

Nikodem Szlązak, Dariusz Obracaj*, Łukasz Szlązak***

ZAGROŻENIE PYŁAMI SZKODLIWYMI DLA ZDROWIA W PODZIEMNYCH WYROBISKACH DRAŻONYCH KOMBAJNAMI CHODNIKOWYMI***

1. Wstęp

Wyrobyiska podziemne wykonywane mogą być różnymi metodami. Dobór metody drążenia wyrobiska zależy od wielu czynników, z których najistotniejszy to rodzaj skał, w których wykonywane jest wyrobisko. W przypadku skał zwięzłych najczęściej wykorzystywane jest drążenie wyrobisk za pomocą techniki strzelniczej, kombajnów chodnikowych lub bezosłonowych tarcz wiertniczych TBM (*Tunnel Boring Machines*).

Podczas skrawania calizny skalnej organem urabiającym kombajnu lub tarczą wiertniczą TBM-u powstaje zapylenie powietrza w rejonie przodka. Oprócz pierwotnego źródła pylenia podczas skrawania calizny występują również wtórne źródła związane z mechanicznym załadunkiem urobku na przenośnik i podczas jego przesypu na trasie odstawy. Efektem występującego zapylenia powietrza jest wzrost zagrożenia pyłami szkodliwymi dla zdrowia na stanowiskach pracy. Stan zagrożenia pyłami na stanowiskach pracy zależy od intensywności źródeł pylenia w wyrobisku ślepych oraz od skuteczności zwalczania zapylenia powietrza.

W celu oceny stosowanych metod zwalczania zapylenia w drążonych wyrobiskach podziemnych omówiono źródła emisji pyłu podczas drążenia oraz określono czynniki kształtujące skuteczność redukcji zapylenia powietrza. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów w wyrobiskach drążonych kombajnami chodnikowymi w różnych warunkach litologicznych skał określono poziom skuteczności odpylania powietrza oraz sprecyzowano uwagi dotyczące poprawności działania systemów wentylacyjno-odpylających.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Jastrzębska Spółka Węglowa S.A., KWK „Zofiówka”

*** Artykuł zrealizowano w ramach prac własnych nr 10.10.100.853

2. Czynniki wpływające na wielkość emisji pyłu podczas drażenia wyrobisk kombajnami

Do czynników wpływających na wielkość emisji pyłu zalicza się rodzaj urabianych skał, typ noży skrawających i dysz zraszających oraz prędkość samego skrawania.

Rodzaj skał, a przede wszystkim skład mineralogiczny oraz zawartość kwarcu, wpływają na wielkość emisji pyłu i zawartość wolnej krzemionki krystalicznej w pyłe. Dodatkowo takie parametry, jak łupliwość, zwięzłość i twardość minerałów, decydują o ilości wytwarzanego pyłu. W piaskowcach kwarc jest głównym składnikiem materiału okruszonego, a jego zawartość wynosi od około 50% do około 75% wag. Zawartość wolnego kwarcu w łupkach jest niewielka i generalnie zawiera się w przedziale od ok. 1% do ok. 7% wag. W łupkach kwarc wykształcony jest najczęściej w postaci małych ziaren o średnicy 20÷100 μm , rzadko do 200 μm . Wielkość ziaren minerałów w skale nie ma jednak bezpośredniego wpływu na emisję i wielkość tworzących się ziaren pyłu. Zawartość wolnej krzemionki w skałach zależy od domieszki minerałów ilastych. Obserwuje się jednak większą zawartość SiO_2 w pyłe respirabilnym niż w złożu [9, 11].

