

# Wpływ intensywności przewietrzania ściany na skuteczność inertyzacji

Nikodem Szlązak, Kazimierz Piergies

## 1. Wstęp

Ciągłe zapotrzebowanie na surowce wymusza pozyskiwanie ich z coraz większych głębokości. Wzrostowi głębokości eksploatacji towarzyszy wzrost zagrożeń naturalnych. Zagrożenia te często występują jednocześnie. Przy czym metody profilaktyki często wzajemnie się wykluczają.

Zapobieganie pożarom podziemnym polega na usunięciu tlenu, źródła wysokiej temperatury lub materiału palnego. W praktyce eksploatacja bez pozostawiania resztek węgla w zrobach jest niemożliwa. Trudne jest również usunięcie ciepła powstałego podczas procesu utleniania. Zatem dąży się do wyeliminowania lub znacznego obniżenia stężenia tlenu w powietrzu. Z kolei w profilaktyce metanowej zwiększa się dopływ powietrza, w celu rozrzedzenia dopływającego metanu.

Obniżenie stężenia tlenu i rozrzedzenie gazów pożarowych można uzyskać poprzez inertyzację, w której obojętny gaz wypiera tlen z atmosfery kopalnianej. Dzięki temu nie dochodzi do procesu palenia lub zostaje on przerwany.

W artykule przedstawiono przykład wpływu intensywności przewietrzania ściany na skuteczność inertyzacji zrobów czynnej ściany zawałowej, przewietrzanej w systemie na Y. Rozważono ścianę prowadzoną w warunkach zagrożenia metanowego, przy dużej skłonności węgla do samozapalenia oraz w trakcie przechodzenia przez strefę zaburzeń geologicznych.

## 2. Wskazanie obszaru do inertyzacji

Informacje, dotyczące strefy przepływu powietrza i stężenia tlenu w zrobach, są istotne dla określenia koniecznej „głębokości” inertyzacji, warunkującej jej skuteczność. W związku z tym dane te powinny mieć wpływ na wybór sposobu i miejsca podawania gazów inertnych do zrobów.

Zadaniem inertyzacji jest wyeliminowanie lub znaczne obniżenie stężenia tlenu w powietrzu, co ma zapobiec powstaniu pożaru lub spowodować jego przerwanie. Minimalna zawartość tlenu wystarczająca do palenia się węgla, uzyskana z badań doświadczalnych, wynosi 2% [4]. Ogólnie przyjmuje się, że gdy zawartość tlenu spada poniżej 2%, to proces spalania paliwa stałego nie będzie dalej zachodził [14]. W trakcie badań utleniania próbek z kilku pokładów w polskich kopalniach węgla [1, 2, 3] stwierdzono, że stężenie tlenu bezpieczne w kontekście samozapalenia się węgla w zrobach lub przestrzeniach otamowanych zawiera się w przedziale od około 5% do około 9%.

W związku z powyższym przyjęto, że obszarem bezpiecznym, pod względem samozapalenia węgla, będzie teren, w którym stężenie tlenu jest poniżej 8%. Natomiast celem inertyzacji będzie zmniejszenie powierzchni obszaru, w którym stężenie tlenu przekracza 8% (rys. 1 a).

**Streszczenie:** Tlen, źródło wysokiej temperatury oraz materiał palny to elementy niezbędne przy powstaniu pożaru. Zapobieganie pożarom podziemnym polega na usunięciu przynajmniej jednego z tych czynników. Jednak eksploatacja bez pozostawiania resztek węgla w zrobach jest praktycznie niemożliwa, trudne jest również usunięcie ciepła powstałego podczas procesu utleniania, dlatego należy dążyć do wyeliminowania lub znacznego obniżenia stężenia tlenu w powietrzu, w zrobach ścian wydobywczych. Można to osiągnąć poprzez inertyzację, w której obojętny chemicznie gaz, który w warunkach danej reakcji nie uczestniczy w jej przebiegu, zastępuje powietrze lub palną atmosferę.

Wraz ze wzrostem głębokości eksploatacji nasilają się zagrożenia naturalne, również często występują równocześnie. Metody profilaktyki wobec jednego zagrożenia powodują wzrost innego zagrożenia. Przy profilaktyce pożarowej zaleca się zmniejszenie dopływu powietrza do ściany, natomiast zwalczanie zagrożenia metanowego wymaga jego zwiększenia.

