

## **Modelowanie mechanizmu gromadzenia wybuchowego pyłu węglowego w strefach zabezpieczających**

### *Streszczenie*

W artykule przedstawiono zależności pomiędzy wielkością osiadania pyłu i stężeniem pyłu generowanego w procesie urabiania i transportu węgla. Do przedstawienia tych zależności wykorzystano pomiary kopalniane pyłu osiadłego na płytkach pomiarowych, umieszczonych w górnych partiach wyrobisk na lewych i prawych ociosach oraz stężenia pyłu, zmierzone za pomocą pyłomierza optycznego PŁ-2. Pomiary przeprowadzono w strefach zabezpieczających wyrobisk chodnikowych KWK Brzeszcze w ramach projektu MEZAP dofinansowanego przez NCBiR. Wykonanie obu rodzajów pomiarów umożliwiło porównanie ich i określenie relacji między nimi. Zaproponowano modele empiryczne opracowane na podstawie badań w warunkach eksploatacyjnych. Opracowane modele mogą być wykorzystane do bieżącej oceny zagrożenia wybuchem pyłu węglowego oraz podejmowania działań profilaktycznych.

### *Summary*

The paper presents relations between intensity of dust deposition and concentration of dust generated in cutting process and coal conveying. Coal mine measurements of dust deposited on measuring plates located on top left and right sidewalls of mine workings were used to present these relations. Measurements of dust concentrated made with dust meter PŁ-2 were used to present these relations as well. Measurements were taken in protective zones of mine workings Brzeszcze mine within framework MEZAP co-financed by The National Centre for Research and Development (NCBR). Conducting of both types of measurements enabled its comparison and determining its relations. Empirical models prepared basing on tests in situ were described. Developed models may be used to in-progress assessment of coal dust explosion hazard as well as to undertake prevention.

**Słowa kluczowe:** górnictwo, zwalczanie zapylenia, modelowanie, pył

**Keywords:** mining industry, dust control, modelling, dust

---

### **1. Wstęp**

Projekt badawczy MEZAP pt. „Modelowanie mechanizmu gromadzenia się wybuchowego pyłu węglowego w pobliżu frontów eksploatacyjnych w aspekcie identyfikacji, oceny i niwelacji możliwości powstania jego wybuchu”, dofinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju i realizowany przez Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Główny Instytut Górnictwa oraz Kompanię Węglową S.A. miał na celu opracowanie modelu strefy zabezpieczającej, w której wykorzystano aerozol powietrzno-wodny dla zabezpieczenia przed możliwością powstania i przeniesienia wybuchu. W wyniku projektu wykonano badania wielkości osiadania pyłu w aspekcie zmian stężenia pyłu w powietrzu w strefach zabezpieczających wyrobisk górniczych w KWK Brzeszcze. Strefy zabezpieczające tworzone są poprzez neutralizację wybuchowego pyłu węglowego z użyciem wody lub pyłu kamiennego [1, 2] na całym obszarze wyrobiska chodnikowego. Wielkość gromadzenia się pyłu w wyrobisku decyduje o częstotliwości wykonywania stref zabezpieczających i ilości materiału do jej wytworzenia [3, 4].

Na ilość pyłu węglowego osiadłego w strefie zabezpieczającej wpływa m.in.: wielkość eksploatacji, rodzaj zastosowanych narzędzi urabiających, prędkość i kierunek przewietrzania, oraz wielkość transportu. Czynniki te mogą ulegać zmianom, stąd istotne jest poznanie mechanizmów i zależności osiadania pyłu.

Brak rozwiązań, które umożliwiają bieżącą ocenę wielkości osiadania wybuchowego pyłu węglowego był podstawą podjęcia prac badawczych w ramach projektu MEZAP.

### **2. Pomiary w strefach zabezpieczających w warunkach KWK Brzeszcze**

Badania wielkości osiadania wybuchowego pyłu węglowego oraz stężenia pyłu w powietrzu przeprowadzono w czterech wyrobiskach objętych strefą zabezpieczającą:

- chodnik wentylacyjny ściany I,
- chodnik wentylacyjny ściany II,
- przekop badawczy,
- pochylnia badawcza.