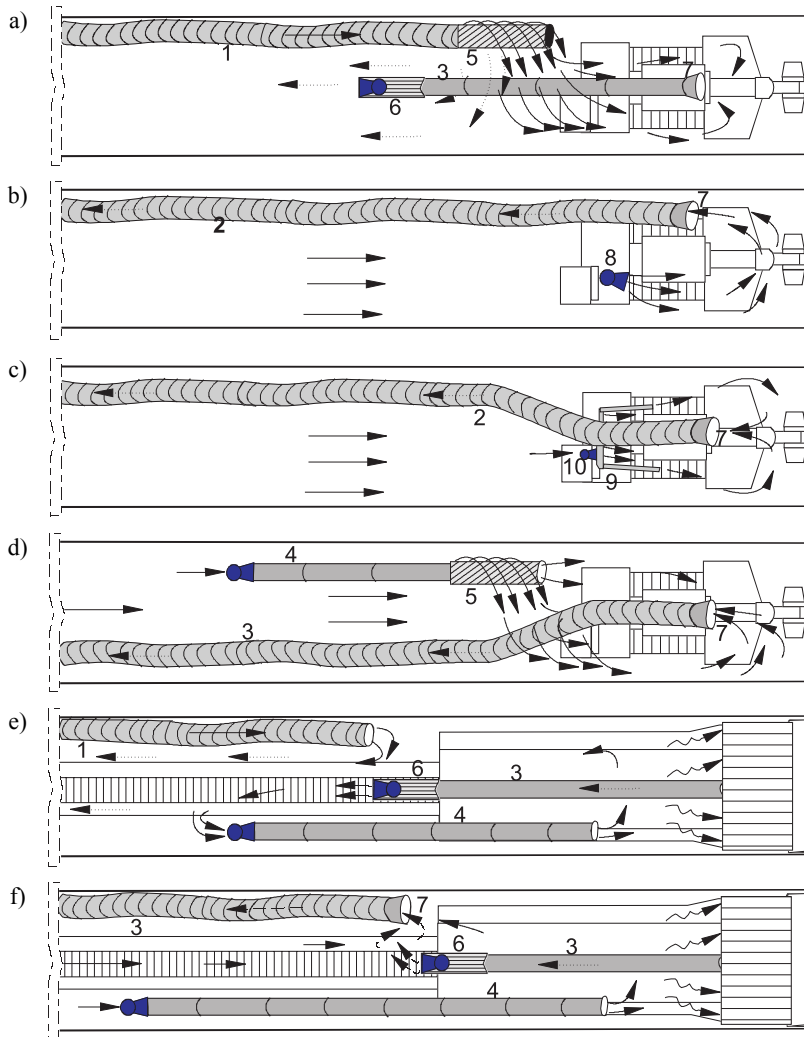
Wpływ materiału i geometrii noży skrawających na wielkość absorbowanej energii podczas skrawania jest znany i uwzględniany przy konstrukcji głowic urabiających. Skrawanie jest jednak procesem mniej pyłotwórczym, jeżeli przebiega wzdłuż naturalnych płaszczyzn łupliwości skały. Wielkość emisji pyłu uzależniona jest również od głębokości i prędkości skrawania. Wzrost prędkości skrawania przy tym samej głębokości skrawu powoduje wzrost rozdrabniania materiału. Zmniejszanie głębokości przy tej samej prędkości również powoduje wzrost zapylenia powietrza [9].

Wielkość emisji pyłu uzależniona jest również od rodzaju instalacji zraszającej (wewnętrzna lub zewnętrzna) oraz typu dysz zraszających.

3. Czynniki kształtujące skuteczność redukcji zapylenia powietrza

Podstawowym wymaganiem stawianym metodom zwalczania zapylenia jest warunek zapewnienia oczyszczenia powietrza, które powinno odpowiadać normom higienicznym. Skuteczność zwalczania zapylenia zależy od właściwie zaprojektowanej instalacji wentylacyjnej, odpylającej i zraszającej. Podstawowe sposoby współpracy instalacji wentylacyjnej z odpylającą przedstawiono na rysunku 1. Zasadnicza instalacja wentylacyjna wspomagana może być przez pomocniczą instalację w celu wytworzenia ruchu wirowego lub recyrkulacji powietrza. Na etapie projektowania należy określić zakres wydajności i długość zazębienia poszczególnych lutniociągów [8, 9]. Jednocześnie odpylacze winny być dostosowane do przyjętego sposobu drażenia i przewietrzania wyrobiska.

Wykorzystanie środków odpylających związane jest ze skutecznością instalacji odpylającej współpracującej z lutniową instalacją wentylacyjną.



Rys. 1. Systemy wentylacyjno-odpylające wykorzystywane przy drążeniu wyrobisk podziemnych: a) system wentylacji kombinowanej z zasadniczym lutniociągiem tłoczącym i lutniociągiem ssącym instalacji odpylającej; b) system wentylacji ssącej z dodatkową strumienicą powietrza na kombajnie chodnikowym; c) system wentylacji ssącej z dodatkową kurtyną powietrzną na kombajnie; d) system wentylacji kombinowanej z zasadniczym lutniociągiem ssącym i pomocniczym lutniociągiem tłoczącym; e) system wentylacji tłoczącej z pomocniczym lutniociągiem tłoczącym i dodatkowym lutniociągiem ssącym instalacji odpylającej w przypadku drążenia tuneli za pomocą TBM (*scavenger system*); f) system wentylacji ssącej z pomocniczym lutniociągiem tłoczącym i dodatkowym lutniociągiem ssącym instalacji odpylającej w przypadku drążenia tuneli za pomocą TBM (*overlap system*).

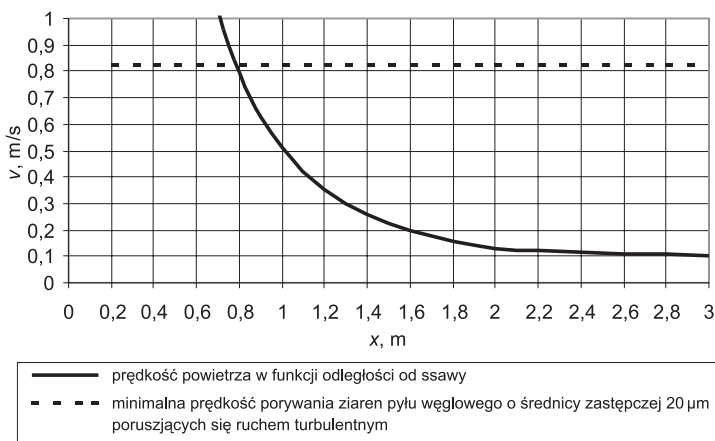
Objaśnienia:

