

*Nikodem Szlązak\*, Dariusz Obracaj\*, Kazimierz Piergies\**

## OGÓLNE ZASADY INERTYZACJI AZOTEM ZROBÓW CZYNNEJ ŚCIANY ZAWAŁOWEJ

---

### 1. Wstęp

W początkowej fazie pożaru w kopalni podziemnej, powszechną praktyką jest próba ugaszenia pożaru pod ziemią. W sytuacji gdy działania te są nieskuteczne, stają się niebezpieczne dla prowadzących akcję przeciwpożarową lub gdy pożar rozwinął się do znacznych rozmiarów i działania te są związane z dużymi kosztami, przystępuje się do tamowania (izolowania) pożaru.

W polskim górnictwie największe zagrożenie pożarowe występuje ze strony pożarów endogenicznych. Czynniki wpływające na samozagrzewanie i samozapalenie węgla są znane [15, 18]. Celowe jest prowadzenie profilaktyki mającej na celu zapobieganie powstawaniu pożarów. Jednym z działań prewencyjnych może być inertyzacja. Gazy inertne (z wyjątkiem azotu) mogą być stosowane w rejonach wyrobisk bądź zrobów poeksploatacyjnych objętych zagrożeniem pożarowym lub gazowym, wyłącznie po zamknięciu rejonu tamami izolacyjnymi [4]. Ten wyjątek umożliwia stosowanie azotu w inertyzacji zrobów podczas ruchu ściany.

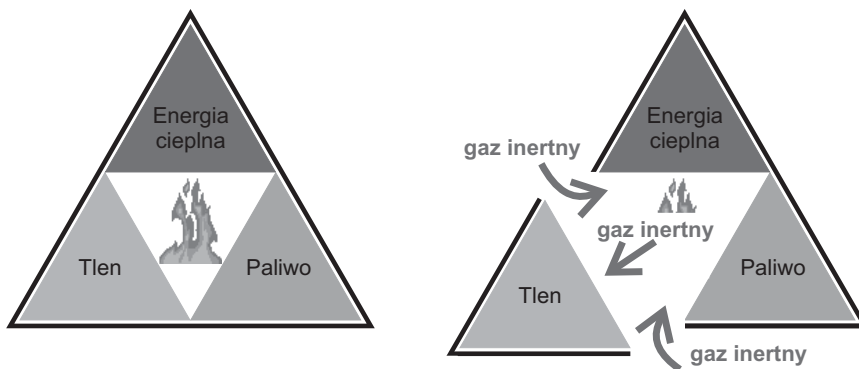
### 2. Inertyzacja

Inertyzacja atmosfery kopalnianej jest działaniem polegającym na zastąpieniu atmosfery kopalnianej atmosferą składającą się przede wszystkim (lub wyłącznie) z używanego gazu obojętnego. Dopływ gazu inertnego do pożaru rozrzedza gazy pożarowe i obniża stężenie tlenu, dzięki czemu zostaje przerwany proces palenia (rys. 1).

Pierwszy opisany przypadek zastosowania gazów inertnych w powietrzu kopalnianym, jak podaje Adamus [1], dotyczył gaszenia pożaru podziemnego w roku 1850 w kopalni Węgla Kamiennego Clackmanan w Szkocji, 7 mil od Sterling. Mieszanina gazów inertnych składała się z pary wodnej, dwutlenku węgla, azotu i dwutlenku siarki; wytwarzano ją w piecu, a podawano przy użyciu strumieniowej pompy wodnej.

---

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



Rys. 1. Wpływ gazu inertnego na proces palenia [22]

Od tego czasu stosowano różne metody profilaktyki pożarowej, jednak, jak podaje Belle [2], obecnie w górnictwie światowym większość pożarów jest kontrolowana metodami inertyzacyjnymi.

Gdy gazy inertne oddziałują bezpośrednio na ognisko pożaru, najczęściej w początkowym jego etapie, możemy mówić o aktywnej formie walki z pożarem [14]. Inertyzację można również stosować w rejonach otamowanych, będzie to pasywna forma walki z pożarem. Inertyzacja rzadko jest jednak stosowana jako jedyny sposób walki z pożarami podziemnymi. Pełne wykorzystanie jej zalet jest możliwe dopiero po spełnieniu szeregu warunków takich jak dostosowanie parametrów gazu obojętnego (rodzaju, ilości) oraz prędkości podawania do lokalnych warunków wentylacyjnych i górnictwo-geologicznych.

Użycie gazów obojętnych wspomagające wentylacyjne metody gaszenia pożarów, może znacznie skrócić czas walki z pożarem. Odpowiednia izolacja palących się lub rozgrzanych powierzchni czy mieszanin gazów pożarowych, poprzez stworzenie strefy o niskiej zawartości (lub pozbawionej) tlenu, może doprowadzić do zahamowania rozwoju pożaru lub jego zgaszenia.