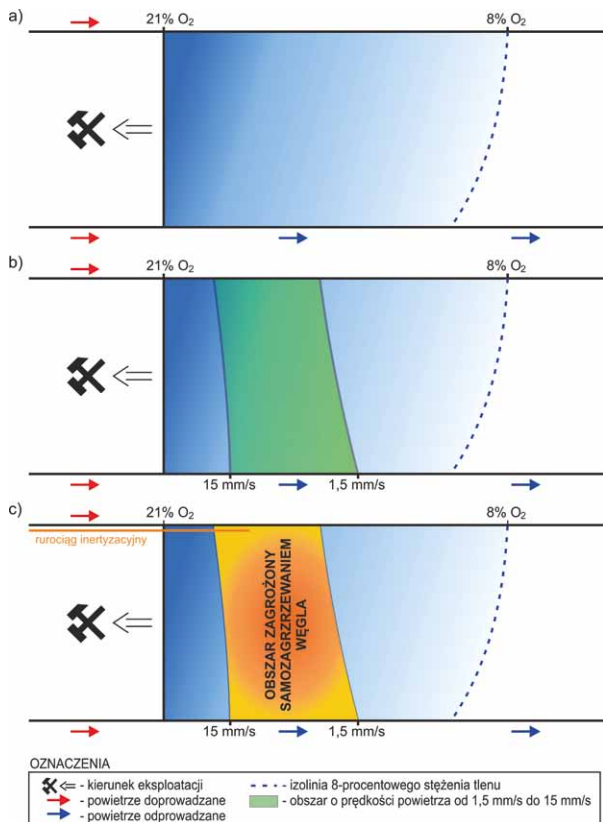
W artykule przedstawiono przykład wpływu intensywności przewietrzania ściany na skuteczność inertyzacji zrobów ściany zawałowej. Rozważono ścianę prowadzoną w warunkach zagrożenia metanowego, przy dużej skłonności węgla do samozapalenia oraz w trakcie przechodzenia przez strefę zaburzeń geologicznych.

## INFLUENCE OF LONGWALL VENTILATION INTENSITY ON THE EFFECTIVENESS OF INERTISATION

**Abstract:** Oxygen, the source of high temperature and combustible material are the elements necessary for the creation of a fire. Prevention of underground fires is based on the removal of at least one of these factors. However, it is practically impossible to exploit without leaving coal remnants in goaves, it is also difficult to remove the heat produced during the oxidation process, therefore it is necessary to eliminate or reduce considerably oxygen concentration in the air of goaves of longwalls with caving in hard coal mines. This can be achieved by inertisation. The method consists in a partial or total replacement of air or combustible atmosphere with an impartial gas.

Along with the increase of depth of exploitation, natural hazards intensify, they also often coexist. Prevention methods for one threat cause the growth of another threat. In fire prevention it is recommended to reduce the air supply to the longwall, while combating the methane hazard requires its increase.

The article presents an example of the influence of longwall ventilation intensity on the effectiveness of inertisation in the goafs of a longwall. The longwall was considered under methane hazard conditions, with high propensity for coal to spontaneously ignite and during geological disturbances.



**Rys. 1.** Schemat ściany przewietrzanej w systemie na Y: a) rozkład stężenia tlenu w zrobach ściany; b) rozkład stężenia tlenu w zrobach ściany z zaznaczonym obszarem o prędkości przepływu powietrza od 1,5 mm/s do 15 mm/s; c) wskazanie obszaru zagrożonego samozapaleniem węgla

Gaz inertny powinien być podawany do zrobów jak najbliżej miejsca potencjalnego samozagrzewania węgla. Dokładna lokalizacja tego miejsca w trakcie ruchu ściany nie jest możliwa.

Przy małej intensywności przewietrzania zroby wypełniają się gazami obojętymi, wpływającymi hamująco na proces samozagrzewania węgla. Z kolei bardzo duża intensywność przewietrzania powoduje odprowadzenie ciepła powstającego w procesie utleniania i również wpływa hamująco na proces samozagrzewania węgla. Najbardziej niekorzystny jest przedział środkowy, w którym występuje dostateczny dopływ tlenu, aby proces samozapalenia węgla mógł się rozwijać, a zbyt mała prędkość przepływu powietrza nie zapewnia odprowadzenia wytworzonego ciepła. W takich warunkach następuje kumulacja ciepła, wzrost temperatury i rozwój pożaru. Wspomniany przedział odpowiada prędkości migracji powietrza od 1,5 do 15 mm/s [6], obszar ten przedstawiono na rysunku 1 b. W dalszej części artykułu założono, że obszar, w którym występują prędkości migracji powietrza od 1,5 do 15 mm/s i stężenie tlenu jest wyższe od 8%, powinien być poddawany inertyzacji (rys. 1 c).

Kryterium oceny skuteczności inertyzacji może być obniżenie stężenia tlenu poniżej 8% w obszarze, w którym prędkość przepływu powietrza zawiera się w przedziale od 1,5 do 15 mm/s (rys. 1 c). Odniesieniem do oceny skuteczności inertyzacji powinien być stan przed jej zastosowaniem.

Przedstawione na rysunku 1 rozkłady stężenia tlenu oraz rozkłady prędkości przepływu powietrza w zrobach są uzależnione głównie od intensywności przewietrzania ściany. Im więcej powietrza dopływa do ściany, tym większej migracji powietrza w głąb zrobów można się spodziewać. Uzależnione jest to również od wytrzymałości skał stropowych i ich skłonności do przechodzenia w stan zawału. Skały o dużej wytrzymałości będą tworzyły zawał, do którego powietrze będzie dopływać głębiej. W związku z tym lokalizacja obszaru zagrożonego samozagrzewaniem węgla będzie się zmieniać w trakcie ruchu ściany. Jej określenie wymaga znajomości warunków, w jakich prowadzona jest dana ściana.