- 1 — zasadniczy lutniociąg tłoczący, 2 — zasadniczy lutniociąg ssący, 3 — pomocniczy lutniociąg odpylacza, 4 — pomocniczy lutniociąg tłoczący, 5 — lutnia wirowa, 6 — odpylacz, 7 — ssawa, 8 — strumienica, 9 — kurtyna powietrzna, 10 — wentylator

Skuteczność odpylania definiuje się jako stosunek różnicy stężenia pyłu po i przed zabudową odpylacza do stężenia pyłu przed zastosowaniem odpylacza w określonym przekroju pomiarowym. Zatem o skuteczności odpylania powietrza nie decyduje wyłącznie skuteczność działania odpylacza, ale jego właściwa współpraca z systemem wentylacji lutniowej w wyrobisku [1, 7, 8]. W przypadku poprawnej współpracy parametrem skuteczności działania całej instalacji jest „skuteczność redukcji zanieczyszczeń pyłowych” na stanowisku pracy (wg PN-G-52000).

Skuteczność odpylacza można określać jako całkowitą skuteczność odpylania lub skuteczność frakcyjną. Należy zauważyć, że wykonanie odpylacza o dużej sprawności dla wytrącenia pyłu o dużej ziarnistości nie jest trudne. Natomiast olbrzymie trudności występują przy budowie odpylaczy górniczych o dużej sprawności dla najdrobniejszych ziaren pyłu, np. frakcji respirabilnej. W przemysłowych systemach odpylających stosuje się kilkustopniowe odpylanie. Aktualnie warunki technologiczne ograniczają możliwość stosowania takich systemów przy drażeniu wyrobisk podziemnych, jednak należałoby podjąć takie badania.

Tak więc w celu osiągnięcia odpowiedniej redukcji zapylenia konieczne jest jednocześnie wykorzystywanie środków odpylających i środków wentylacyjnych. Wlot do instalacji odpylającej powinien znajdować się jak najbliżej czoła przodka (w odległości do 3 m od organu urabiającego kombajnu). Na rysunku 2 przedstawiono krzywą prędkości powietrza w odległości od ssawy $\varnothing 600$, obliczoną dla wydajności urządzenia odpylającego UO-630.



Rys. 2. Prędkość powietrza w funkcji odległości od ssawy $\varnothing 600$ dla odpylacza UO-630

Na wykresie zaznaczono również prędkość porywania ziaren pyłu węglowego o średnicy $20 \mu\text{m}$ poruszających się ruchem turbulentnym. Obecnie przy kombajnach chodnikowych stosowane są dwa rozwiązania ze ssawami 600 mm i 800 mm. Najczęściej odległość ssawy instalacji odpylającej od organu kombajnu wynosi ok. 4,0 m, a wyprzedzenie jej w stosunku do stanowiska kombajnisty ok. 2,5 m. Takie ustawienie ssawy w znaczący sposób wpływa negatywnie na spadek sprawności odpylania całego układu w przodku. Wyraźne

efekty „ściągnięcia” widma obłoku pyłu uzyskuje się przy lokalizacji wlotu ssawy mniejszej niż 3 m od źródła zapylenia, a najlepsze przy odległości $0,6 \div 1$ m (z uwagi na zwiększenie prędkości porywania ziaren pyłu — rys. 2).

Należy jednak pamiętać, że usytuowanie ssawy zbyt bliskie źródła pyłu powodować może zasysanie większych cząstek pyłu, co nie jest wskazane przy jednostopniowym systemie odpylania. Optymalna lokalizacja ssawy instalacji odpylającej jest więc ze względów technologicznych trudna do uzyskania.

W celu zwiększenia skuteczności ujęcia pyłu przez instalacje odpylającą wykorzystuje się efekt zawirowania powietrza (rys. 1). W przypadku wentylacji tłoczącej z odpylaczem przodkowym załączenie organu urabiającego powinno być możliwe dopiero po wcześniejszym uruchomieniu odpylacza zabudowanego w pomocniczym lutniociągu ssącym i równoczesnym zamknięciem kłapy na wylocie z lutni perforowanej lub wirowej albo wprowadzeniem w ruch zawirowywacza w lutni wirowej np. typu WIR-700W [2, 5, 8]. Ruch wirowy powietrza i pyłu w kierunku widma pola prędkości ssawy przyczynia się do zwiększenia ujęcia pyłu w instalacji odpylającej. W czasie gdy odpylacz nie pracuje, wpływ powietrza z zasadniczego lutniociągu tłoczącego powinien być na wprost. Kłapa sterowana automatycznie powinna posiadać mechanizm powodujący natychmiastowe jej otwarcie w przypadku zaniku medium wywołującego ruch kłapy. Wyłączenie odpylacza powinno powodować zatrzymanie pracy organu urabiającego [9].