Żeby określić wymaganą ilość gazu inertnego, który należy podać do miejsca samozagrzewania węgla, należy znać stężenie tlenu, które chcemy osiągnąć, musimy również znać objętość inertyzowanej przestrzeni oraz migrację powietrza w tej przestrzeni.

### 3. Azot jako gaz inertny

Ze względu na szereg zalet największe zastosowanie w górnictwie światowym do zwalczania pożarów podziemnych oraz w profilaktyce pożarowej znalazł azot. Pierwsze wykorzystanie gazowego azotu do inertyzacji atmosfery nastąpiło, jak podaje [1], w Republice Czeskiej w kopalni „Doubrava Důl”, w Okręgu Górniczym Ostrava–Karviná, w 1949 roku.

Do podstawowych zalet wykorzystania azotu jako gazu inertnego zaliczamy [12]:

- łatwą dostawę płynnego azotu cysternami do kopalń,
- możliwość zgazowania ciekłego azotu w dużych ilościach,
- brak potrzeby chłodzenia i sprężania,

- wysoki stopień bezpieczeństwa,
- otrzymywanie czystego azotu jako produktu ubocznego przy produkcji tlenu.

Pomimo wyżej przedstawionych zalet stosowanie azotu do zwalczania pożarów wymaga wcześniejszego przygotowania instalacji na powierzchni, w szybie i na dole kopalni (w przypadku dostarczania gazu z powierzchni). Zachodzi konieczność szczelnej izolacji inertyzowanej przestrzeni, gdyż nieszczelność powoduje szybkie odprowadzenie azotu i wznowienie procesów pożarowych [1, 12]. Wytwarzanie azotu cechuje się również wyższą ceną niż wytwarzanie np. gazów spalinowych [12].

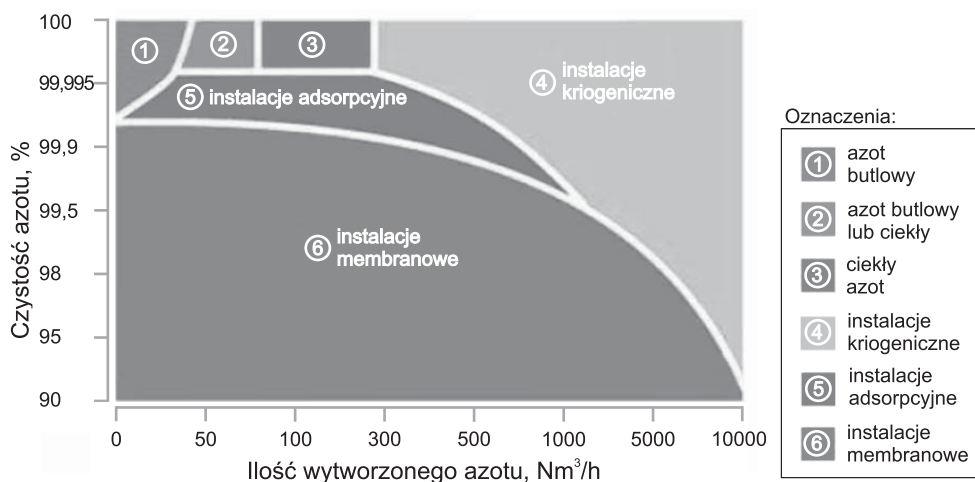
Metody wytwarzania azotu można zasadniczo podzielić na dwie grupy:

- metody kriogeniczne,
- metody niekriogeniczne.

W przypadku instalacji o dużych wydajnościach, przekraczających około 200 Mg produktów gazowych na dobę, stosuje się niemal wyłącznie metody kriogeniczne, ponieważ są one najbardziej wydajne pod względem termodynamicznym [6].

Niekriogeniczne metody rozdzielania powietrza stają się konkurencyjne w przypadku instalacji o stosunkowo niewielkich wydajnościach oraz wszędzie tam, gdzie nie jest istotne uzyskanie gazów o bardzo dużej czystości. Instalacje takie wykorzystują fizyczne procesy adsorpcji oraz separacji na membranach. Budowane są również instalacje wykorzystujące w procesach separacji reakcje chemiczne. Nie są one jednak konkurencyjne względem metod fizycznych [6].

Na rysunku 2 przedstawiono diagram zastosowania metody pozyskiwania azotu w zależności od wymaganych parametrów tego gazu. Jeżeli odbiorca ma niewielkie wymagania co do ilości gazu, to najlepszym rozwiązaniem jest zakup azotu w butlach, dodatkowym atutem jest duża czystość gazu. Zakłady górnicze do celów inertyzacyjnych potrzebują znacznych ilości gazu, a jego wysoka czystość nie jest priorytetem.



