

Optyczna metoda ciągłego pomiaru zapylenia powietrza w aspekcie oceny zagrożeń spowodowanych występowaniem pyłu węglowego

W artykule scharakteryzowano zagrożenia spowodowane występowaniem pyłu węglowego oraz zaprezentowano pyłomierz optyczny PŁ-2 do ciągłego monitorowania stanu zapylenia powietrza. Przedstawiono wyniki badań w wyrobiskach kopalni. Opisano metodę wyznaczania modeli rozkładów pyłu w wyrobisku. Przedstawiono także metody oceny zagrożeń spowodowanych występowaniem pyłu węglowego na podstawie ciągłych pomiarów zapylenia powietrza.

1. WSTĘP

W polskim górnictwie węgla kamiennego czynne są dziś wyłącznie w pełni zmechanizowane ściany wydobywcze i są one głównymi źródłami pyłu. W prądzie powietrza przewietrzającego ścianę w czasie jej urabiania znajduje się bardzo duża ilość pyłu, który niesiony przez powietrze sukcesywnie osiada, stwarzając zagrożenie wybuchu pyłu oraz warunki sprzyjające rozwojowi pylicy [1].

Dużymi źródłami pyłu są także wyrobiska korytarzowe drążone kombajnem lub drążone przy zastosowaniu techniki strzelniczej. Równie znaczącym źródłem pyłu są różnego rodzaju przesypy.

Przez duży zasięg lub zmienność w przestrzeni źródeł pyłu może dochodzić do ich przestrzennego nakładania się, bowiem nie można zapobiec jednoczesnemu powstawaniu pyłu w miejscu przeładunku ściana-chodnik, pracy kruszarki i przesypu urobku na transporter taśmowy.

W kopalniach powszechne jest stosowanie urządzeń zraszających i w coraz większym zakresie wprowadzane są urządzenia odpylające różnego typu, które wymagają kontrolowania ich sprawności i prawidłowości działania. Kontrole w tym zakresie prowadzone są przez służby wewnętrzne kopalni lub inspekcje zewnętrzne. Kontrole służb wewnętrznych prowadzone są często, jednak zdarza się, że pomimo

ich niepełnej sprawności i skuteczności działania prowadzi się roboty górnicze, głównie urabianie, co czasami niekorzystnie wpływa na zdrowie pracowników w dłuższych okresach.

Wyniki uzyskiwane przez inspekcje zewnętrzne są zdecydowanie bardziej wiarygodne, jednak prowadzone są rzadko, przez co nie dają właściwego obrazu zagrożenia, szczególnie w przypadku zapylenia, które ma oddziaływanie zdrowotne kumulacyjne.

Metody stosowane aktualnie do oceny pyłowego zagrożenia zdrowotnego i wybuchowego opisane są w następujących normach [3]:

- a) PN-G-04035 – „Ochrona czystości powietrza w podziemnych zakładach górniczych. Pomiar stężenia zapylenia powietrza oraz oznaczanie zawartości wolnej krystalicznej krzemionki w pyłach”.
- b) PN-G-04036 – „Zabezpieczenie przeciwwybuchowe zakładów górniczych. Zabezpieczenie przed wybuchem pyłu węglowego. Oznaczenie intensywności osiadania pyłu”.
- c) PN-G-04037 – „Zabezpieczenia przeciwwybuchowe zakładów górniczych. Zabezpieczenie przed wybuchem pyłu węglowego. Oznaczenie zawartości części niepalnych w pyłach kopalnianych”.

Określone w normach pomiary pozwalają określić zagrożenie pyłami szkodliwymi dla zdrowia oraz zagrożenie wybuchem pyłu węglowego. Do pomiarów zapylenia powietrza stosowana jest metoda gra-

wimetryczna. Do pomiarów pyłu osiadłego stosowane są głównie metody określające zawartość części niepalnych oraz ilość pyłu osiadłego na jednostkę powierzchni poprzez okresowe, ręczne pobieranie próbek pyłu i ich laboratoryjną analizę.

Powyższe metody, pomimo dużej dokładności pomiarowych, charakteryzują się tym, że wykonywane są okresowo, a na końcowy wynik pomiaru duży wpływ ma rzetelność pobrania próbki oraz dobór czasu i miejsca pomiaru [1].