W każdym z wyznaczonych wyrobisk wykonano pomiary wielkości osiadania pyłu na płytkach pomiarowych oraz pomiary stężenia pyłu w powietrzu z użyciem pyłomierzy optycznych zgodnie z metodyką badań [7].

Pomiary pyłu osiadłego wykonano w dziesięciu przekrojach strefy zabezpieczającej. Na każdym przekroju zainstalowano po 9 płytek pomiarowych rozłożonych na obrysie wyrobiska. Badania obejmowały m.in. pomiar: pyłu węglowego, pyłu kopalnianego (węglowy + kamienny), frakcji poniżej 20  $\mu\text{m}$ , udziału części niepalnych. Masę pyłu całkowitego wyrażono w  $\text{g}/\text{m}^3/\text{doba}$ . Równocześnie z pomiarami wielkości osiadania pyłu w każdym z badanych wyrobisk chodnikowych nich mierzono stężenie pyłu pyłomierzami optycznymi. Średnie stężenie pyłu w powietrzu wyrażano w  $\text{g}/\text{m}^3$ .

Pomiary powtarzano dwukrotnie, a wyniki pomiarów uśredniono poprzez wyznaczenie średniej arytmetycznej dla każdego punktu pomiarowego. Wielkość odchylenia wartości średniej od wyniku pomiaru, dla żadnego punktu nie przekraczała 5%. Metodykę i przebieg badań opisano szczegółowo w pracach [5, 6].

Maksymalna, sumaryczna wielkość osiadania pyłu węglowego osiągnęła ok. 19  $\text{g}/\text{m}^3/\text{doba}$ , przy wielkości osiadania pyłu kopalnianego ok. 25  $\text{g}/\text{m}^3/\text{doba}$ . Największe zmierzone średnie stężenie pyłu w powietrzu nie przekroczyło 16  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

Zmierzona prędkość w każdym z wyrobisk wynosiła 2,0 m/s i wzrastała lokalnie do 2,5 m/s w przypadku zmniejszenia się przekroju wyrobiska. Kierunek przepływu powietrza był taki sam we wszystkich analizowanych przypadkach, tzn. od źródła powstawania pyłu w kierunku końca strefy zabezpieczającej.

### 3. Analiza wyników badań

Wyniki pomiarów wykonanych za pomocą obu metod opisano za pomocą funkcji wykładniczych. Umożliwiło to lepsze zobrazowanie kształtowania się obu rodzajów charakterystyk związanych z przemieszczaniem się pyłu w wyrobisku na całej długości strefy zabezpieczającej.

Zaobserwowano spadek wielkości osiadania w górnych partiach wyrobisk z równoczesnym spadkiem stężenia pyłu, wraz z oddalaniem się od źródła zapylenia. Zaburzenia wielkości przekrojów wyrobiska uwzględniano poprzez wyrażenie wielkości osiadania pyłu oraz stężenia pyłu w odniesieniu do 1  $\text{m}^3$  wyrobiska.