**Rys. 2.** Diagram zastosowania metody pozyskiwania azotu w zależności od wymaganych parametrów azotu [22]

## 4. Wytwarzanie azotu na potrzeby inertyzacji atmosfery kopalnianej

Do inertyzacji atmosfery kopalnianej stosuje się azot w stanie gazowym i ciekłym [4]. Do wytwarzania i przetłaczania azotu mogą być wykorzystywane urządzenia przeznaczone do [5]:

- zgazowywania na powierzchni ciekłego azotu i przetłaczania azotu w stanie gazowym do wyrobisk podziemnych,
- transportu ciekłego azotu bezpośrednio w wyrobiskach podziemnych i jego przetłaczania do wyrobisk lub zrobów,
- pozyskiwania azotu gazowego bezpośrednio z powietrza atmosferycznego i przetłaczania go do wyrobisk podziemnych.

Do zgazowania ciekłego azotu na powierzchni zakładu górniczego i przetłaczania azotu w stanie gazowym do wyrobisk podziemnych mogą być wykorzystywane urządzenia stacjonarne i przewoźne [4]:

- parownice atmosferyczne typu PA,
- urządzenie do zgazowania ciekłego azotu UZA-1,
- azotowa parownica atmosferyczna APA-1.

Urządzenia do transportu ciekłego azotu z powierzchni zakładu górniczego w rejon zagrożenia pożarowego lub gazowego oraz wtłaczania ciekłego azotu do wyrobisk podziemnych stanowią [4]:

- instalacja do zgazowywania ciekłego azotu bezpośrednio w wyrobiskach podziemnych,
- azotowe urządzenie gaśnicze AUG-2.

Od roku 1998 CSRG (Centralna Stacja Ratownictwa Górniczego) jest właścicielem urządzenia firmy MESSER do pozyskiwania azotu z powietrza atmosferycznego. Urządzenie membranowe HPLC było pierwszym urządzeniem tego typu znajdującym się na wyposażeniu polskiego ratownictwa górniczego.

Najważniejszym celem stosowania gazów inertnych jest obniżenie zawartości tlenu w przestrzeni otomowanej do granicy uniemożliwiającej rozprzestrzenianie się pożaru. Z tego względu jednym z najważniejszych parametrów instalacji do wytwarzania tych gazów jest wydajność, czyli ilość gazu możliwa do wygenerowania w jednostce czasu (zwykle w  $\text{m}^3/\text{h}$ ) [9, 13, 21].

## 5. Przykład założeń inertyzacji zrobów czynnej ściany zawałowej

### 5.1. Założenia

Rozważa się inertyzację przykładowej ściany 25-b, która jest projektowana w nowej partii pola eksploatacyjnego w górnej warstwie pokładu 510 o grubości ok. 10 m.

Parametry ściany są następujące:

- wybieg – 800 m;
- długość – 150 m,
- wysokość – 2,5 m;
- planowane wydobycie – 2000 Mg/dobę;
- sposób prowadzenia eksploatacji – system ścianowy z zawałem stropu;
- w stropie pokładu zalega łupek ilasty (10,8 m), łupek piaszczysty (2,5 m) i piaskowiec (21,0 m);
- sposób przewietrzania – system U od granic pola eksploatacyjnego (ideowy bilans masy powietrza i azotu w tym systemie przedstawia rysunek 4);
- strumień objętości doprowadzanego powietrza wynosi 1450 m<sup>3</sup>/min; w trakcie ruchu ściany ilość powietrza może być ograniczana do wartości zapewniającej maksymalne, dopuszczalne stężenia metanu na wylocie ze ściany;
- skłonność węgla do samozapalenia – I grupa samozapalności (węgiel o bardzo małej skłonności do samozapalenia); wyliczony okres inkubacji pożaru wynosi 104 dni.

W zrobach wraz z odległością od frontu ściany zanika migracja powietrza, obniża się również stężenie tlenu. Przyjmuje się, że przy prędkości przepływu powietrza przez zroby w przedziale 1,5–15 mm/s istnieje możliwość rozwoju procesu samozagrzewania węgla [10].

Na podstawie badań doświadczalnych ustalono, że minimalna zawartość tlenu podtrzymująca proces spalania węgla uzyskana z badań doświadczalnych wynosi 2% [11]. Ogólnie przyjmuje się, że gdy zawartość tlenu spada poniżej 2%, proces spalania paliwa stałego nie będzie dalej zachodził [20]. W trakcie badań utleniania próbek z kilku pokładów w polskich kopalniach węgla, prowadzonych przez Buchwalda [3], stwierdzono, że stężenie tlenu bezpieczne dla samozapalenia się węgla w zrobach lub przestrzeniach otomowanych zawiera się w przedziale od około 5% do około 9%.