Scharakteryzowana w niniejszym artykule optyczna metoda ciągłego pomiaru zapylenia, mimo mniejszej dokładności w porównaniu z metodą grawimetryczną, pozbawiona jest ww. wad oraz daje pełny obraz badanego (mierzonego) zjawiska, jakim jest zapylenie powietrza.

2. STACJONARNY PYŁOMIERZ OPTYCZNY PŁ-2

2.1. Fizyczna zasada pomiaru

Pyłomierz PŁ-2 jest urządzeniem optycznym pracującym w oparciu o zjawisko rozproszenia światła na cząstkach pyłu. Fizyczna zasada działania oparta jest na tzw. efekcie Tyndalla, polegającym na rozpraszaniu promieniowania świetlnego o stałej długości fali na roztworze koloidalnym, którym w tym przypadku jest mieszanina pyłu węglowego i powietrza.

Efekt Tyndalla opisany jest następującą zależnością [5]:

$$I(\theta) = I_0 \left(\frac{8\pi^4 N V a^2}{\lambda^4 R^2} \right) (1 + \cos^2 \theta) \quad (1)$$

gdzie:

$I(\theta)$ – natężenie światła rozproszonego,

I_0 – natężenie światła padającego,

R – odległość od rozpraszanej objętości,

V – rozpraszana objętość,

λ – długość fali promieniowania rozpraszanego,

N – liczba cząstek rozpraszających w jednostce objętości,

a – polaryzowalność cząstek rozpraszających,

θ – kąt pomiędzy promieniem światła padającego i rozproszonego.

Z zależności tej wynika, że główny wpływ na wartość natężenia światła rozproszonego na cząstkach pyłu ma długość fali światła padającego, odległość od rozpraszanej objętości oraz kąt pomiędzy promieniem światła padającego i rozproszonego.

W oparciu o te zależności opracowana została unikalna komora pomiarowa, która wyposażona w odpowiednie układy optyczne i elektroniczne umożliwia ciągły pomiar stanu zapylenia powietrza pyłem węglowym.