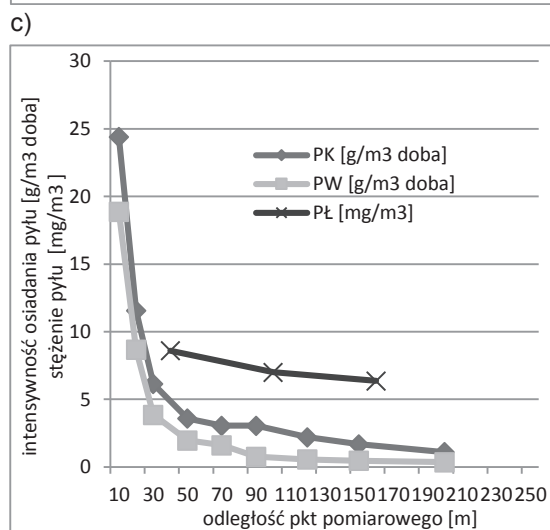
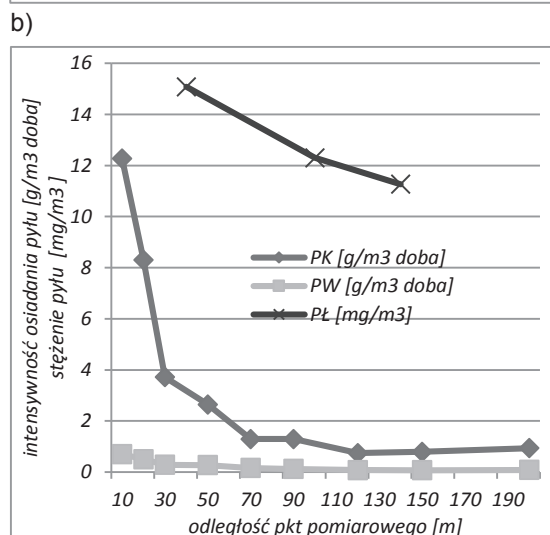
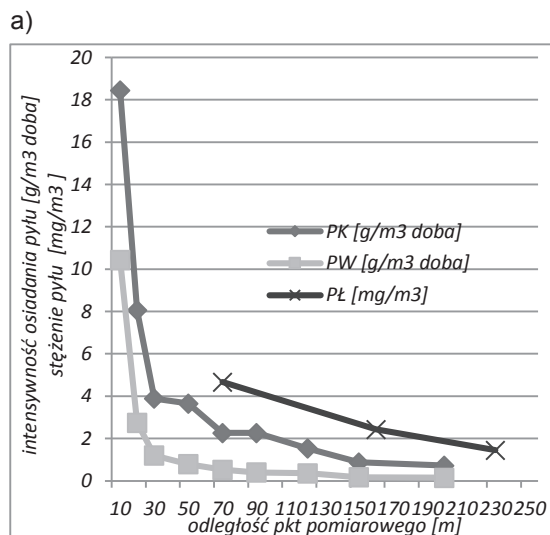
Rysunek 1 przedstawia wyniki pomiarów zapylenia w powietrzu i jego wielkości osiadania w strefie zabezpieczającej, gdzie:

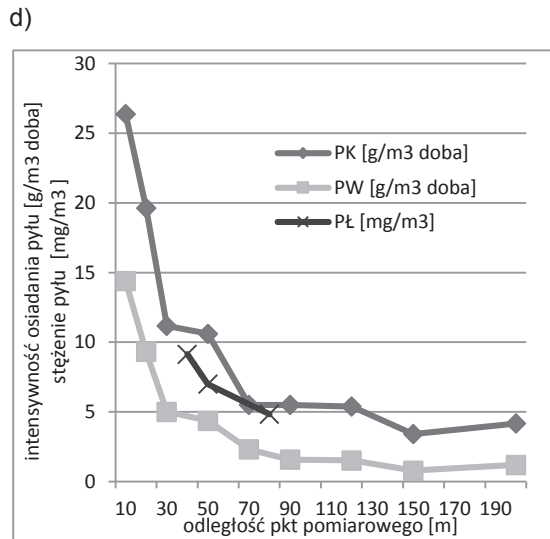
dla określenia mierzonych wielkości użyto skrótów oznaczających odpowiednio:

PK – pył kopalniany osiadły (kamienny + węglowy),

PW – pył węglowy

PŁ – pył całkowity (kamienny + węglowy) zmierzony pyłomierzem optycznym.





Rys. 1. Wyniki pomiarów stężenia pyłu w powietrzu i jego osiadania w strefie zabezpieczającej:  
a) chodnik wentylacyjny ściany I, b) przekop badawczy,  
c) chodnik wentylacyjny ściany II, d) pochylnia badawcza