Dla wskazania miejsca podania gazu inertnego pomocne może być określenie rozkładu stężenia tlenu w zrobach ściany zawałowej przed oraz po zastosowaniu inertyzacji, jak również określenie rozkładu przepływu powietrza w zrobach ściany [5, 10, 11].

Przy projektowaniu procesu inertyzacji pomocna może być metoda obliczania rozplywu powietrza oraz rozkładu stężenia tlenu w zrobach ścian eksploatacyjnych w kopalniach węgla kamiennego po wprowadzeniu gazu inertnego, przedstawiona w pracach [5, 12]. Metodę tę wykorzystano również w niniejszym artykule.

### 3. Przykładowe rozkłady stężenia tlenu w zrobach ścian zawałowych

#### 3.1. Dane i założenia

Spśród gazów obojętnych najczęściej stosowanych w profilaktyce pożarowej w górnictwie światowym można wyróżnić:

- azot;
- dwutlenek węgla;
- gazowe produkty spalania;
- metan.

Niektóre z tych gazów, w szczególności metan, znajdują się w zrobach w sposób naturalny, na skutek prowadzonej eksploatacji, w związku z tym przewidziano dopływ metanu. Obecnie najczęściej stosowanym gazem inertnym jest azot, dlatego właśnie podawanie tego gazu rozpatrzono. Założono podawanie azotu w formie gazowej z powierzchni odpowiednio przygotowaną instalacją.

Stropy ścian zawałowych można podzielić ze względu na tzw. „opór rozwarstwienia” (tabela 1). Opór rozwarstwienia jest określany wytrzymałością skał na rozciąganie, mierzoną w kierunku prostopadłym do powierzchni uwarstwienia (warstw) stropu.

**Tabela 1.** Klasy stropu wyznaczone według wartości oporu rozwarstwienia [6, 7, 8, 9, 13]

Klasa stropu	Wartość oporu rozwarstwienia	Opis stropu
	MPa	
Klasa I	0–2,5	strop słaby, spękany, opadający, łatwo przechodzący w zawał (np. łupek ilasty)
Klasa II	2,5–5,0	strop samonośny, bez obwałów, przechodzący w zawał bez zawisania w zrobach (np. łupek piaszczysty)
Klasa III	> 5,0	strop bardzo związły, wymaga środków łamania i zruszania stropu (np. piaskowiec)

Z kolei wytrzymałość skał na rozciąganie decyduje o ich skłonności do przechodzenia w stan zawału.

Rozważono przykładową ścianę K-1, w pokładzie 402, w trakcie eksploatacji, przechodzącą przez strefę zaburzeń geologicznych, przewietrzaną w systemie Y.

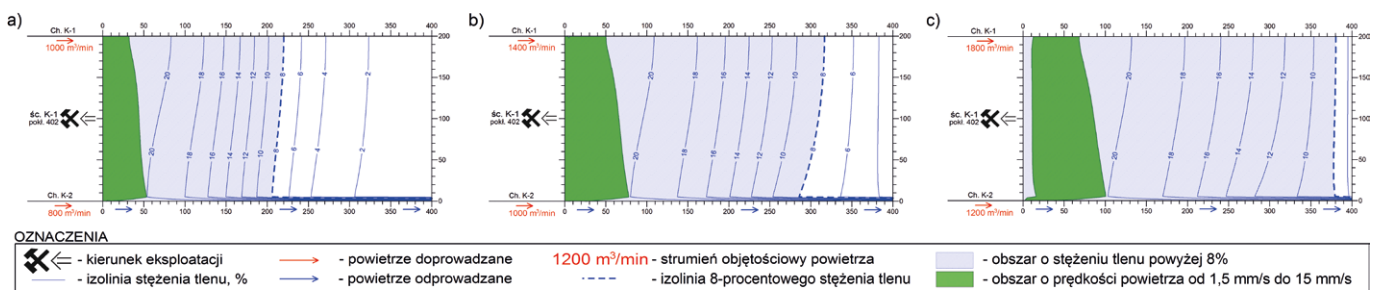
Przyjęto następujące dane:

- długość ściany 200 m;
- wybieg ściany 400 m;
- wysokość ściany 2,0 m;
- opór rozwarstwienia skał stropowych 2 MPa, 4 MPa lub 6 MPa;
- strumień objętościowy powietrza dopływającego do ściany:
  - 1000 m<sup>3</sup>/min – wariant a,
  - 1400 m<sup>3</sup>/min – wariant b,
  - 1800 m<sup>3</sup>/min – wariant c;