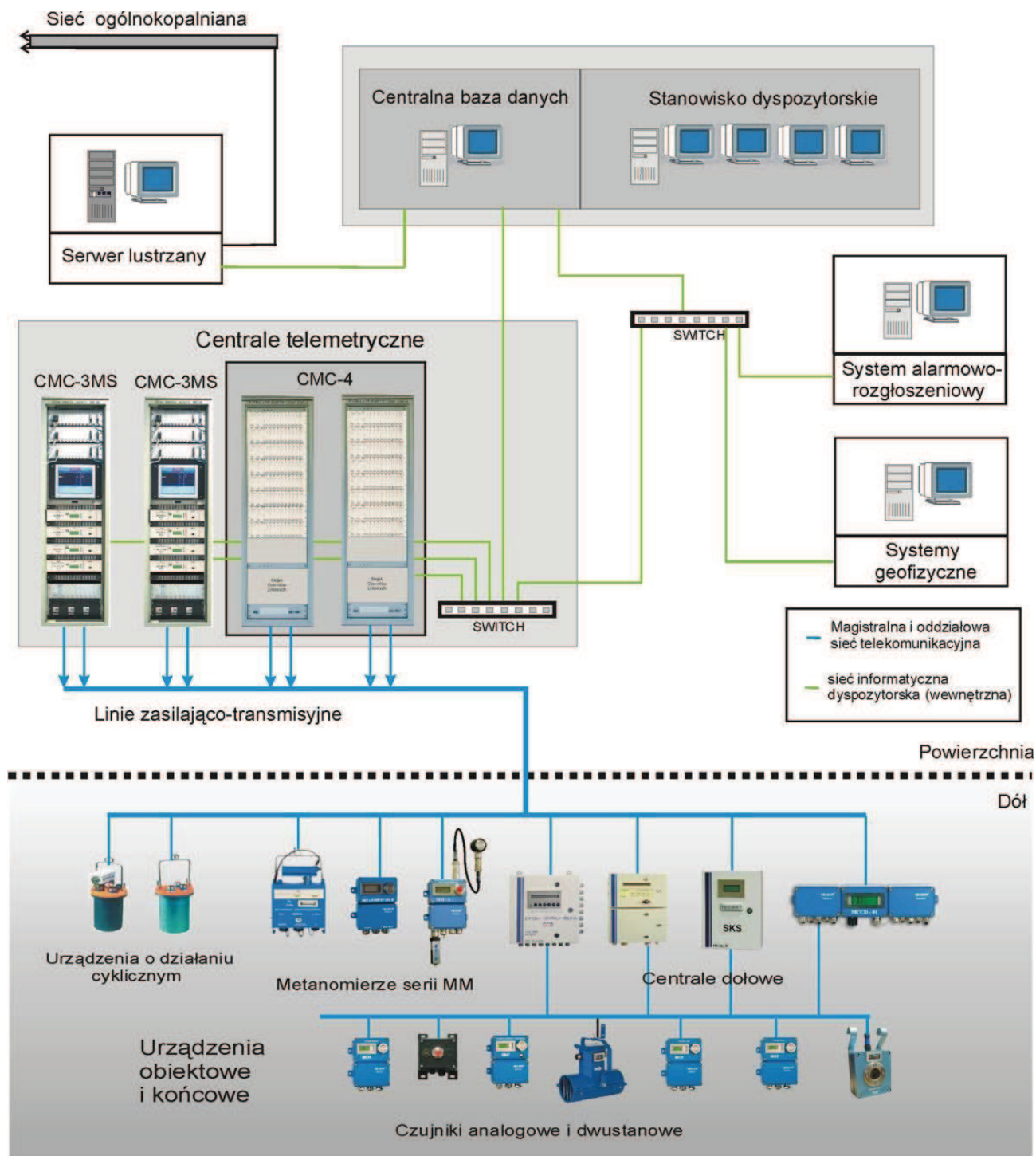
2.2. Charakterystyka pyłomierza PŁ-2

Pyłomierz PŁ-2 (rys. 1) pracuje w zakresie 0÷100 mg/m³ (TYP PŁ-2/100) lub od 0÷50 mg/m³ (TYP PŁ-2/50), co jest związane z jego odpowiednią kalibracją. W pyłomierzu, jako źródło światła wykorzystano diodę promieniowania podczerwonego. Intensywność rozproszonego na cząstkach pyłu promieniowania mierzona jest za pomocą fotodetektora pracującego również w tym samym zakresie częstotliwości promieniowania [3].

Pyłomierz PŁ-2 jest przeznaczony do ciągłego pomiaru i rejestracji stężenia pyłu respirabilnego (średnica cząstek pyłu do ok. 8 μm) w powietrzu przy pracy maszyn urabiających, w punktach przespawnych, na trasach transportu urobku i ogólnie procesów pyłotwórczych. Bieżące zapylenie powietrza w miejscu zainstalowania odczytać można z wyświetlacza ciekłokrystalicznego znajdującego się na płycie czołowej, natomiast napięciowy sygnał wyjściowy, za pośrednictwem centrali dołowej przekazywany jest do systemu typu SMP-NT, gdzie jest rejestrowany. Sygnały wyjściowe z pyłomierza PŁ-2 mogą służyć również do obliczania w systemie metanowo-pożarowym SMP-NT/A ilości pyłu osiadłego w danym rejonie kopalni w określonym przedziale czasowym.



Rys. 1. Pyłomierz PŁ-2



Rys. 2. Struktura urzędzeniowa systemu SMP-NT realizująca funkcje automatycznych zabezpieczeń metanowych i kontroli wentylacji w wybranych obszarach kopalni

