita/respirabilna)	%	99/97

### 3. Badania prototypu urządzenia odpylającego

Wykonany według dokumentacji ITG KOMAG prototyp urządzenia został poddany badaniom według normy PN-G-52002:2009 [4]. Wykonano pełny program badań (badania typu i badania wyrobu). Badania przeprowadzono na stanowisku do badań urządzeń odpylających w ITG KOMAG [1], przedstawionym na rysunku 2.

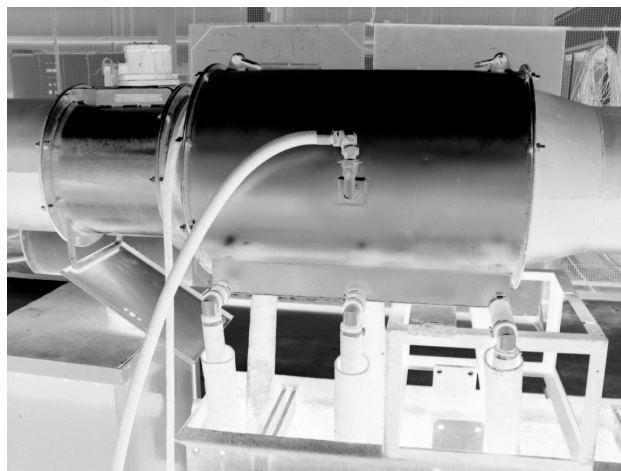


Rys.2. Schemat stanowiska badawczego 1 – wlot pomiarowy, 2 – badane urządzenie odpylające, 3 – lutniociąg pomiarowy z króćcem do przyłączenia sondy pyłomierza [opracowanie własne]

Do prototypu urządzenia odpylającego (poz. 2), zmontowanego na stanowisku pomiarowym, podłączono:

- od strony wlotu – stożek pomiarowy ISO (poz. 1) o średnicy wewnętrznej 400 mm, do którego podłączony został mikromanometr cieczowy o zakresie pomiarowym 0 ÷ 250 mm H<sub>2</sub>O, dla określenia wydajności powietrza przepływającego przez urządzenie odpylające, zgodnie z normą PN-ISO 5221:1994 [5],
- analizator sieci elektrycznej – do kabli zasilających dyszę wirową,
- lutniociąg pomiarowy (poz. 3), do którego podłączono sondę aspiracyjną połączoną z pyłomierzem grawimetrycznym.

Na rysunku 3 przedstawiono urządzenie na stanowisku badawczym.



Rys.3. Prototyp urządzenia odpylającego UO-400-2 na stanowisku badawczym [2]

W pierwszej kolejności, na podstawie dokumentów dostarczonych wraz z prototypem, dokonano weryfikacji poprawności wykonania prototypu, zastosowanych materiałów, wytrzymałości konstrukcji, poprawności współdziałania ze sobą poszczególnych podzespołów urządzenia oraz spełnienia wymagań dotyczących pracy w atmosferach zagrożonych wybuchem.

W dalszej części dokonano pomiaru średniego strumienia objętości powietrza przepływającego przez urządzenie. Zmierzony strumień powietrza wahał się od wartości 88,1 m<sup>3</sup>/min, przy braku zraszania wodą do 85,62 m<sup>3</sup>/min, przy natężeniu przepływu wody podawanej do dyszy wodnej wynoszącym 40 dm<sup>3</sup>/min. Jednocześnie zaobserwowano, że w przypadku podawania strumienia wody o natężeniu większym niż 30 dm<sup>3</sup>/min następuje niecałkowite wykroplenie wody w urządzeniu, objawiające się zamgleniem powietrza na wylocie z urządzenia, stąd nominalną wartość strumienia wody zraszającej określono jako 30 dm<sup>3</sup>/min. Przy tym natężeniu przepływu wody przez urządzenie przepływa strumień powietrza o wydajności 86,5 m<sup>3</sup>/min.