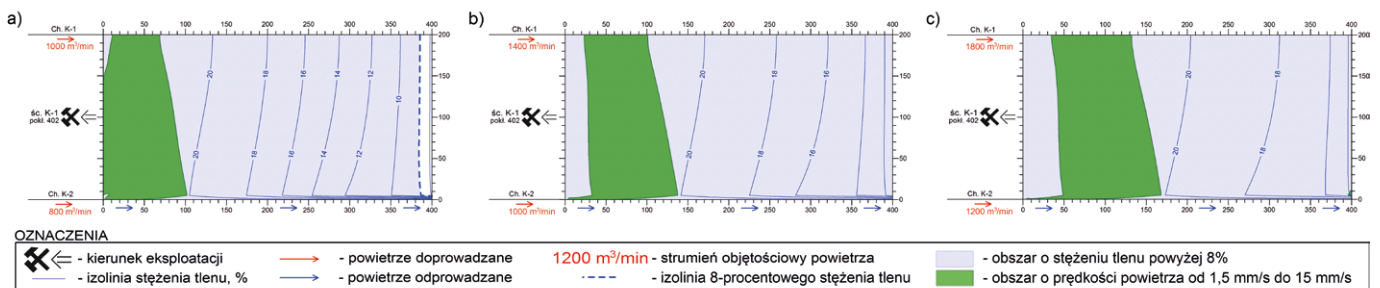
- strumień objętościowy powietrza odświeżającego:
  - 800 m<sup>3</sup>/min – wariant a,
  - 1000 m<sup>3</sup>/min – wariant b,
  - 1200 m<sup>3</sup>/min – wariant c;
- strumień objętościowy podawanego azotu 0 m<sup>3</sup>/min, 10 m<sup>3</sup>/min, 20 m<sup>3</sup>/min;
- odległość punktu podawania azotu od linii zawału ściany 40 m, 60 m, 80 m;
- dopływ metanu 15 m<sup>3</sup>/min.

### 3.2. Rozkłady stężenia tlenu w zrobach ściany bez podawania azotu

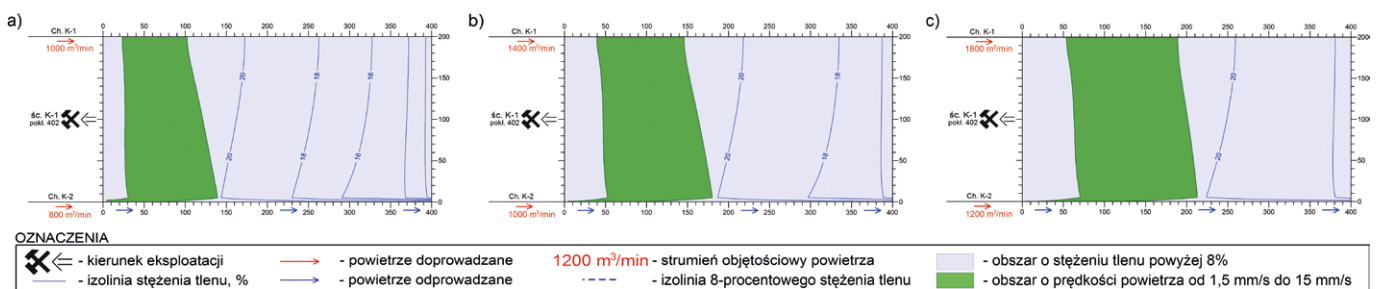
Na rysunkach 2–4 przedstawiono rozkłady stężenia tlenu w zrobach ściany K-1 przy dopływie 15 m<sup>3</sup>/min metanu, bez podawania azotu i z zaznaczonym obszarem o prędkości



Rys. 2. Wyniki symulacji komputerowej rozkładu stężenia tlenu w zrobach ściany K-1 przy dopływie 15 m<sup>3</sup>/min metanu i oporze rozwarstwienia równym 2 MPa, z zaznaczonym obszarem o prędkości przepływu powietrza od 1,5 mm/s do 15 mm/s: a, b, c – warianty intensywności przewietrzania ściany



Rys. 3. Wyniki symulacji komputerowej rozkładu stężenia tlenu w zrobach ściany K-1 przy dopływie 15 m<sup>3</sup>/min metanu i oporze rozwarstwienia równym 4 MPa, z zaznaczonym obszarem o prędkości przepływu powietrza od 1,5 mm/s do 15 mm/s: a, b, c – warianty intensywności przewietrzania ściany