2.3. System ciągłego monitorowania

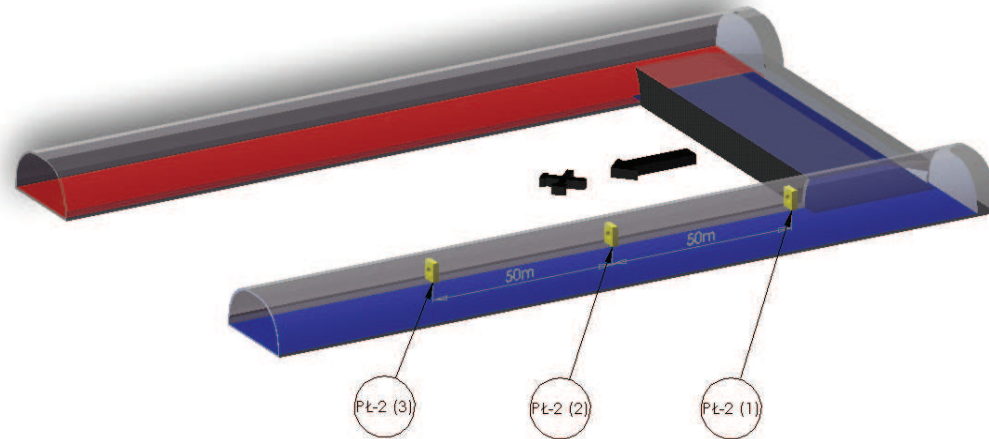
W najogólniejszym ujęciu system typu SMP-NT (rys. 2) umożliwia prowadzenie niezawodnej kompleksowej kontroli parametrów środowiska kopalnianego na podstawie pomiarów parametrów fizycznych i składu chemicznego powietrza oraz stanu i parametrów pracy zainstalowanych w kopalni urządzeń wentylacyjnych [4].

Przyjęto, że w warstwie podstawowej, na poziomie urządzeń dołowych i centrali telemetrycznej czujniki zapylenia są obsługiwane na podobnych zasadach jak pozostałe czujniki analogowe stosowane w tym systemie. Na podstawie danych pomiarowych z pyłomierzy i z urządzeń pracujących w systemie SMP-NT, gromadzonych w bazach stacji dyspozytorskiej, wykonywane są wszystkie obliczenia pozwalające na określenie stanu zapylenia w kontrolowanych rejonach kopalni.

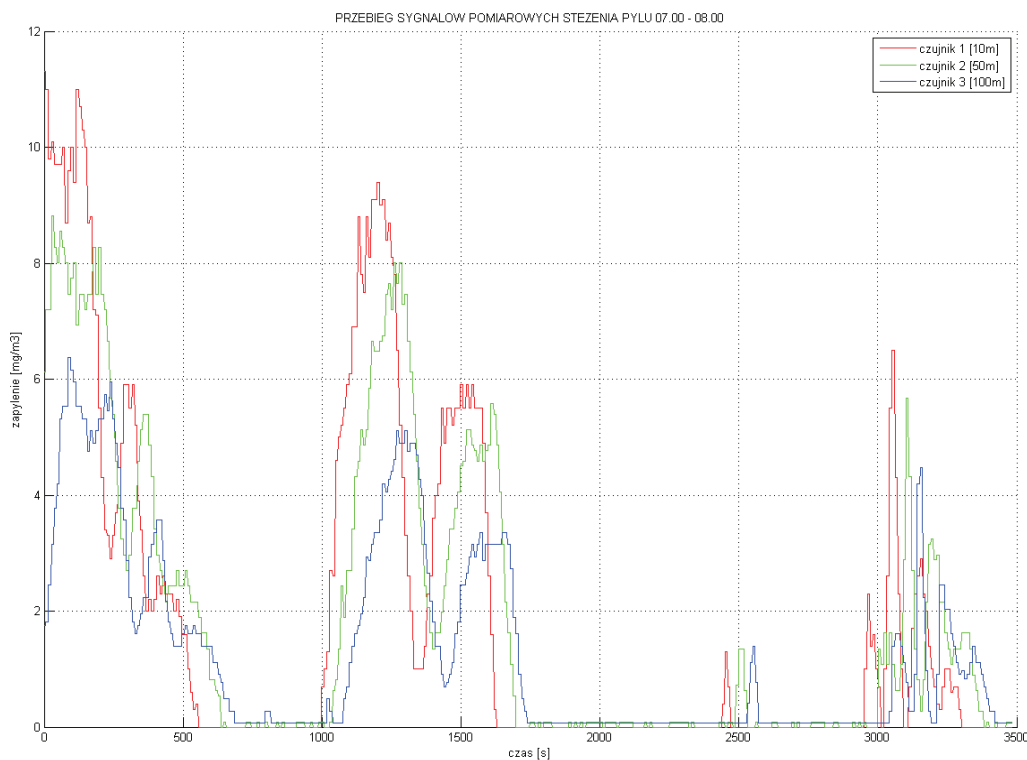
3. WYNIKI POMIARÓW

Przedmiotem badań były pomiary zapylenia w rejonie maszyn urabiających. Badania te przeprowadzono w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem pyłomierzy PŁ-2 pracujących w systemie SMP-NT. Schemat rozmieszczenia czujników przedstawiony został na rysunku 3.