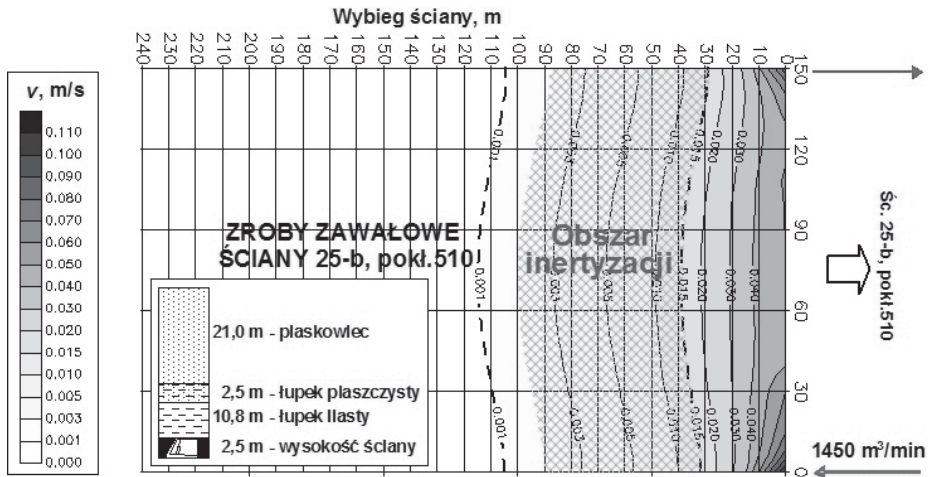
Informacje dotyczące strefy przepływu powietrza i stężenia tlenu w zrobach są istotne przy określeniu koniecznej głębokości inertyzacji, warunkującej jej skuteczność. Zatem informacje te powinny mieć wpływ na wybór sposobu i miejsca podawania gazów inertnych do zrobów.

Azot powinien być podawany do zrobów jak najbliżej miejsca potencjalnego samozagrzewania węgla. Dokładna lokalizacja tego miejsca w trakcie ruchu ściany nie jest możliwa. Zakładając, że najdogodniejsze warunki do samozagrzewania węgla w zrobach występują przy prędkości migracji powietrza 1,5–15 mm/s można wykorzystać jedną z dostępnych metod symulacji prędkości powietrza w zrobach ścian zawałowych. Obszar, w którym występują te prędkości, powinien być poddawany inertyzacji.

Tym samym można określić zasięg wymaganej inertyzacji w zrobach czynnej ściany.

## 5.2. Zasięg inertyzacji zrobów

W celu wyznaczenia strefy potencjalnego samozagrzewania węgla przeprowadzono obliczenia prędkości przepływu przez zroby ściany 25-b. Wykorzystano model opracowany przez J. Szlązaka [16, 17]. Na rysunku 3 przedstawiono wyniki obliczeń w formie wykresu izolinii prędkości powietrza w analizowanej ścianie zawałowej.



Rys. 3. Wykres izol linii prędkości powietrza w ścianie 25-b

Maksymalna prędkość filtracji wynosząca 0,11 m/s występuje w narożach wlotu i wylotu ściany. W głąb zrobów prędkość filtracji maleje i dopiero po 100 metrach w głąb zrobów wynosi poniżej 1,5 mm/s. Na wykresie zakreskowano obszar zrobów, gdzie prędkość powietrza może powodować akumulację ciepła w strefie utleniania węgla. Obszar ten jest jednocześnie rejonem, do którego powinien być doprowadzany azot. W tym przypadku azot należy podawać w odległości ok. 30–90 m za frontem ściany.

Istnieją również metody symulacji rozptywu azotu wraz z powietrzem odnoszące się do określonego punktu włączania azotu [7, 8, 19]. Metody te nie zostały jednak do tej pory dostatecznie zweryfikowane w warunkach rzeczywistych ścian zawałowych.

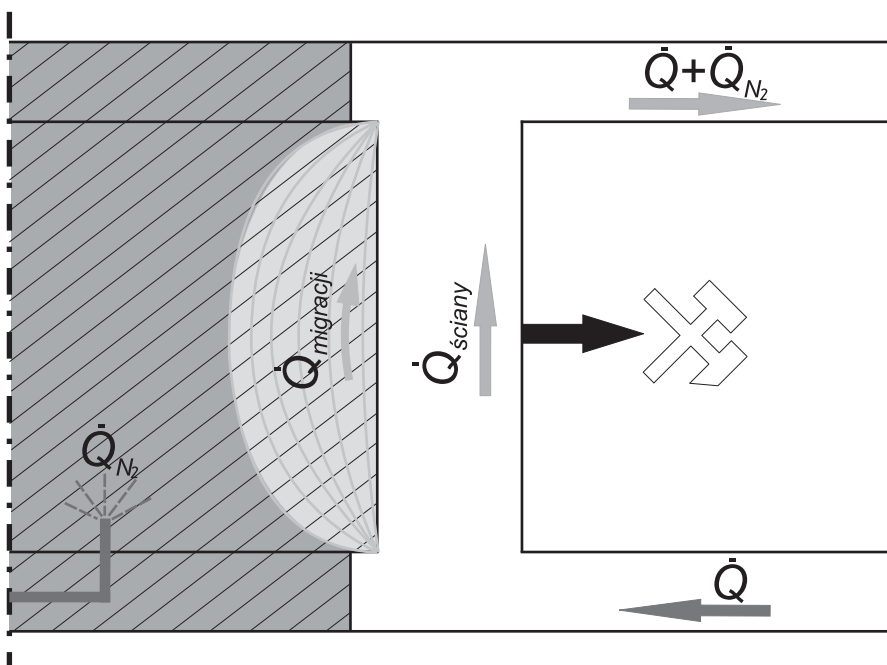
**Jeśli znany jest zasięg wymaganej inertyzacji w zrobach ściany, konieczne jest następnie określenie wymaganego strumienia objętościowego podawanego azotu.**