Środki zraszające związane są z systemem zraszania wewnętrznego i zewnętrznego na kombajnie chodnikowym. Sposób rozmieszczenia dysz wodnych do zraszania organu urabiającego również powinien być dostosowany do zaprojektowanego układu wentylacyjno-odpylającego [4, 9]. Kierunek rozpylanej wody przez dysze umiejscowione na organie urabiającym, ale przede wszystkim na wysięgniku kombajnu, wpływać może na dodatkowe turbulencje powietrza w przodku [4]. Kierunek rozpylanej wody powinien współdziałać z przepływem powietrza w kierunku instalacji odpylającej [4, 9].

Reasumując należy stwierdzić, że skuteczność redukcji pyłu w wyrobisku podziemnym zależy od właściwie zaprojektowanej współpracy instalacji zraszającej, odpylającej i wentylacyjnej. Skuteczność ta zależy będzie głównie od:

- sprawności odpylacza,
- odległości ssawy od urabianej calizny,
- średniej prędkości powietrza w kierunku przodka,
- strumienia powietrza zasysanego przez odpylacz,
- strumienia powietrza dostarczanego do przodka.

4. Pomiary zapylenia powietrza w wybranych wyrobiskach

4.1. Metodyka pomiarowa

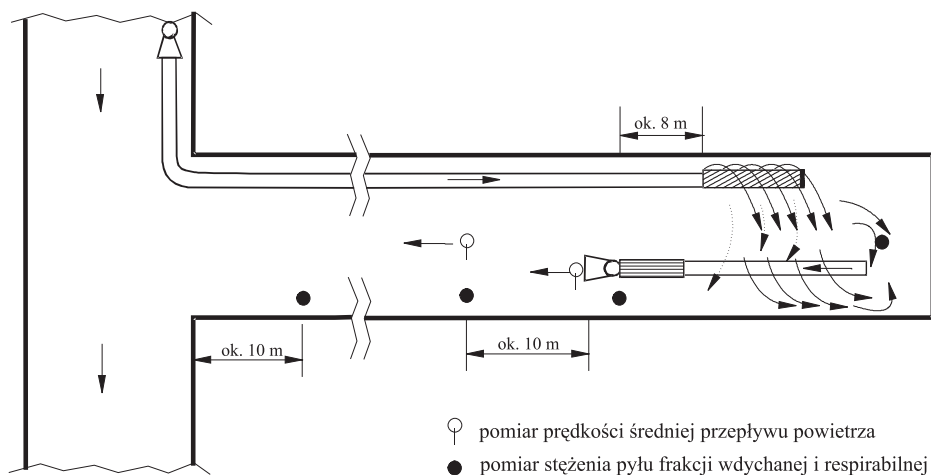
W celu oceny źródeł pylenia oraz skuteczności redukcji zanieczyszczeń pyłowych w wyrobisku ślepych przeprowadzono pomiary stężenia pyłu podczas drażenia wyrobisk w różnych skalach przy użyciu kombajnów chodnikowych.

Do przeprowadzenia pomiarów wytypowano trzy wyrobiska z systemem wentylacji kombinowanej i odpylaczem przodkowym w dwóch kopalniach.

Pomiary stężenia pyłu w wybranych przekrojach pomiarowych obejmowały:

- stanowisko kombajnisty,
- strefę zazębienia lutniociągów,
- strefę za odpylaczem (ok. 10 m za wylotem z odpylacza),
- wylot z wyrobiska.

Schemat lokalizacji punktów pomiarowych przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat lokalizacji punktów pomiarowych

Do pomiarów stanowiskowych wykorzystano pyłomierze grawimetryczne CIP-10. Wybór pyłomierza uwarunkowany był posiadaniem dopuszczenia WUG-u oraz powszechnym stosowaniem w polskich kopalniach węgla kamiennego. Pyłomierz CIP-10 umożliwił pomiar stężenia frakcji wdychanej i respirabilnej. Pomiary stężenia pyłu w wyrobiskach ślepych wykonywano zgodnie z normami PN-Z-04008-7:2002, PN-91/Z-04030/05, PN-91/Z-04030/06, PN-91/Z-04018/04. W każdym z trzech wyrobisk przeprowadzono pięć pomiarów przy różnych długościach wyrobiska. Wraz z pomiarami stężenia pyłu prowadzono pomiar prędkości średniej przepływu powietrza za pomocą anemometru Lambrecht.

W tabeli 1 przedstawiono parametry wyrobisk, w których prowadzono pomiary. Wyrobiska te prowadzone były w odmiennych warunkach geologicznych i różnymi typami kombajnów chodnikowych. W jednym przypadku stosowano odpylacz typu IO-600CH/U/1, a w dwóch odpylacz typu UO-630, przy czym jeden podpięty był pod układ ssawny kombajnu AM-105. W wyrobisku z odpylaczem IO-600CH/U/1 nie stosowano lutni wirowej na lutniociągu zasadniczym.