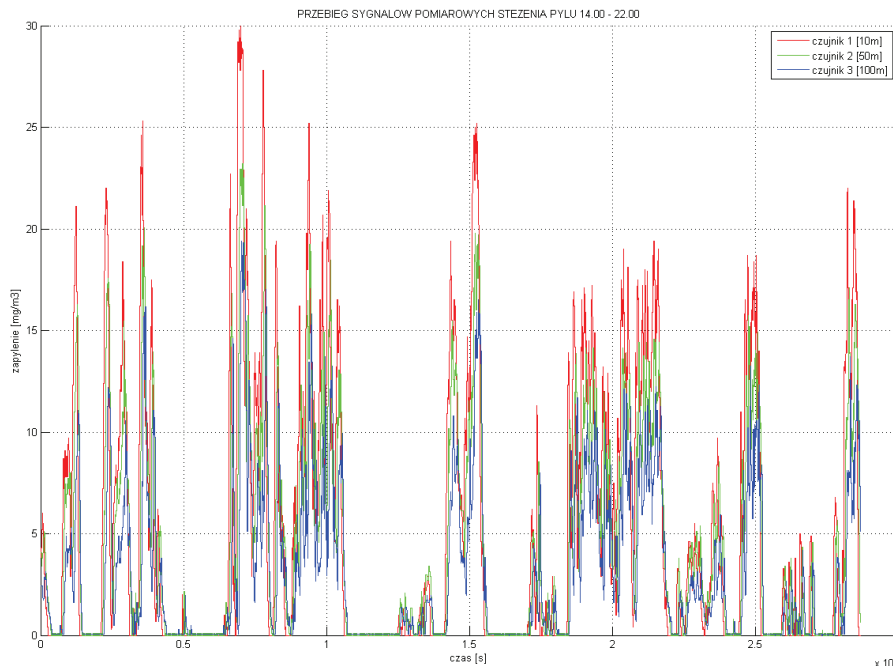
Wyniki badań [3] prezentowane są (rys. 4a,b) w postaci wykresów wielkości mierzonej dla zastosowanych pyłomierzy. Wykresy prezentują godzinną oraz ośmiogodzinną zależność stężenia pyłu mierzonego przez dany pyłomierz, w stosunku do czasu. Przebiegi rejestrowane były w wyznaczonych punktach: 10, 50 i 100 metrów od wylotu ze ściany, w której węgiel urabiano kombajnem.



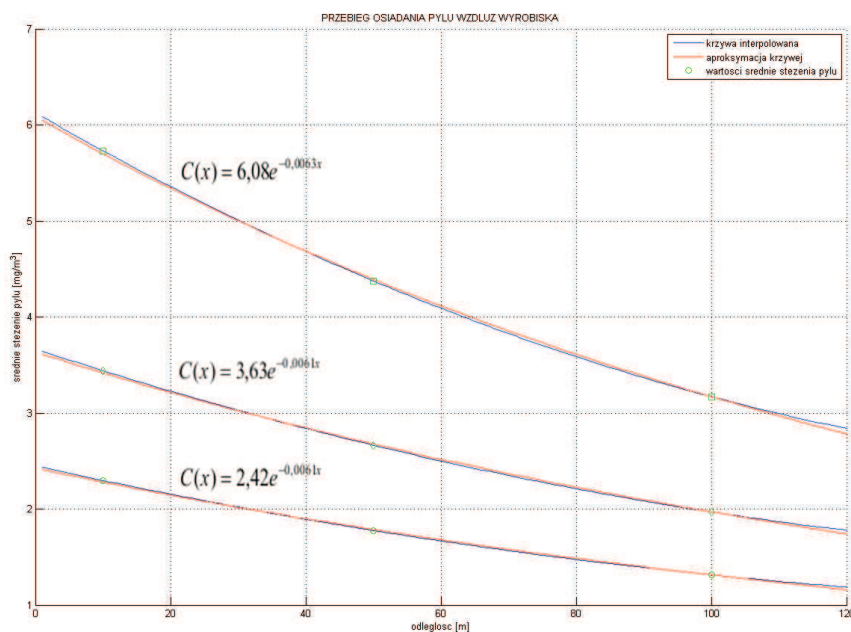
Rys. 3. Schemat rozmieszczenia pyłomierzy PŁ-2