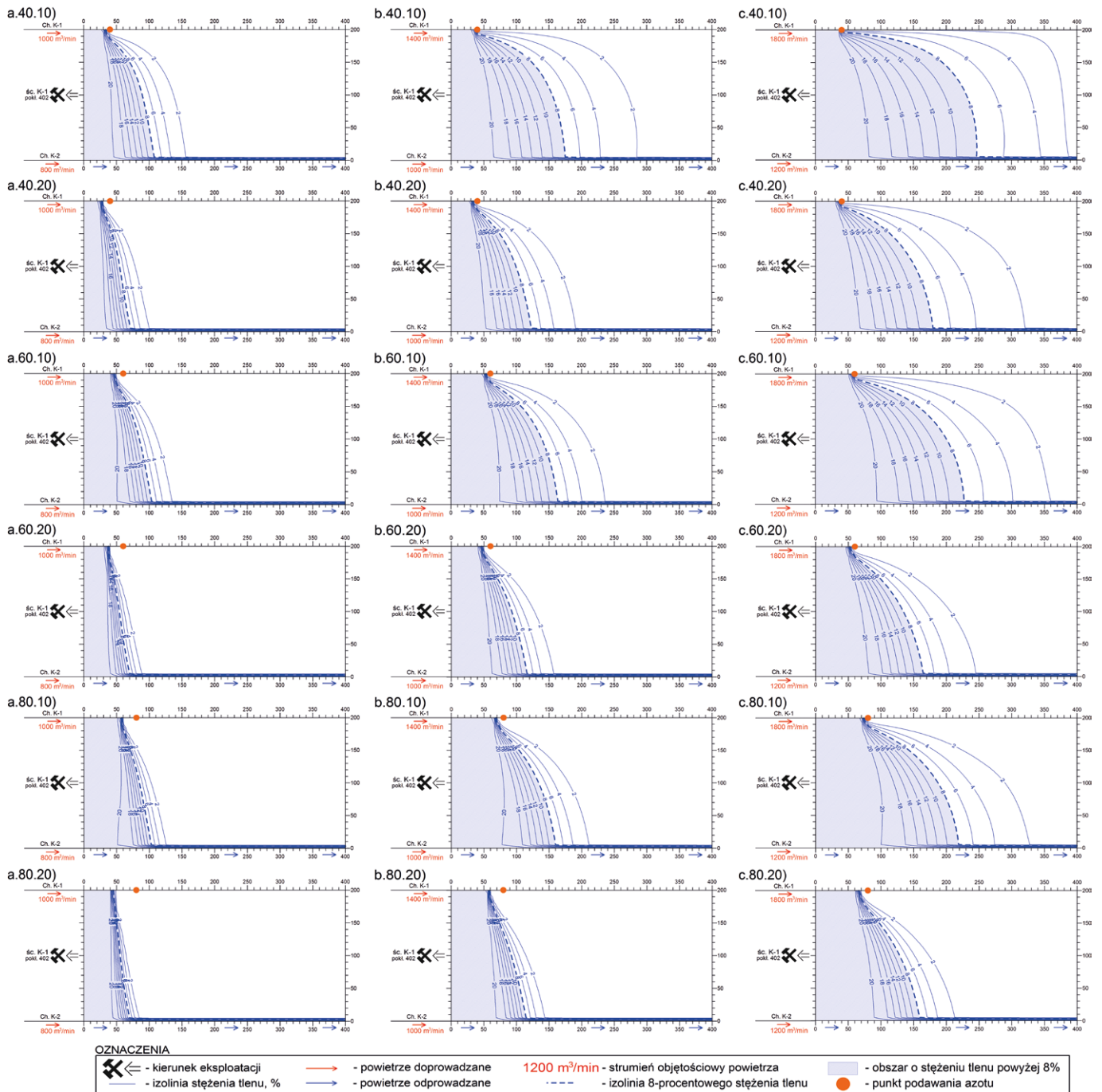
Rys. 4. Wyniki symulacji komputerowej rozkładu stężenia tlenu w zrobach ściany K-1 przy dopływie 15 m<sup>3</sup>/min metanu i oporze rozwarstwienia równym 6 MPa, z zaznaczonym obszarem o prędkości przepływu powietrza od 1,5 mm/s do 15 mm/s: a, b, c – warianty intensywności przewietrzania ściany

reklama

przepływu powietrza od 1,5 mm/s do 15 mm/s, dla różnych oporów rozwarstwienia skał stropowych (2 MPa – rys. 2; 4 MPa – rys. 3; 6 MPa – rys. 4). Przypadki a, b i c na rysunkach 3–5 odpowiadają przyjętym wariantom przewietrzania. Jak wynika z rysunków 2–4, wraz z intensywnością przewietrzania ścian tlen migruje do zrobów głębiej. Zwiększają się również powierzchnie obszarów o prędkości przepływu powietrza od 1,5 mm/s do 15 mm/s, przy jednoczesnym przesunięciu się ich w głąb zrobów.