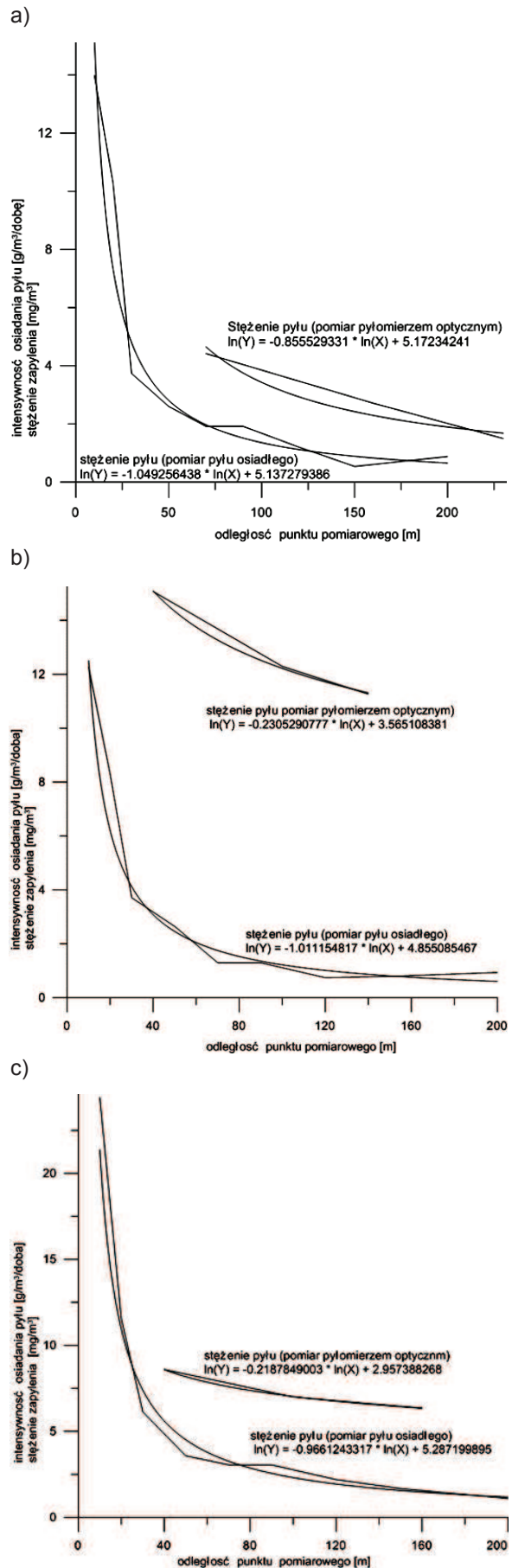
Do opisu otrzymanych wyników badań przyjęto funkcje wykładnicze, za pomocą których, odwzorowano wielkość osiadania pyłu całkowitego oraz stężenia pyłu zmierzonego pyłomierzami optycznymi w analizowanych wyrobiskach (rys. 2).

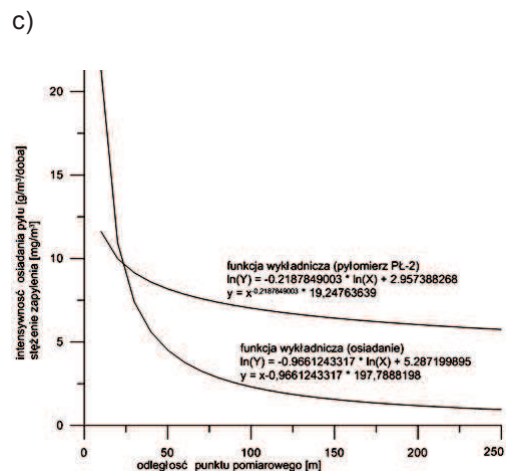
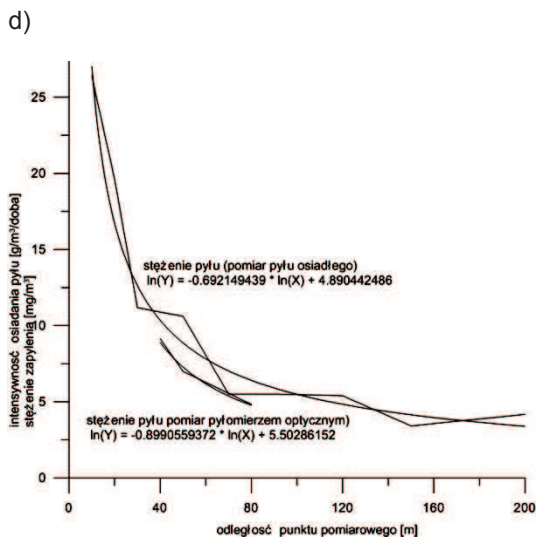
Współczynnik determinacji  $R^2$ , funkcji powiązany jest ze współczynnikiem zbieżności  $\phi^2$  poprzez relację:

$$R^2 = 1 - \phi^2$$

Na wykresach przedstawionych na rysunku 2 opisano wielkości osiadania oraz wielkość stężenia pyłu w powietrzu w poszczególnych wyrobiskach za pomocą funkcji wykładniczych:

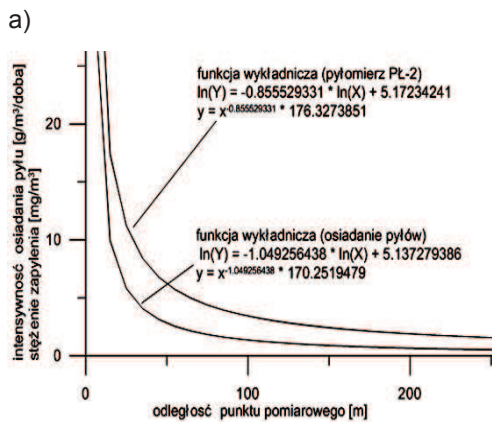
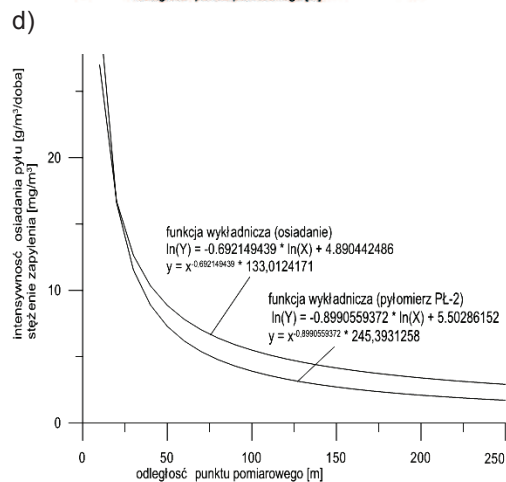
- chodnik wentylacyjny ściany I,  
wielkość osiadania pyłu:  $y = x^{-1.04} * 170$  (1)  
współczynnik determinacji  $R^2=0,94$   
stężenie pyłu:  $y = x^{-0.85} * 176$  (2)  
współczynnik determinacji  $R^2= 0,92$
- przekop badawczy  
wielkość osiadania pyłu:  $y = x^{-1.01} * 128$  (3)  
współczynnik determinacji  $R^2= 0,94$   
stężenie pyłu:  $y = x^{-0.23} * 35$  (4)  
współczynnik determinacji  $R^2= 0,99$
- chodnik wentylacyjny ściany II,  
wielkość osiadania pyłu:  $y = x^{-0.96} * 197$  (5)  
współczynnik determinacji  $R^2= 0,98$   
stężenie pyłu:  $y = x^{-0.21} * 19$  (6)  
współczynnik determinacji  $R^2= 0,99$
- pochylnia badawcza,  
wielkość osiadania pyłu:  $y = x^{-0.69} * 133$  (7)  
współczynnik determinacji  $R^2= 0,94$   
stężenie pyłu:  $y = x^{-0.89} * 245$  (8)  
współczynnik determinacji  $R^2= 0,98$





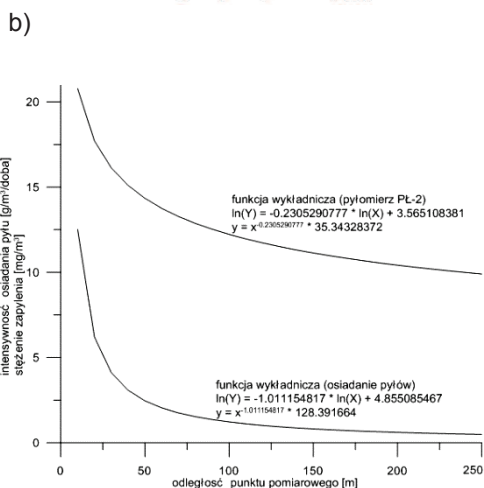
Rys. 2. Zależność wielkości osiadania pyłu od jego stężenia w strefie zabezpieczającej:  
 a) chodnik wentylacyjny ściany I, b) przekop badawczy,  
 c) chodnik wentylacyjny ściany II, d) pochylnia badawcza

Uzyskane funkcje, przedstawione, jako zastępcze równania wykładnicze, wykorzystano do ekstrapolacji wyników badań do granic strefy zabezpieczającej. Dzięki temu możliwe było uwidocznienie zależności pomiędzy stężeniem zapylenia, a wielkością osiadania pyłu w strefie zabezpieczającej. (rys. 3).