Rys. 4a. Stężenie pyłu zmierzone przez pyłomierze PŁ-2 kolejno w odległości 10, 50 i 100 metrów od ściany w okresie jednej godziny, na zmianie rannej obłożonej do wydobycia



Rys. 4b. Stężenie pyłu zmierzone przez pyłomierze PŁ-2 kolejno w odległości 10, 50 i 100 metrów od ściany w okresie ośmiu godzin, na zmianie popołudniowej obłożonej do wydobywania



Rys. 5. Rozkłady stężenia pyłu w wyrobisku

4. OCENA ZAGROŻENIA

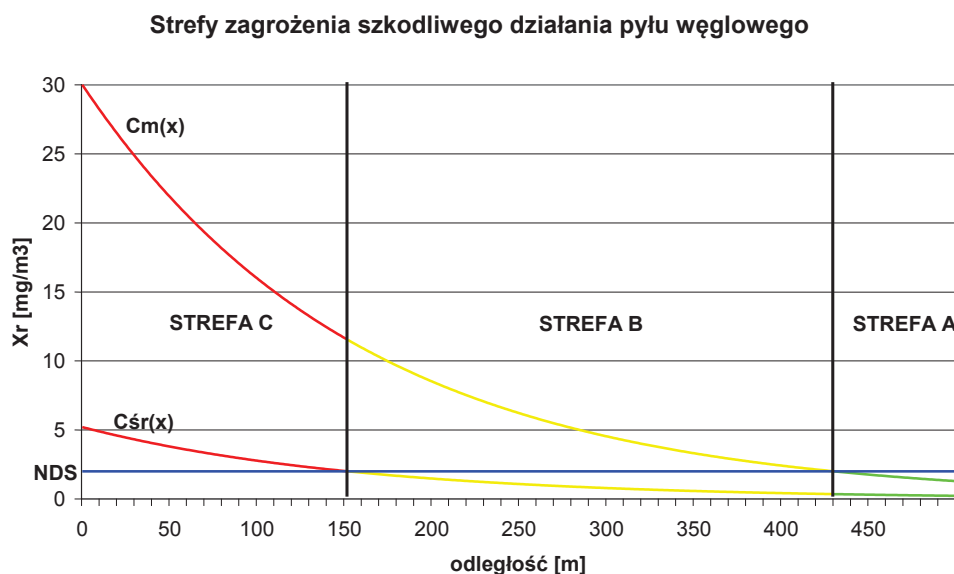
$$C(x) = A \cdot \exp^{-bx} \tag{2}$$

Analiza zarejestrowanych podczas badań sygnałów z pyłomierzy, dzięki zastosowaniu numerycznych metod obróbki sygnałów, wykazała że zapylenie powietrza w chodniku można opisać funkcją matematyczną. W ten sposób powstał model rozkładu stężenia pyłu w wyrobisku górniczym, który w ogólnej postaci opisany jest następującą funkcją [3]:

gdzie:

- A – wartość stężenia pyłu w wybranym punkcie dla ustalonej chwili,
- b – współczynnik osiadania pyłu,
- x – odległość od źródła zapylenia.

Na rysunku 5 przedstawione zostały trzy przykładowe rozkłady stężenia pyłu w wyrobisku.



Rys. 6. Graficzna interpretacja wyznaczania stref zagrożenia szkodliwego działania pyłu

Bieżące wyniki pomiarów uzupełnione o wyznaczony dla danego wyrobiska model rozkładu stężenia może służyć do oceny efektywności działania urządzeń odpylających, oceny stanu narażenia pracowników na szkodliwe działanie pyłu węglowego oraz do oceny zagrożenia wybuchem pyłu osiadłego.