Z uwagi na fakt, że dysza wirowa w urządzeniu jest wyposażona w wentylator, który wytwarza spiętrzenie,

pomiar spadku ciśnienia powietrza nie miał w tym przypadku zastosowania. Stwierdzono, że spiętrzenie zapewniane przez dyszę wirową jest wystarczające dla przefiltrania zapyłonego powietrza przez urządzenie wyposażone w lutniociąg ssący lub tłoczący o długości nie przekraczającej 15 m.

Badania całkowitej skuteczności odpylania i skuteczności wobec frakcji respirabilnej przeprowadzono według metody II PN-G-52002:2009, tj. z zastosowaniem przenośnego pyłomierza gravimetrycznego EMIOTEST.

Wykonano dwa pomiary, a uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 2.

W badaniach użyto sondy pyłomierza o średnicy końcówki 13 mm.

Wykonane zostały również pomiary zmiany temperatury powietrza przepływającego przez urządzenie, w wyniku których stwierdzono, że w trakcie procesu odpylania następuje spadek temperatury powietrza średnio o 1,5 K.

Urządzenie poddano także próbie pracy ciągłej w czasie 30 minut przy natężeniu przepływu wody 30 dm<sup>3</sup>/min. W trakcie próby nie stwierdzono przekroczeń mocy, a prototyp cały czas pracował prawidłowo.

Na podstawie wyników badań można stwierdzić, co następuje:

- urządzenie odpylające UO-400-02, spełnia pod względem funkcjonalnym wymagania stawiane urządzeniu mogącemu mieć zastosowanie w procesie odpylania w podziemiach kopalń węgla kamiennego, zgodnie z wymaganiami i programem badań zawartymi w normie PN-G-52002:2009;
- rozwiązania konstrukcyjne badanego prototypu

urządzenia odpylającego z dyszą wirową zapewniają powtarzalność wyników badań i stabilność parametrów pracy urządzenia;

- zwiększający się wraz z przepływem wody opór, wymusza większe zużycie mocy silnika. W zakresie do 30 dm<sup>3</sup>/min nie zaobserwowano przekroczeń mocy poza wartości dopuszczalne;
- brak przekroczeń dopuszczalnej mocy silnika elektrycznego pozwala oszacować, że urządzenie charakteryzuje się oporami przepływu w części odkraplającej na tyle niskimi, że pozwala na prawidłową pracę dyszy wirowej oraz współpracę urządzenia z lutniociągami o długości nie przekraczającej 15 m;
- całkowita skuteczność odpylania (99,01%) i skuteczność odpylania wobec frakcji respirabilnej (96,19%) są wysokie i zgodne z wymaganiami normy PN-G-52002:2009, co zapewnia efektywne usuwanie cząstek stałych z powietrza.

#### 4. Prace wdrożeniowe

W pierwszym kwartale 2012 roku, po opracowaniu koncepcji urządzenia, Instytut Techniki Górniczej KOMAG przeprowadził badania rynku, mające na celu oszacowanie potencjalnego popytu na urządzenie. Do potencjalnych użytkowników urządzenia, tj. do wszystkich kopalń węgla kamiennego w Polsce, zostało skierowane pismo informujące o planowanym przedsięwzięciu, polegającym na opracowaniu małowadłowego urządzenia odpylającego, z podaniem podstawowych parametrów technicznych planowanych do uzyskania. W odpowiedzi na pismo poszczególne kopalnie wyraziły zainteresowanie potencjalnym wdrożeniem urządzenia. Uzyskano łącznie 12 listów intencyjnych od zakładów górniczych, które widzą perspektywę zastosowania urządzenia.