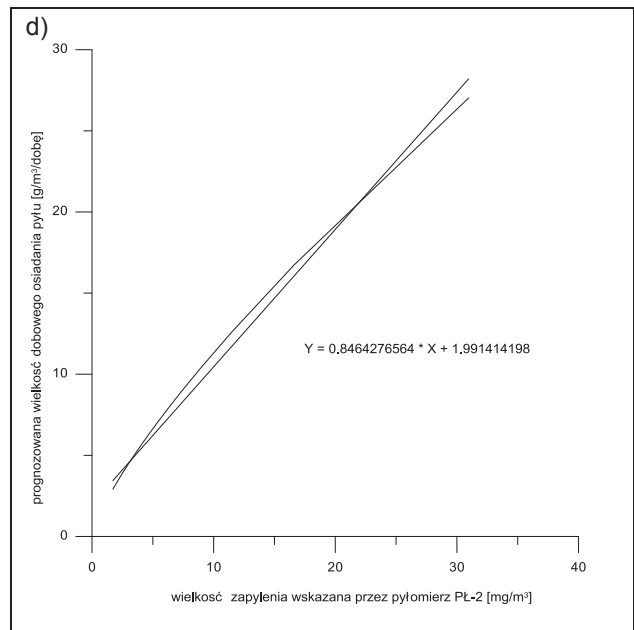
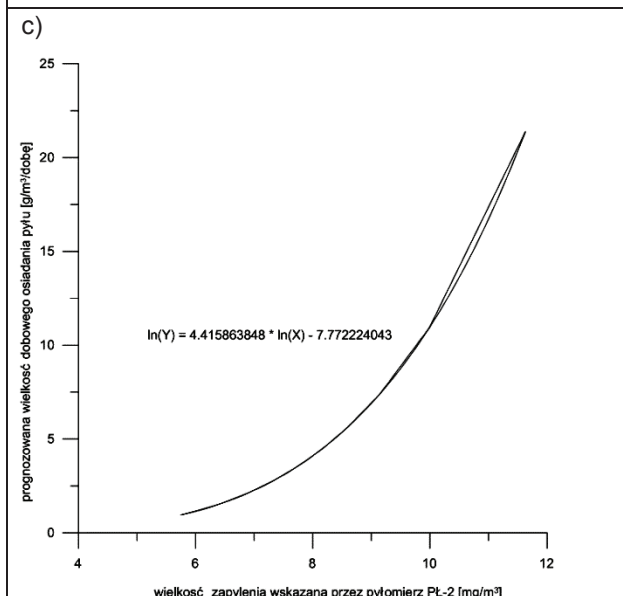
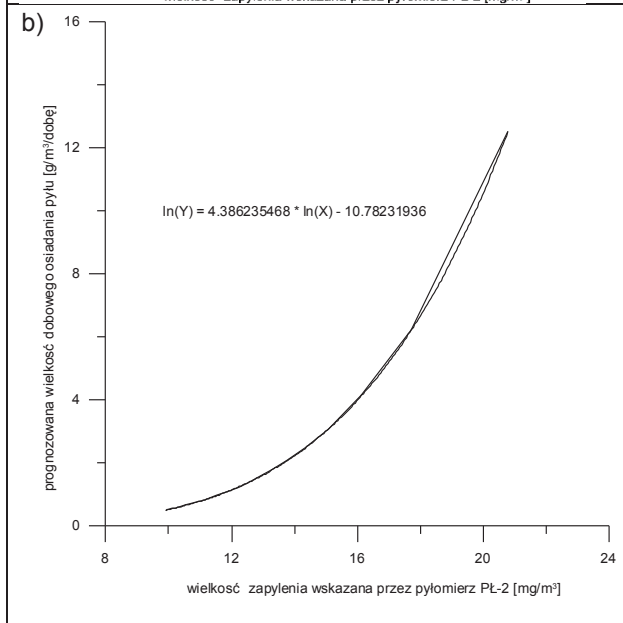
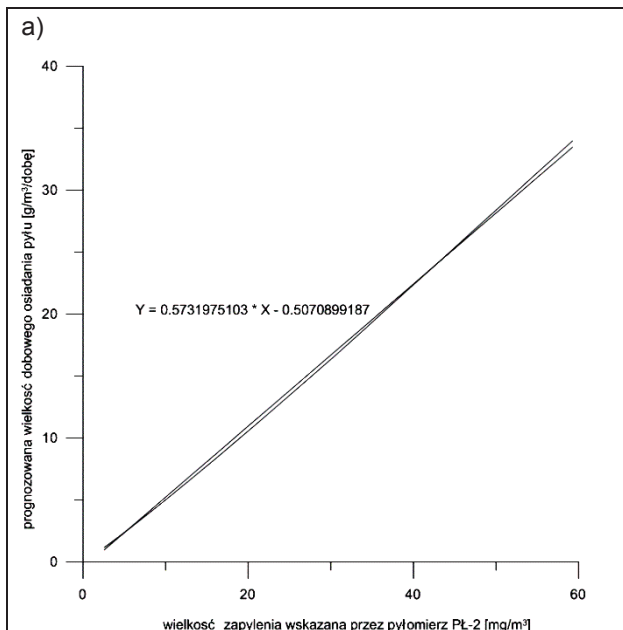
Rys. 3. Ekstrapolacja wyników stężenia pyłu i jego osiadania pyłu w strefie zabezpieczającej:  
 a) chodnik wentylacyjny ściany I, b) przekop badawczy,  
 c) chodnik wentylacyjny ściany II, d) pochylnia badawcza