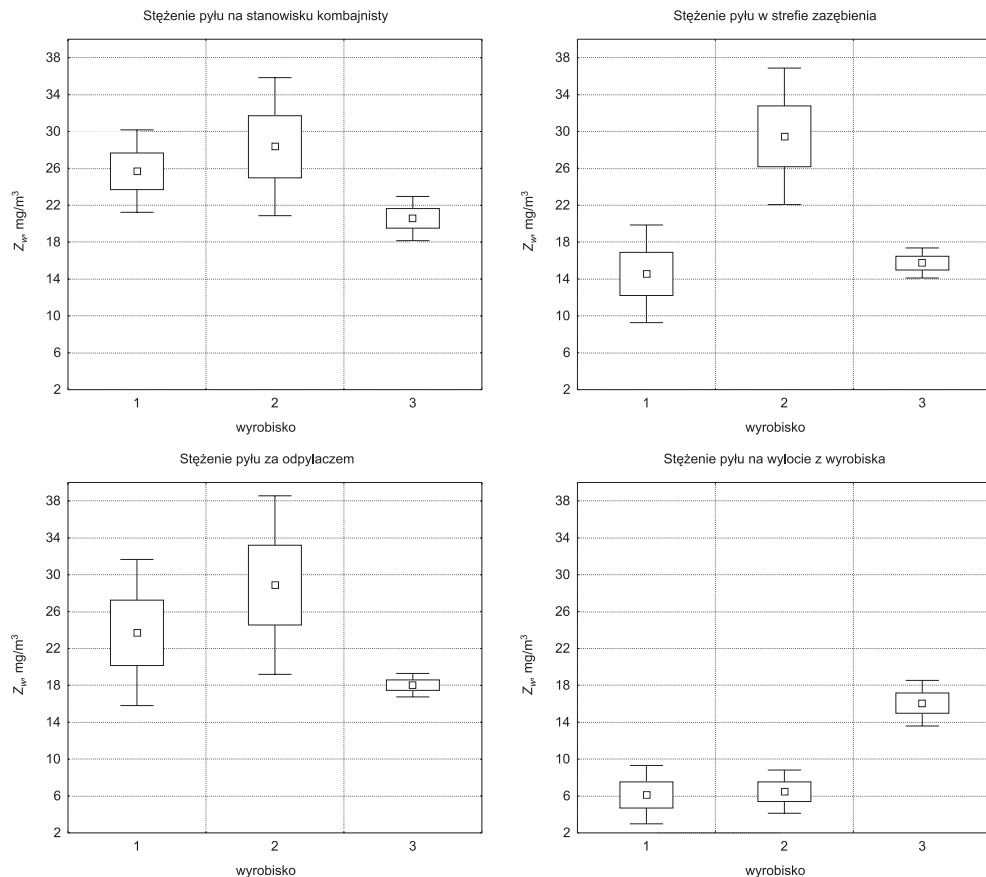
TABELA 1

Parametry wyrobisk objętych pomiarami zapylenia powietrza

Parametry wyrobiska	Wyrobisko		
	1	2	3
Nazwa wyrobiska	Przekop taśmowy II wsch.	Chodnik B-21c	Chodnik N-11
Głębokość	950 m	713 m	854 m
Nachylenie	+ 5‰	± 10°	± 8°
Warstwy skalne	1) piaskowce drobnoziarniste, zwięzły, gęstość 2,6 g/cm ³ 2) łupków piaszczyste, twarde, $\gamma = 25,2 \text{ kN/m}^3$ 3) łupki ilaste, średnio zwięzły, $\gamma = 24,7 \text{ kN/m}^3$ 4) węgle pokładów od 415/4 do 404/11g + 1d, $\gamma = 11,4 \text{ kN/m}^3$	1) pokład 404/21d + 1g, $R_c = 43,2 \text{ MPa}$ $\gamma = 12,6 \text{ kN/m}^3$ 2) łupki ilaste, średnio zwięzły, $\gamma = 23,8 \text{ kN/m}^3$	1) pokład 401/1, $R_c = 41 \text{ MPa}$ $\gamma = 11,9 \text{ kN/m}^3$ 2) piaskowiec drobnoziarnisty, b. zwięzły $R_c = 92,4 \text{ MPa}$, $\gamma = 27,6 \text{ kN/m}^3$, 3) iłowiec, szary, zwięzły, $R_c = 41,0 \text{ MPa}$ $\gamma = 24,2 \text{ kN/m}^3$
Udział węgla w przekroju wyrobiska	0%	65÷88%	45÷64%
Kąt zalegania warstw	10÷15° w kierunku drażenia wyrobiska	5° poprzecznie do osi wyrobiska	5° poprzecznie do osi wyrobiska
Zagrożenie wodne	I stopień	I stopień	I stopień
Zagrożenie metanowe	IV kategoria	III kategoria	IV kategoria
Temperatura pierwotna górotworu	42°C	39°C	36°C
Obudowa	V36/12/4	V29/10/3	V29/9 i V29/10
Kombajn	AM-105 IC	R-130	AM-50
Lutniociąg zasadniczy, wentylator, zasobnik lutniowy, lutnia wirowa, chłodnica	tłoczący, elastyczny $\varnothing 1000$, 2 × Es9-500/80 szereg., WIR-630, DV-290 w boczniku lut.	tłoczący, elastyczny $\varnothing 1000$, najpierw WLE-1003B, później WL-SIGMA 900/1, WIR-630, od 600 m DV-290 w boczniku lut.	tłoczący, elastyczny $\varnothing 1000$, 2 × WLE-1005B równ.
Odpylacz	UO-630 podpięty do ssaw kombajnu	IO-600 37/W/CH/1	IO-600 CH/U/1
Zraszanie	wewnętrzne, sekwencyjne spoza noży + 4 dysze typu „Halemba” na organach	9 dysz w formie podkowy w kierunku na noże + 2 dysze typu „Halemba”	wewnętrzne, sekwencyjne spoza noży + 2 dysze typu „Halemba” na organie