**3.3. Rozkłady stężenia tlenu w zrobach ściany po podaniu azotu**

Na rysunkach 5–7 przedstawiono rozkłady stężenia tlenu w zrobach ściany K-1 przy dopływie 15 m<sup>3</sup>/min metanu, podawaniu azotu i oporze rozwarstwienia równym odpowiednio 2 MPa; 4 MPa oraz 6 MPa. Pierwszy człon oznaczenia poszczególnych przypadków na rysunkach 5–7 informuje o wariantie intensywności przewietrzania ściany (a, b lub c), drugi człon odpowiada odległości punktu podawania azotu od linii



Rys. 5. Wyniki symulacji komputerowej rozkładu stężenia tlenu w zrobach ściany K-1 przy dopływie 15 m<sup>3</sup>/min metanu i oporze rozwarstwienia równym 2 MPa: a, b, c - warianty intensywności przewietrzania ściany; 40, 60, 80 - odległość punktu podawania azotu od linii zawału ściany w metrach; 10, 20 - strumień objętościowy podawanego azotu w m<sup>3</sup>/min

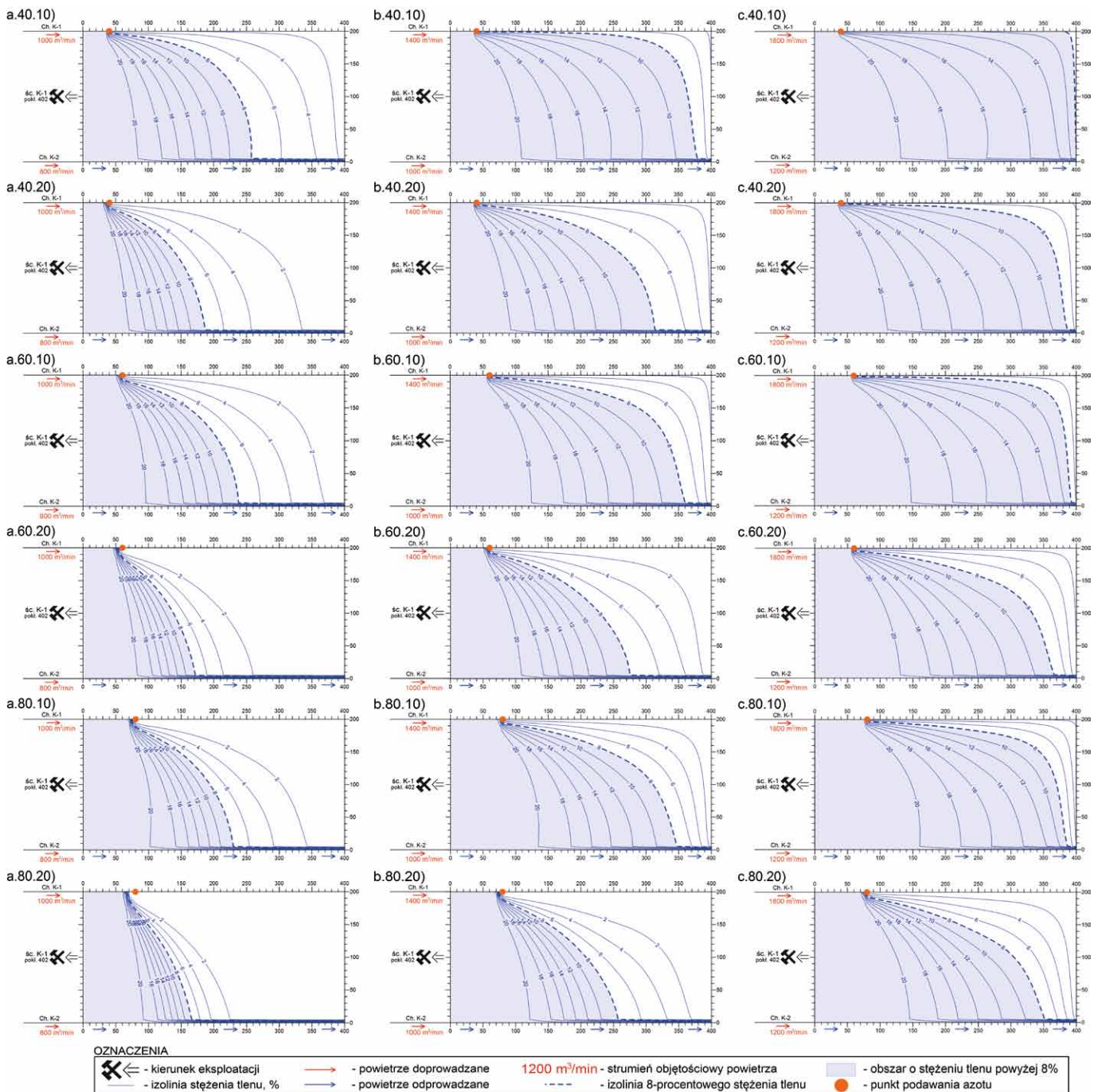
zawału ściany w metrach (40, 60 lub 80), trzeci człon odpowiada strumieniowi objętościowemu podawanego azotu w  $m^3/min$  (10 lub 20).

Na wykonanych rozkładach stężenia tlenu w zrobach ściany zawałowej wyróżniono przerywaną kreską izolinie 8% stężenia tlenu.

W oparciu o wykonane rysunki można stwierdzić, iż wraz ze wzrostem intensywności przewietrzania ściany, izolinia

8-procentowego stężenia tlenu przesuwają się w głąb zrobów. Również wzrost oporu rozwarstwienia skał stropowych powoduje, że wzrasta stężenie tlenu w głąbi zrobów.