**Wyniki badań skuteczności odpylania urządzenia odpylającego UO-400-2 [3]**

Tabela 2

Natężenie przepływu powietrza	$V_p$	m <sup>3</sup> /min	86,46	86,46
Strumień pyłu podawany z wagi	$m_{p0}$	kg/h	2,6	2,6
Stężenie początkowe pyłu	$c_0$	mg/m <sup>3</sup>	501,2	501,2
Natężenie przepływu powietrza w sondzie	$V_s$	m <sup>3</sup> /h	7,900	7,850
Masa filtra czystego	$m_0$	mg	4058,7	3831,1
Masa filtra z pyłem po osuszeniu	$m_k$	mg	4069,8	3839,6
Masa pyłu wydzielonego na filtrze	$m_p$	mg	11,1	8,5
Czas pomiaru	$t$	min	15	15
Strumień pyłu w sondzie	$m_{ps}$	mg/min	0,7400	0,5667
Stężenie pyłu końcowe	$c_k$	mg/m <sup>3</sup>	5,6203	4,3312
Skuteczność odpylania	$\eta$	%	98,88	99,14
Średnia z dwóch pomiarów	$\eta$	%	99,01	
Skuteczność wobec frakcji respirabilnej	$\eta_r$	%	96,19	

Z uwagi na fakt, że opracowane urządzenie spełnia wymagania nowych norm, na rynku nie są dostępne rozwiązania alternatywne, wykorzystujące mokrą metodę odpylania, a także mając na uwadze stale rosnące wymagania dotyczące bezpieczeństwa i higieny pracy w zakładach górniczych, można przewidywać, że wdrażane urządzenie będzie miało szansę uzyskać na rynku istotną pozycję.

Urządzenie zostało również zaprezentowane na Międzynarodowych Targach Górnictwa, Przemysłu Energetycznego i Hutniczego Katowice 2013 (rys. 4), gdzie wzbudziło duże zainteresowanie wśród potencjalnych nabywców.



Rys.4. Malogabarytowe urządzenie odpylające UO-400-2 na stoisku firmy Wiromag Sp. z o.o. podczas Międzynarodowych Targów Górnictwa, Przemysłu Energetycznego i Hutniczego Katowice 2013 [źródło: Wiromag Sp. z o. o.]

## 5. Podsumowanie

Opracowane urządzenie odpylające UO-400-2 może znaleźć zastosowanie we wszelkiego rodzaju sytuacjach, w których następuje emisja pyłu do otoczenia, zarówno w podziemiach kopalń węgla kamiennego, jak i w innych zakładach, np. w zakładach przeróbki mechanicznej węgla oraz w innych gałęziach przemysłu.

Istotną zaletą urządzenia są jego niewielkie gabaryty (długość ok. 1,5 m, średnica nominalna lutniociągów: 400 mm) oraz niewielka masa całkowita, poniżej 250 kg. Pozwala to na umieszczenie urządzenia w warunkach ograniczonej przestrzeni wyrobiska oraz na jego stosunkowo łatwy transport i przemieszczanie w miarę potrzeb. Dzięki współpracy z lutniociągami o długości do 15 m urządzenie może być zabudowane w oddaleniu od źródła emisji pyłu, a zanieczyszczone powietrze może być transportowane układem lutni elastycznych.

Przedstawione wyniki badań potwierdzają wysoką skuteczność odpylania, co przekłada się na efektywne zwalczanie zagrożeń pyłowych i istotną poprawę bezpieczeństwa pracy.

## Literatura

1. Chmielniak T., Otte J., Frydel W., Roj L.: Instalacja badawcza urządzeń odpylających. *Maszyny Górnicze* 1992 nr 37.
2. Dokumentacja fotograficzna ITG KOMAG.
3. Dokumentacja techniczna nr W90.352 Urządzenie odpylające UO-400-2, ITG KOMAG, Gliwice 2013 (materiały nie publikowane).
4. PN-G-52002:2009 Urządzenia odpylające w górnictwie podziemnym - Wymagania i badania.
5. PN-ISO 5221:1994 Rozprowadzanie i rozdział powietrza - Metody pomiaru przepływu strumienia powietrza w przewodzie.
6. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz. U. Nr 139, poz. 1169 z późn. zm.).
7. Wyższy Urząd Górniczy: Stan bezpieczeństwa i higieny pracy w górnictwie w 2012 roku, Katowice, 2013.

*Artykuł wpłynął do redakcji w listopadzie 2013 r.*