### 5.3. Wymagane natężenie objętościowe azotu

Punktem wyjściowym wyznaczenia wymaganej ilości gazu inertnego jest ustalenie pojemności otamowanej przestrzeni  $V_p$ . O ile w miarę dokładnie można obliczyć pojemność otamowanych wyrobisk korytarzowych, o tyle trudniej jest obliczyć pojemność zrobów, zwłaszcza zawałowych.

Drugim ważnym elementem jest stężenie tlenu, które chcemy osiągnąć po wprowadzeniu gazu inertnego. Przyjmuje się założenie, że stężenie tlenu w wyznaczonej strefie możliwej akumulacji ciepła powinno wynosić poniżej 8% [8].

Istnieją metody symulacji rozptywu powietrza w zrobach i określania rozkładu stężeń tlenu [7, 8]. Wykorzystując bilans masy azotu, można wyznaczyć stężenie tlenu w zrobach ( $S_{O_2-zrob}$ ) w odniesieniu do ściany przewietrzanej systemem U (rys. 4), w zależności od ilości wprowadzanego do zrobów azotu, a także ilości powietrza dopływającego do ściany.



**Rys. 4.** Rysunek ideowy bilansu masy powietrza i azotu w rejonie inertyzowanej ściany  
 Oznaczenia:  $\dot{Q}$  – strumień masowy powietrza doprowadzanego do ściany [kg/s],  $\dot{Q}_{ściany}$  – strumień masowy powietrza przepływający przez ścianę [kg/s],  $\dot{Q}_{migracji}$  – strumień masowy powietrza przepływający przez zroby ściany [kg/s],  $\dot{Q}_{N_2}$  – strumień masowy azotu doprowadzonego do zrobów ściany [kg/s]

Na rysunku 5 zaprezentowano wyniki obliczeń przedstawiające kształtowanie się stężenia tlenu w zrobach w zależności od ilości wprowadzanego do zrobów azotu, a także ilości powietrza dopływającego do ściany. Krzywe zostały sporządzone dla różnych ilości powietrza doprowadzanego do ściany.

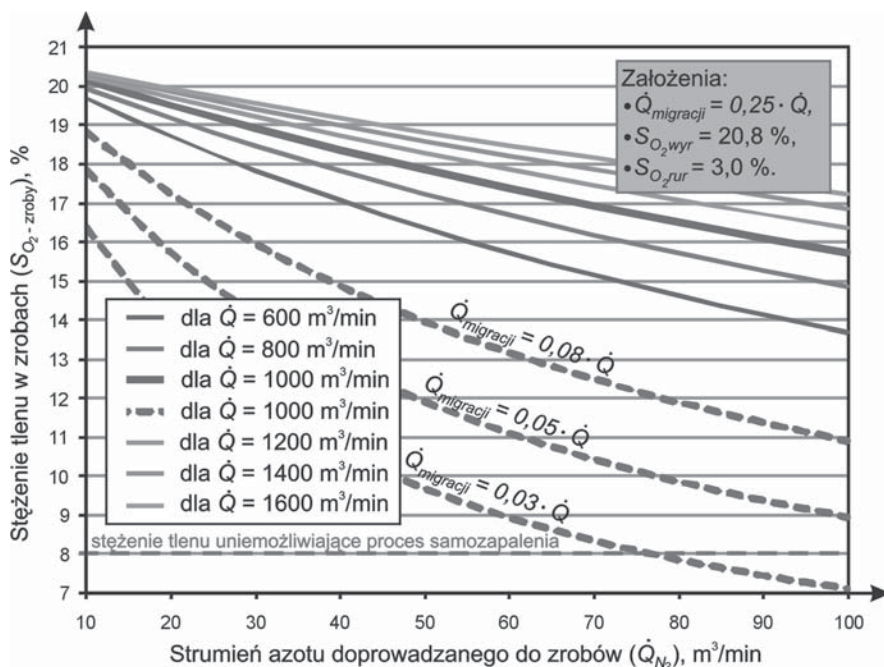
W obliczeniach przyjęto następujące założenia:

- około 25% powietrza doprowadzanego do ściany przepływać będzie przez strefę zawałową na odległość do 70 m od frontu ściany zgodnie z rysunkiem 3;
- stężenie tlenu na wlocie do ściany ( $S_{O_2 \text{ wyr}}$ ) wynosić będzie 20,8% obj.;
- do zrobów doprowadzany jest azot o stężeniu 97% obj. (= 3%).