Porównanie efektów zmniejszenia głębokości migracji tlenu w trakcie inertyzacji świadczy o tym, że w danym punkcie korzystniejsze jest podawanie  $20 m^3/min$  azotu niż  $10 m^3/min$ . Jednak analizując uzyskane rozkłady stężenia tlenu, przy różnych lokalizacjach punktu podawania azotu od linii zawału



Rys. 6. Wyniki symulacji komputerowej rozkładu stężenia tlenu w zrobach ściany K-1 przy dopływie  $15 m^3/min$  metanu i oporze rozwarstwienia równym 4 MPa: a, b, c - warianty intensywności przewietrzania ściany; 40, 60, 80 - odległość punktu podawania azotu od linii zawału ściany w metrach; 10, 20 - strumień objętościowy podawanego azotu w  $m^3/min$

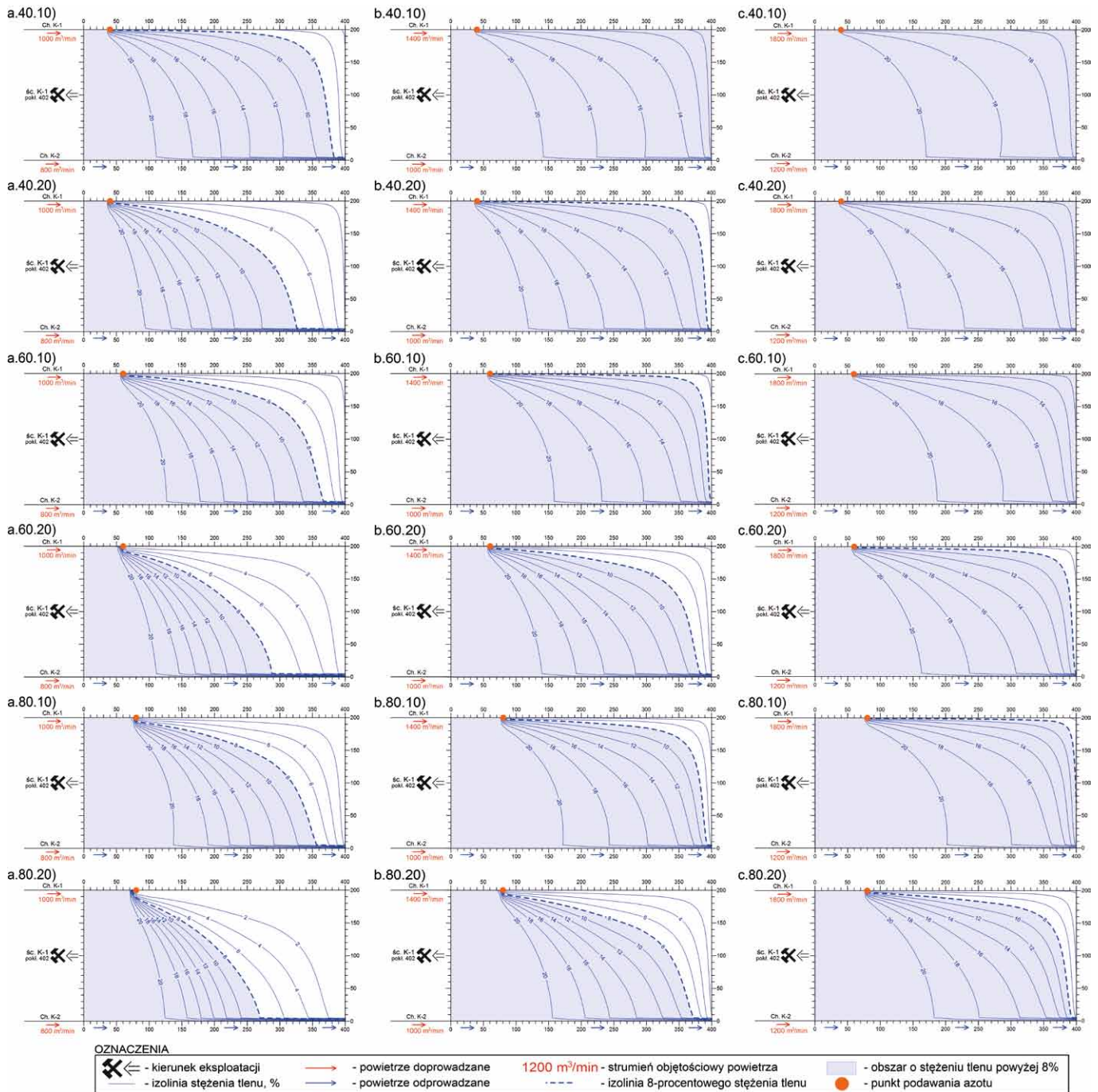
ściany, należy stwierdzić, iż zmieniając punkt podawania azotu, można uzyskać podobny efekt, jak przy podaniu większej ilości gazu inertnego, ale w mniej korzystnej lokalizacji.