4.2. Analiza wyników

Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 2. Na rysunkach 4–5 przedstawiono wartość średnią stężenia pyłu wraz z błędem i odchyleniem standardowym w poszczególnych punktach pomiarowych w badanych wyrobiskach ślepych.



Rys. 4. Wykres ramkowy stężenia pyłu frakcji wdychanej w badanych wyrobiskach

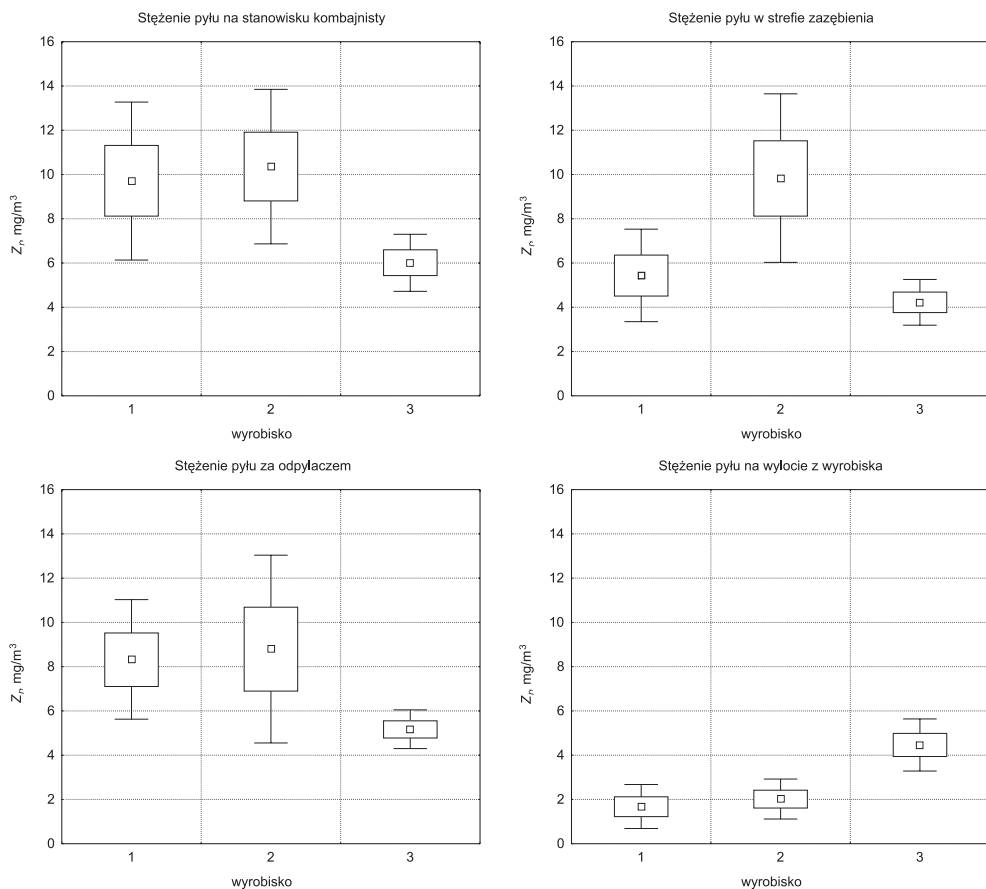
Objaśnienia: —|— — średnia + odch. std., średnia – odch. std.; \square — średnia + błąd std., średnia – błąd std.; \square — średnia

W badanych wyrobiskach stężenie pyłu wdychanego na stanowisku kombajnisty kształtuje się w granicach $20\div 35 \text{ mg}/\text{m}^3$. Średnia wartość kształtuje się wokół $24 \text{ mg}/\text{m}^3$, i to niezależnie od rodzaju urabianych skał. Z przeprowadzonych badań wynika, że przy wentylacji tłoczącej z odpylaczem przodkowym największe stężenie pyłu frakcji wdychanej wystę-

puje na stanowisku kombajnisty oraz za odpylaczem typu IO. W przypadku wyrobiska z odpylaczem UO stężenie pyłu za odpylaczem jest nieznacznie mniejsze. W strefie zążeń-bienia występuje niższe stężenie pyłu niż w wyrobisku za instalacją odpylającą. Stężenie to jest również niewiele większe niż stężenie pyłu na wylocie dla krótkich wyrobisk.