Z rysunku 5 wynika, że efekt obniżenia stężenia tlenu w zrobach ściany zależy będzie od ilości doprowadzanego powietrza i podawanego azotu. Osiągnięcie 8-procentowego stężenia tlenu przy doprowadzaniu do ściany 1450 m<sup>3</sup>/min powietrza wymagałoby doprowadzenia około 930 m<sup>3</sup>/min azotu. Jest to ilość przekraczająca możliwości techniczne pojedynczych urządzeń stosowanych w Polsce (tab. 1). Wydajności urządzeń do wytwarzania azotu (zgazowanie ciekłego azotu lub uzyskiwanie z powietrza) wynoszą maksymalnie 2000 N·m<sup>3</sup>/h, a najczęściej od 600 N·m<sup>3</sup>/h do 1000 N·m<sup>3</sup>/h. Zatem konieczne



byłoby wykorzystanie kilku urządzeń. Alternatywną możliwością jest zmniejszenie poziomu migracji powietrza dopływającego do zrobów ściany. Na rysunku 5 przerywanymi krzywymi zaznaczono zmiany stężenia tlenu w zrobach ściany przy doprowadzaniu 1000 m<sup>3</sup>/min przy założeniu różnych poziomów migracji do zrobów (3%, 5%, 8% powietrza doprowadzanego do ściany). Przy założeniu 3% migracji wymagana ilość doprowadzanego azotu wynosiłaby 110 m<sup>3</sup>/min.



Rys. 5. Zmiany stężenia tlenu w zrobach ściany przy systemie przewietrzania U w zależności od strumienia azotu doprowadzanego do zrobów

TABELA 1

Wydajność urządzeń do inertyzacji azotem stosowanych w górnictwie polskim

Rodzaj urządzenia	Wykorzystywana technologia	Wydajność urządzenia
		N·m <sup>3</sup> /min
PA	Zgazowanie ciepłego azotu na powierzchni	1,7–20
UZA-1		33,3
APA-1		33,3
AUG-2	Zgazowanie ciepłego azotu w wyrobiskach	23,3
HPLC	Wytwarzanie azotu gazowego bezpośrednio z powietrza atmosferycznego	10

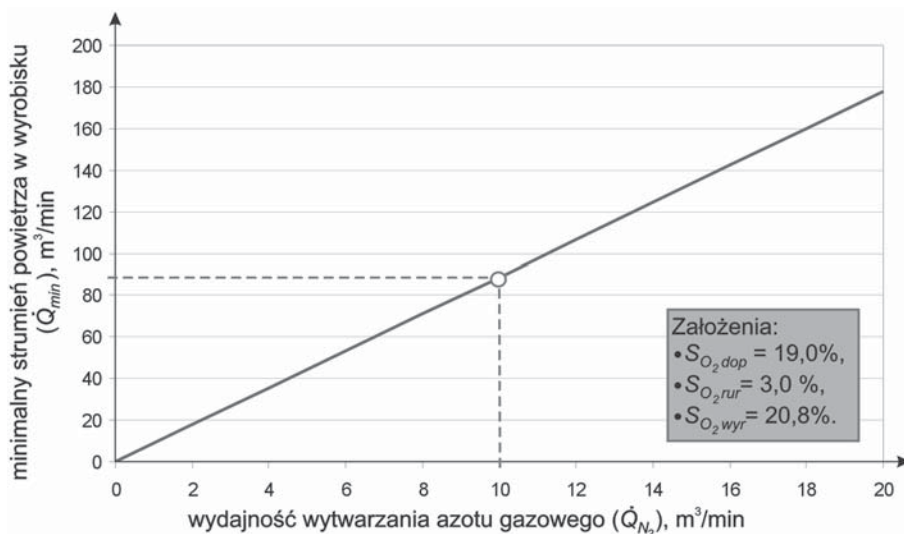


Na efektywność wykorzystania gazów inertnych mają wpływ różne czynniki, jednym z nich jest ciągłość podawania gazów inertnych do zagrożonych rejonów. Przy wstępnej ocenie wymaganej ilości gazu inertnego można zakładać, jak podaje CSRG [4], że pożądany efekt zostanie osiągnięty, gdy do zrobów podana zostanie ilość gazu inertnego przekraczająca trzykrotną objętość przestrzeni inertyzowanej. W przypadku aktywnej profilaktyki pożarowej w ścianie eksploatowanej to kryterium nie może być brane pod uwagę.