4.1. Ocena efektywności działania urządzeń odpylających

Średnie wartości zapylenia powietrza nie pokazują, z jaką efektywnością działają urządzenia zraszające zainstalowane na kombajnie. Ich efektywność może być tylko oceniana na podstawie wartości zapylenia powietrza w okresach pełnej pracy kombajnu. Z przedstawionych przebiegów (rys. 4.) można stwierdzić, że układ zraszania zainstalowany na kombajnie w badanej ścianie nie jest dostatecznie efektywny. Jak więc widać, do oceny efektywności działania urządzeń odpylających w zupełności wystarczają bieżące przebiegi stężenia pyłu rejestrowane w systemie, a uzupełnione o wyliczone wartości średnie za dany okres (np. za jedną zmianę) dają one pełną informację o ich aktualnym stanie pracy [3].

4.2. Ocena zagrożenia dla zdrowia

Dla określenia długotrwałego narażenia na zapylenie występujące w danym miejscu wyrobiska należy – na podstawie bieżących pomiarów – wyznaczyć:

- wartości maksymalne przebiegów stężeń dla poszczególnych stanowisk pomiarowych,
- wartości średnie przebiegu stężeń dla poszczególnych stanowisk pomiarowych w wyrobisku wylotowym,

- rozkład stężeń maksymalnych wzdłuż wyrobiska wylotowego,
- rozkład stężeń średnich wzdłuż wyrobiska wylotowego.

W ten sposób otrzymujemy dwa rozkłady stężenia pyłu, które stanowią kryterium do oceny zagrożenia [3]:

$$\begin{cases} C_M(x) = A_M \cdot \exp^{-bx} \\ C_{sr}(x) = A_{sr} \exp^{-bx} \end{cases} \quad (3)$$

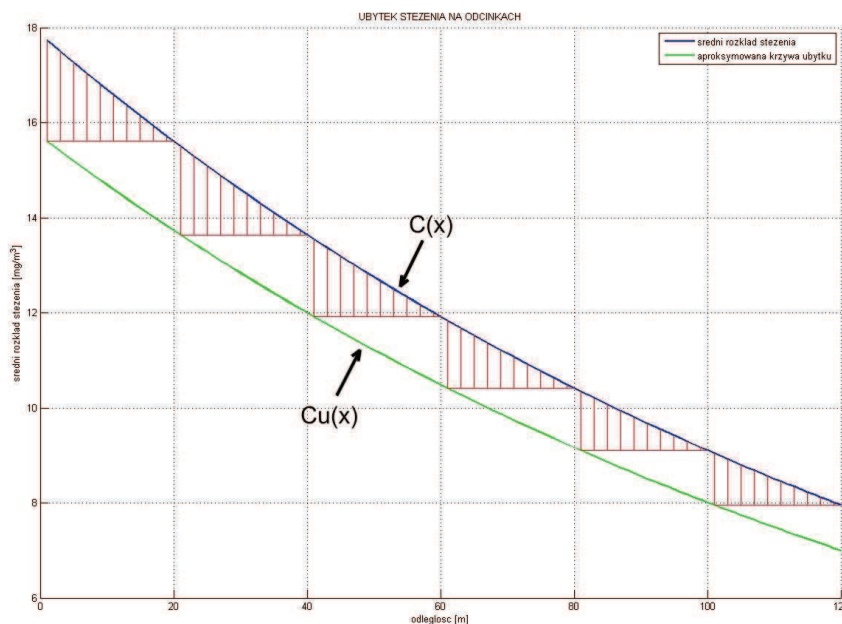
Porównując wartości zapylenia powietrza z NDS zapylenia otrzymujemy następujący podział na strefy:

Strefa A – $C_M(x) < NDS$ i $C_{sr}(x) < NDS$,
 Strefa B – $C_M(x) > NDS$ i $C_{sr}(x) < NDS$,
 Strefa C – $C_M(x) > NDS$ i $C_{sr}(x) > NDS$.

W poszczególnych strefach należy wprowadzić różne środki zabezpieczeń dla ludzi oraz odpowiednie normy dotyczące czasu pracy. Graficzna interpretacja stref zagrożenia przedstawiona została na rysunku 6.