Podobnie kształtuje się stężenie frakcji respirabilnej. W wyrobisku z przodkiem kamien-nym nie obserwuje się znacznych różnic stężenia pyłu do pozostałych rodzajów przodków.

Jak wykazały pomiary, odpylacz zastosowany w przodkach korytarzowych z kombaj-nem pozwalają na maksymalne obniżenie stężenia pyłu frakcji wdychanej do ok. 24 mg/m^3 i frakcji respirabilnej do 8 mg/m^3 na stanowisku kombajnisty i za odpylaczem, pod warun-kiem dotrzymania ustaleń dokumentacji techniczno-ruchowej wyrobiska ślepego.



Rys. 5. Wykres ramkowy stężenia pyłu frakcji respirabilnej w badanych wyrobiskach

Objaśnienia: — — średnia + odch. std., średnia – odch. std.; \square — średnia + błąd std., średnia – błąd std.; \square — średnia

TABELA 2

Wyniki pomiarów stężenia pyłu w wyrobiskach

Wyrobisko	Długość wyrobiska, m	Data pomiaru	Strumień powietrza, m ³ /min			Stężenie frakcji wdychanej Z _v i respirabilnej Z _r oraz zawartość wolnej krzemionki w pyłe SiO ₂											
			przodek	odpylacz	wylot z wyrobiska	kombajnista			strefa zaizolowana			strefa za odpylaczem			wylot z wyrobiska		
						Z _v , mg/m ³	SiO ₂ , %	Z _r , mg/m ³	Z _v , mg/m ³	SiO ₂ , %	Z _r , mg/m ³	Z _v , mg/m ³	SiO ₂ , %	Z _r , mg/m ³	Z _v , mg/m ³	SiO ₂ , %	Z _r , mg/m ³
1	582	10.09	650	190	850	20,20	7,11	5,06	11,33	4,09	5,15	22,40	8,16	4,80	9,10	2,51	4,69
	610	24.09	650	190	850	24,30	8,70	7,20	7,60	3,00	7,40	26,30	9,50	7,14	9,60	3,00	5,16
	645	08.10	650	190	850	30,42	15,32	8,36	17,20	8,22	8,03	17,67	6,99	9,10	5,36	1,01	8,84
	691	22.10	650	190	850	30,20	10,90	7,28	15,40	6,80	8,21	36,00	12,10	8,21	4,60	1,00	8,06
	710	05.11	700	300	900	23,40	6,50	7,73	21,30	5,10	7,94	16,30	4,90	8,31	2,10	0,90	8,13
2	269	05.09	510	250	680	32,87	10,29	1,86	32,87	10,29	1,86	25,78	8,45	1,68	7,94	1,93	1,70
	373	19.09	500	250	680	32,30	12,40	1,60	32,30	12,40	1,60	34,16	13,85	1,59	9,22	3,47	0,97
	475	03.10	470	250	680	35,70	14,30	1,96	35,70	14,30	1,96	36,25	11,88	1,78	7,11	2,00	1,10
	601	22.10	460	420	680	22,60	9,80	1,58	29,70	7,40	1,40	35,00	6,70	1,52	4,30	1,00	1,39
	648	05.11	430	250	680	18,30	5,00	1,49	16,80	4,80	1,61	13,20	3,10	1,56	3,80	1,70	1,72
3	170	01.12	530	260	600	22,56	7,68	9,60	17,05	5,97	9,20	18,86	6,68	9,20	17,92	6,25	9,00
	200	16.12	480	260	600	21,76	5,55	2,70	16,92	3,88	2,50	19,07	4,70	2,50	17,69	4,21	2,30
	233	06.01	430	260	600	18,46	4,67	3,40	14,67	3,22	3,70	16,24	4,79	3,90	15,47	3,49	3,70
	310	28.01	390	260	600	19,78	5,12	4,30	15,38	3,94	4,10	17,82	4,53	4,20	16,38	3,41	3,40
	530	24.03	780	260	900	21,83	7,04	3,20	16,21	4,12	2,30	18,42	5,18	2,50	17,51	4,95	2,40

5. Wnioski

O wielkości stężenia pyłu decyduje wielkość emisji pyłu podczas drażenia wyrobisk podziemnych, ale również skuteczność współdziałania instalacji wentylacyjnej odpylającej i zraszającej. Stwierdza się, że poprawne współdziałanie tych instalacji ogranicza zagrożenie pyłem szkodliwym dla zdrowia. Instalacje te nie zapewniają jednak obniżenia stężenia pyłu do poziomu wartości dopuszczalnych.