## 6. Zagrożenia podczas inertyzacji zrobów czynnej ściany

Ze względu na swe właściwości fizykochemiczne, a w szczególności na niewykrywalność azotu, nawet przy jego wyższych stężeniach przez organizm ludzki, istnieje niebezpieczeństwo spadku tlenu w powietrzu poniżej 19%. W celu zapewnienia bezpieczeństwa pracy w wyrobiskach z zabudowaną instalacją do podawania azotu określa się minimalną ilość powietrza w prądach opływowych, a także w wyrobiskach z wentylacją odrębną.

Na rysunku 6 zaznaczono znamionową wydajność wytwarzania azotu, którą można osiągnąć, stosując urządzenie membranowe HPLC; jest to  $600 \text{ N}\cdot\text{m}^3/\text{h}$  ( $10 \text{ m}^3/\text{min}$ ). Dla tej wydajności wytwarzania azotu minimalna ilość powietrza, którą należy zapewnić, aby zawartość tlenu w powietrzu nie była niższa od 19%, to ok.  $90 \text{ m}^3/\text{min}$ .



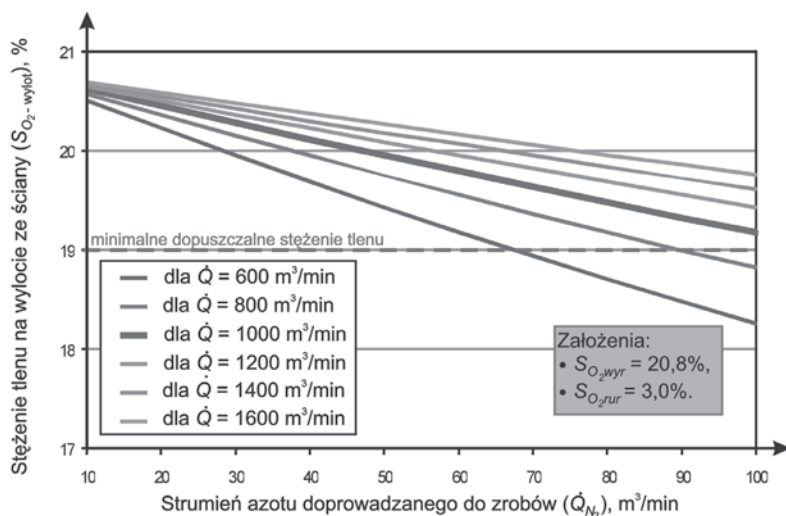
Rys. 6. Zmiany minimalnego strumienia powietrza w zależności od natężenia przepływu azotu w rurociągu

Zgodnie z założeniami profilaktyki ilość azotu podawanego do zrobów ściany powinna przede wszystkim obniżyć stężenia tlenu w zrobach. Z uwagi na dopływ powietrza do strefy zawału i jego wpływ na wylocie ściany nie będzie możliwe obniżenie stężenia tlenu w zrobach, które uniemożliwiłoby rozwój procesu samozagrzewania. Przyczyną jest

przede wszystkim wpływ gazów zrobotych wraz z azotem na wylocie ze ściany, co w przypadku znacznych ilości podawanego azotu prowadzić może z kolei do obniżenia stężenia tlenu w chodniku nadścianowym.

W chodniku odprowadzającym powietrze istnieje potencjalne zagrożenie gazowe związane z wypływem azotu wraz z gazami zrobotymi, w tym metanu. Azotowanie ściany metanowej o dużym zagrożeniu pożarowym winno być prowadzone pod szczególnym nadzorem, z pełnym monitoringiem atmosfery na skrzyżowaniu ściany z chodnikiem nadścianowym. W chodniku nadścianowym, odprowadzającym powietrze ze ściany, powinien być zabudowany tlenomierz automatyczny, rejestrująco-alarmujący.

Znając rozptyw powietrza przez zroboty, można obliczyć na podstawie bilansu masy spodziewane stężenie tlenu na wylocie ze ściany ( $S_{O_2-wyloc}$ ), przetwarzanej systemem U, w zależności od ilości wprowadzanego do zrobotów azotu, a także ilości powietrza dopływającego do ściany. Na rysunku 7 przedstawiono wyniki obliczeń różnych ilości powietrza dopływającego do ściany. Przyjęto takie same założenia jak przy sporządzaniu rysunku 5.