4.3. Ocena zagrożenia wybuchowego

Podstawą do oceny ilości pyłu osiadłego w wyrobisku są średnie rozkłady pyłu zawieszonego w powietrzu. Dla okresu pomiędzy prowadzonymi opylaniami pyłem kamiennym należy obliczyć średni rozkład pyłu zawieszonego. Na podstawie tego rozkładu należy obliczyć rozkład ubytku stężenia pyłu. Rozkład ubytku, tzw. krzywa ubytku (rys. 7.) daje informacje ile pyłu zawieszonego w powietrzu ubywa wraz z odległością od źródła zapylenia [3].



Rys. 7. Rozkład ubytku stężenia pyłu zawieszonego w powietrzu

Na podstawie ubytku stężenia pyłu w uśrednionym czasie można wyliczyć rozkład masy pyłu osiadłego respirabilnego dla krótkiego okresu oraz wydatku przepływu V (m^3/h) wg wzoru:

$$M_{OR} = C_{U_{sr}}(x) \cdot t \cdot V \quad (4)$$

Uwzględniając zależność między zawartością frakcji respirabilnej do zawartości frakcji całkowitej pyłu, wyznaczamy rozkład masy pyłu całkowitego.

$$M_{OC} = M_{OR} \cdot z \quad (5)$$

Wartość z oznacza współczynnik przeliczeniowy pomiędzy zawartością frakcji respirabilnej pyłu a zawartością frakcji całkowitej, który wyznaczany jest eksperymentalnie dla każdego wyrobiska oddzielnie. Jest to stosunek zmierzonej pyłomierzem grawimetrycznym wartości pyłu całkowitego za dany okres do wartości średniej zapylenia zarejestrowanego przez pyłomierz optyczny za ten sam okres.

$$z = \frac{X_{całkowi}}{X_{sr \text{ optyczny}}} \quad (6)$$

Wartość tego współczynnika zależy w głównej mierze od właściwości fizycznych urabianego węgla i jest wyznaczany eksperymentalnie dla każdego wyrobiska oddzielnie.

Powyższa metoda obliczania masy pyłu osiadłego w wyrobisku odnosi się do stosunkowo krótkich przedziałów czasu, przy których postęp ściany wydobywczej może być pominięty.

Natomiast przy długich okresach (powyżej jednego dnia), gdzie należy uwzględnić postęp ściany, pył

osiadły w wybranym punkcie wyrobiska jest kumulowany. Oznacza to, że do obliczenia masy pyłu osiadłego z uwzględnieniem postępu ściany, rozkłady powinny być odpowiednio sumowane.

5. PODSUMOWANIE

Metoda ciągłego pomiaru zapylenia powietrza w porównaniu do obecnie stosowanych metod umożliwia szerszą ocenę stanu zapylenia w wyrobisku. Zarejestrowane sygnały pozwolą na bieżącą analizę zagrożeń pyłowych, szczególnie przez możliwość obliczenia parametrów długotrwałych, mających charakter oddziaływania kumulacyjnego na zdrowie pracowników kopalni oraz na niebezpieczeństwo wybuchu pyłu.

Literatura

1. Lebecki K.: „Charakterystyka zagrożenia pyłowego oraz wytyczne badania rozkładu pyłu w rejonach maszyn urabiających” – Opracowanie do projektu badawczego Nr 4 T12A 003 30, GIG Mikołów 2006.
2. Dokumentacja projektu badawczego Nr 9 T12A 031 24 pt.: „Badania zagrożeń pyłowych w kopalniach węgla kamiennego na podstawie ciągłego monitorowania zapylenia powietrza” – Katowice 2003+2005.
3. Dokumentacja projektu badawczego Nr 4 T12A 003 30 pt.: „Ciągły monitoring i analiza rozkładów stężenia pyłów generowanych przez maszyny urabiające” – Katowice 2006+2009.
4. Dokumentacja pt.: „System SMP-NT/A, Monitorowania Parametrów Środowiska w Kopalni, Opis techniczny” – Zdzisław Krzyżanek – Katowice 2008.
5. P. Atkins J. de Paula: Physical Chemistry for the Life Sciences, Oxford University Press, Oxford, 2006.