**4. Podsumowanie**

Przy określaniu parametrów procesu inertyzacji zrobów czynnej ściany zawałowej należy uwzględnić intensywność przewietrzania ściany oraz rodzaj skał stropowych.

Dla wskazania miejsca podania gazu inertnego pomocne może być określenie rozkładu stężenia tlenu w zrobach ściany zawałowej, przed oraz po zastosowaniu inertyzacji, jak również określenie rozkładu przepływu powietrza w zrobach ściany.

Możliwość doprowadzenia gazu inertnego, w tym określenie możliwego strumienia objętościowego tego gazu, powinna być rozpatrzona już na etapie projektowania eksploatacji



Rys. 7. Wyniki symulacji komputerowej rozkładu stężenia tlenu w zrobach ściany K-1 przy dopływie 15 m<sup>3</sup>/min metanu i oporze rozwarstwienia równym 6 MPa: a, b, c - warianty intensywności przewietrzania ściany; 40, 60, 80 - odległość punktu podawania azotu od linii zawału ściany w metrach; 10, 20 - strumień objętościowy podawanego azotu w m<sup>3</sup>/min

z uwzględnieniem technicznych możliwości wytworzenia i doprowadzenia gazu inertnego.


Dla poprawy skuteczności inertyzacji niezbędne jest zwiększenie ilości podawanego gazu inertnego.

## Literatura

- [1] BUCHWALD P.: *Określenie podstawowego kryterium i parametrów oceny skuteczności zastosowania azotu w prewencji pożarów endogenicznych w przestrzeniach otamowanych*. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 2002.
- [2] BUCHWALD P.: *Określenie podstawowego parametru skutecznej prewencyjnej inertyzacji azotowej opartego o teorię kompleksu „węgiel-tlen”*. XXX Dni Techniki Rybnickiego Okręgu Przemysłowego 2004, XXI Seminarium nt. Zwalczanie zagrożenia pożarowego w kopalniach – teoria i praktyka, Rybnik, 27 października 2004, s. 21–27.
- [3] BUCHWALD P.: *Określenie podstawowego kryterium i parametrów oceny skuteczności zastosowania azotu w prewencji pożarów endogenicznych w przestrzeniach otamowanych*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Górnictwo i Geologia, t. 4, z. 3, 2009.
- [4] MASON T.N., TIDESWELL F.V.: *Gob fires, part 2, the revival of heatings by inleakage of air*. Paper of Safety in Mines Research Board, No. 76, 1993.
- [5] PIERGIES K.: *Ocena skuteczności inertyzacji zrobów ścian zawałowych w kopalniach węgla kamiennego*. Praca doktorska. AGH, Kraków 2015.
- [6] SZŁĄZAK J.: *Wpływ uszczelnienia chodników przyścianowych na przepływ powietrza przez zroby*. Praca doktorska. AGH, Kraków 1980.
- [7] SZŁĄZAK J.: *Przepływ powietrza przez strefę zawału w świetle badań teoretycznych i eksperymentalnych*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2000.
- [8] SZŁĄZAK J.: *The determination of a co-efficient of longwall gob permeability*. Archives of Mining Sciences, vol. 46, issue 4, 2001.
- [9] SZŁĄZAK J.: *Metody obliczania rozplywu powietrza i rozkładu stężenia metanu w zrobach ścian zawałowych*. Przykłady wykonywania, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010.
- [10] SZŁĄZAK N., OBRACAJ D., PIERGIES K.: *Ogólne zasady inertyzacji azotem zrobów czynnej ściany zawałowej*. „Górnictwo i Geoinżynieria” rok 35, zeszyt 4, 2011.
- [11] SZŁĄZAK N., OBRACAJ D., PIERGIES K.: *Podstawy inertyzacji zrobów ścian zawałowych w kopalniach węgla kamiennego*. [w:] *Wybrane zagrożenia aerologiczne w kopalniach podziemnych i ich zwalczanie*. N. SZŁĄZAK (RED.), Wydawnictwo AGH, Kraków 2011.
- [12] SZŁĄZAK N., PIERGIES K.: *Inertyzacja azotem zrobów ścian zawałowych w kopalniach węgla kamiennego i jej skuteczność*. Wydawnictwo: Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Kraków 2016.
- [13] SZŁĄZAK N., SZŁĄZAK J.: *Filtracja powietrza przez zroby ścian zawałowych w kopalniach węgla kamiennego*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2005.
- [14] SZŁĄZAK N., YUAN S., OBRACAJ D.: *Zagrożenie pożarowe w kopalniach węgla kamiennego i metody jego oceny*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2005.

Artykuł został zrealizowany w ramach pracy nr 16.16.100.215.

Artykuł przedstawiony w ramach XXVIII Szkoły Eksploatacji Podziemnej.

 Nikodem Szlązak  
Kazimierz Piergies  
AGH w Krakowie

artykuł recenzowany