Instalacje odpylające stanowią podstawowy środek redukcji zapylenia powietrza w wyrobiskach chodnikowych. Dlatego ważne jest ich należyte wykorzystanie w celu osiągnięcia maksymalnej skuteczności redukcji zanieczyszczeń pyłowych w wyrobiskach ślepych. Odpowiednio zaprojektowana współpraca instalacji odpylającej i zraszającej z zasadniczą instalacją wentylacji lutniowej gwarantuje usunięcie zanieczyszczeń pyłowych powietrza w pobliżu ich emisji.

Podstawowe zasady konieczne do przestrzegania w celu osiągnięcia odpowiedniej skuteczności odpylania to:

- utrzymywanie odpowiedniej długości strefy zazębienia lutniociągu zasadniczego z lutniociągiem pomocniczym (instalacji odpylającej);
- zapewnienie właściwej korelacji pomiędzy strumieniem powietrza przepływającego przez urządzenie odpylające a strumieniem powietrza dostarczanego lutniociągiem zasadniczym do czoła przodka;
- właściwy montaż lutni wirowej;
- utrzymywanie odpowiedniej odległości lutniociągu ssącego od czoła przodka;
- właściwa filtracja wody w układach zraszania wewnętrznego i zewnętrznego;
- przestrzeganie konieczności wymiany wody w odpylaczach mokrych.

Aktualnie w polskich warunkach górniczo-geologicznych nie ma możliwości uzyskania skuteczności odpylania powietrza w drażonych wyrobiskach podziemnych poniżej wartości NDS. Należy w dalszym ciągu poszukiwać optymalnych metod podniesienia skuteczności odpylania i dalszego prowadzenia badań nad nowymi rozwiązaniami układów wentylacyjno-odpylających.

LITERATURA

- [1] *Borowski M., Obracaj D.*: Stosowanie instalacji odpylającej w wyrobiskach chodnikowych w warunkach zagrożenia metanowego. *Kwartalnik AGH Górnictwo*, r. 20, z.3, 1996
- [2] *Frydel W., Krzykowski R.*: Lutnia wirowa WIR-630 w systemie wentylacji kombinowanej. *Miesięcznik WUG*, nr 9, 2003
- [3] *Guyaguler T.*: Wpływ petrograficznych własności skał na powstawanie frakcji wdychanej pyłu. *Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Zwalczanie zagrożeń pyłowych w przemyśle górnictwem na świecie”*, Szczyrk 17–19 września 1996
- [4] *Kissell F.M.*: Handbook for dust control in mining. Information Circular 9465. National Institute for Occupational Safety and Health. Cincinnati, NIOSH-Publications Dissemination 2003

- [5] *Krzykowski, R.*: Przewietrzanie wyrobisk korytarzowych z zastosowaniem wentylacji lutniowej wyposażonej w odpylacz typu mokrego. *Maszyny Górnicze*, nr1, 89, 2002
- [6] *Kucza J., Penkala E.*: Doświadczenia w zwalczaniu zagrożenia pyłowego w wyrobiskach korytarzowych drażonych kombajnami w kopalniach Rybnickiej Spółki Węglowej S.A. *Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa, Seria: Konferencje nr 3, III Konferencja Naukowo-Techniczna „Zwalczanie zagrożeń pyłowych w górnictwie”*, Ustroń 1996
- [7] *Lebecki K., Roszczyński W.*: Kształtowanie się zapylenia powietrza przy różnych technikach wentylacji i odpylania. *Materiały Konferencyjne Szkoły Eksploatacji Podziemnej 1997*, Kraków, Polska Akademia Nauk, Centrum Podstawowych Problemów Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią 1997
- [8] *Lebecki K., Zellner E., Bywalec T.*: Zasady prawidłowej zabudowy urządzeń odpylających różnych typów w wyrobiskach korytarzowych. *Materiały Konferencyjne VI Ogólnopolska Konferencja „Środki ochrony indywidualnej w środowisku pracy, nauka — produkcja — stosowanie”*. GIG, CIOP-PIB, Lubin 26–28 maja 2003,
- [9] *McPherson M.J.*: *Subsurfaces Ventilation and Environmental Engineering*. Chapman & Hall Inc., 1993
- [10] *Paździorek S., Roszczyński W., Szoltysek A.*: O efektywności zwalczania zapylenia powietrza w przodkach chodnikowych drażonych kombajnami. *Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa. Seria: Konferencje nr 2, II Konferencja Naukowo-Techniczna „Zwalczanie zagrożeń pyłowych w górnictwie”*, Ustroń 10–11 maja 1995
- [11] *Ramani R.V. et al.*: On the relationship between quartz in the coal seam and quartz in the respirable airborne coal dust. *Proceedings of the 4th Mine Ventilation Congress, Brisbane, 1988*
- [12] *Szłazak N., Obracaj D., Borowski M.*: Systemy przewietrzania ślepych wyrobisk w kopalniach węgla kamiennego. *Przegląd Górniczy*, nr 7–8, 2003
- [13] *Tor A., Jakubów A., Krzykowski R.*: Urządzenia odpylające nowej generacji w kopalniach Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. *II Szkoła Aerologii Górniczej, Zakopane, 2002*