W celu oceny wielkości osiadania w strefie zabezpieczającej za pomocą stężenia pyłu, dokonano graficznego zobrazowania zależności funkcyjnej uzyskanych charakterystyk do postaci jednej funkcji wykładniczej. Zależności te mogą posłużyć do przewidywania wielkości osiadania i rozkładu pyłu w strefie zabezpieczającej poprzez wskazania pyłomierzy optycznych umieszczonych w wyrobisku.



Wykorzystując opracowane równania wykładnicze, dla każdego z ekstrapolowanych przypadków, wyznaczono charakterystyki zastępcze wielkości osiadania pyłu w funkcji jego stężenia w powietrzu (rys. 4):

- a) w chodniku wentylacyjnym ściany I:  $Y = X^{-0.51} \cdot 0,57$
- b) w przekopie badawczym:  $Y = X^{4.4} \cdot 2,07 \cdot 10^{-0,05}$
- c) w chodniku wentylacyjnym ściany II:  $Y = X^{4.42} \cdot 0.0004$
- d) w pochylni badawczej:  $Y = X^2 \cdot 0,85$



Rys. 4. Charakterystyki zastępcze wielkości osiadania pyłu w zależności od stężenia pyłu w powietrzu: a) chodnik wentylacyjny ściany I, b) przekop badawczy, c) chodnik wentylacyjny ściany II, d) pochylnia badawcza.

Na podstawie określonych modeli empirycznych można stwierdzić, że w przypadku chodnika wentylacyjnego, ściany I oraz przekopu badawczego przyrost wartości osiadania pyłu były dwukrotnie wyższe od jego stężenia niż w przypadku chodnika wentylacyjnego II oraz pochylni badawczej oraz wielkość w którym przyrost wartości osiadania pyłu oraz jego stężenia w powietrzu były porównywalne.

Przedstawione modele empiryczne są modelami uproszczonymi. Oparto je o dane pomiarowe uzyskane w różnych warunkach eksploatacji w trzech różnych pokładach KWK Brzeszcze. Modele uwzględniają wielkość i rodzaj pyłu oraz jego rozkład w wyrobisku, prędkość powietrza oraz wielkość przekroju poprzecznego wyrobiska. W analizie pominięto zmiany kształtu wyrobiska, wilgotność powietrza i pyłu oraz typ węgla.

Przedstawione w artykule modele empiryczne opisujące zależności pomiędzy wielkością osiadania pyłu i jego stężeniem w powietrzu dają możliwości oceny wielkości zagrożenia wybuchem pyłu węglowego i mogą stanowić narzędzie do oceny zagrożenia wybuchem pyłu węglowego. Można je również wykorzystać do określenia działań profilaktycznych w zakresie częstotliwości odnawiania i ilości materiału do odnowienia stref zabezpieczających. Możliwość taka istnieje, z uwagi na funkcję wykonywania ciągłego pomiaru przez pyłomierz optyczny. Pyłomierz posiada funkcję rejestracji i przesyłania danych na powierzchnię do dyspozytorni lub układu magazynującego czy też przetwarzającego informacje o zmianach i wielkości zapylenia w powietrzu kopalnianym. Pyłomierz może

---

zostać sprzężony z urządzeniem odpylającym lub zraszającym. Może być również podłączony do urządzenia sygnalizującego konieczność odnowienia strefy zabezpieczającej.

#### 4. Podsumowanie

Właściwe wykonywanie stref zabezpieczających wymaga wiedzy w zakresie wielkości osiadania pyłu na całej jej długości. Przekroczenie określonego poziomu nagromadzenia osiadłego pyłu powinno być sygnałem do podjęcia środków zapobiegawczych w celu utrzymania właściwego poziomu bezpieczeństwa pracy.

Ocena wielkości osadzania się wybuchowego pyłu węglowego, możliwa jest na podstawie pomiaru stężenia pyłu w powietrzu będącego wynikiem procesu urabiania oraz czynników związanych z procesem wydobywczym, tj.: wentylacja oraz warunki górniczo-geologiczne. Przeprowadzone badania pozwoliły określić wielkość osiadania pyłu w zależności od jego stężenia w powietrzu w wyrobiskach z utrzymywaną strefą zabezpieczającą.

Interpolacja (ekstrapolacja) wyników badań w postaci matematycznej i graficznej obrazuje prognozowany rozkład przemieszczania i gromadzenia się pyłu w strefach zabezpieczających. Uzyskane zależności mogą być podstawą do określenia kryteriów tworzenia stref zabezpieczających oraz podejmowania działań zwiększających bezpieczeństwo pracy w aspekcie zagrożenia wybuchu pyłu węglowego.

Opracowane modele empiryczne są modelami uproszczonymi i jako takie nie nadają się do zastosowania w innych warunkach niż te na podstawie, których zostały opracowane. Stanowią jednak podstawę do prac nad uogólnieniem i opracowaniem modelu uniwersalnego.

#### Literatura

1. Amyotte P.: Solid inertants and their use in dust explosion prevention and mitigation *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2006, nr 19 (2–3), s. 161–173.
2. Amyotte P. (2006) Solid inertants and their use in dust explosion prevention and mitigation
3. Cybulski K.: Assessment criteria of protective zones against coal dust explosions. *Archives of Mining Sciences*, 2004, nr 49 4, s. 477-493.
4. Cybulski K., Malich B.: Zabezpieczenia przed wybuchem pyłu węglowego. *Mega-Industry. Metalurgia-Energetyka-Górnictwo-Automatyka*, 2006, nr 2.
5. Echhoff R.: *Dust explosion in the Process Industries*. Elsevier Science, 2003.
6. Malich B. i in.: Projekt MEZAP. Modelowanie mechanizmu gromadzenia się wybuchowego pyłu węglowego w pobliżu frontów eksploatacyjnych w aspekcie identyfikacji, oceny i niwelacji możliwości powstania jego wybuchu, 2013, nr PBS1/B2/4/2012. Zadanie 6.
7. Prostański D. i in.: Projekt MEZAP. Modelowanie mechanizmu gromadzenia się wybuchowego pyłu węglowego w pobliżu frontów eksploatacyjnych w aspekcie identyfikacji, oceny i niwelacji możliwości powstania jego wybuchu, 2014, nr PBS1/B2/4/2012. Zadanie 7.
8. Prostański D.: Experimental study of coal dust deposition in mine workings with the use of empirical models. *Journal of Sustainable Mining*, 2015, nr 14, s. 109-11520.

*Artykuł wpłynął do redakcji w listopadzie 2015 r.*