Rys. 7. Zmiany stężenia tlenu na wylocie ze ściany przewietrzanej systemem U w zależności od strumienia azotu doprowadzanego do zrobotów

## 7. Zabezpieczenie rejonu eksploatacyjnego w trakcie profilaktyki pożarowej z inertyzacją zrobotów

W czasie podawania azotu do zrobotów ściany należy zadbać o zapewnienie odpowiednich warunków bezpieczeństwa poprzez:

- dokładne oznaczenie trasy rurociągu z azotem i objęcie strefą zagrożenia pośredniego wyrobisk z rurociągiem, a także wyrobisk, w których może pojawić się azot w czasie prowadzenia inertyzacji;

- zapewnienie stabilności pracy wentylatorów głównego przewietrzania, wymuszających przepływ powietrza w tym rejonie;
- przerwanie przetłaczania azotu do rejonu w przypadku zaburzeń w sieci wentylacyjnej;
- wyznaczenie stref zagrożonych powstaniem strefy beztlenowej przed rozpoczęciem podawania azotu, a także oznaczenie tych stref w czasie prowadzenia inertyzacji;
- prowadzenie pomiarów kontrolnych w czasie podawania azotu (zarówno na drodze doprowadzenia azotu do rejonu, jak również w samym rejonie eksploatacyjnym):
  - ciśnienia tłoczonego azotu,
  - stężeń zatłaczanych gazów,
  - składu atmosfery na wylocie ze ściany (system wentylacji U) i na wylocie z chodnika nadścianowego (system wentylacji Y),
  - wydatku przepływu powietrza,
  - kontrolę trasy rurociągu;
- zapewnienie łączności telefonicznej na trasie rurociągu od miejsca podawania azotu do zrobów do miejsca jego podawania do rurociągu na powierzchni;
- wyposażenie osób biorących udział w pracach przy wtlaczaniu gazów do zrobów oraz osób znajdujących się inertyzowanym rejonie w aparaty regeneracyjne ucieczkowe.

## 8. Wnioski

- Najtańszą metodą likwidacji zagrożenia pożarowego w zrobach ściany eksploatacyjnej jest profilaktyka i wczesne wykrywanie procesów samozagrzewania.
- Inertyzację atmosfery można wykorzystywać do likwidacji zagrożeń pożarowych, gdy:
  - miejsce pożaru jest niedostępne,
  - samo gaszenie pożaru połączone jest z dużym niebezpieczeństwem wybuchu gazów pożarowych,
  - inne metody gaszenia pożaru są mało skuteczne.
- Azot znalazł największe zastosowanie spośród gazów inertnych i jako jedyny gaz inertny może być stosowany w rejonach objętych zagrożeniem pożarowym bez zamykania ich tamami izolacyjnymi.
- Lokalizacja miejsca wtlaczania azotu do zrobów musi być uzależniona od prognozowanego rozplywu powietrza w zrobach danej ściany.
- Podawanie azotu do zrobów czynnej ściany jest wskazane, lecz aby było skuteczne, musi się wiązać z:
  - zwiększeniem ilości podawanego azotu,
  - uszczelnieniem zrobów,
  - uszczelnieniem strefy likwidowanych chodników przyścianowych.
- Zwiększenie koncentracji azotu w powietrzu może spowodować powstanie atmosfery duszącej, dlatego w rejonach objętych inertyzacją konieczna jest kontrola stężenia tlenu.

## LITERATURA

- [1] *Adamus A.*: Review of nitrogen as an inert gas in underground mines. Journal of The Mine Ventilation Society of South Africa, Vol. 54, No. 3, July/September 2001
- [2] *Belle K.B., Cas T., De Klerk C.*: Inertisation of Mine Fires for South African Collieries-A Business Case. "Ninth International Mine Ventilation Congress", India, New Delhi, Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., 2009
- [3] *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
- [4] *Centralna Stacja Ratownictwa Górniczego S.A. w Bytomiu*: Zasady prowadzenia akcji ratowniczych i prac profilaktycznych z wykorzystaniem gazów inertnych. Bytom, 2002
- [5] *Centralna Stacja Ratownictwa Górniczego S.A. w Bytomiu*: Sposób prowadzenia akcji ratowniczych i prac profilaktycznych z wykorzystaniem gazów inertnych. Bytom, 2008
- [6] *Chorowski M.*: Kriogenika. Podstawy i zastosowania. I.P.P.U. MASTA Sp. z o.o. 2007
- [7] *Cygankiewicz J.*: Model bezpiecznej eksploatacji górniczej w warunkach kumulacji i koincydencji zagrożeń wentylacyjnych, metanowych i pożarowych. w: Dziurzyński W. (red.), Kraków, Instytut Mechaniki Górnotworu Polskiej Akademii Nauk 2010
- [8] *Cygankiewicz J., Więckowski M.*: Warunki bezpiecznej eksploatacji pokładów węgla zagrożonych metanem, tapaniami i pożarami endogenicznymi. w: Władysław Konopko (red.), Katowice, Główny Instytut Górnicztwa 2010
- [9] *Czechowicz J.*: Zwalczanie pożarów w kopalniach silnie metanowych. Katowice, Wydawnictwo Śląsk 1972
- [10] *Maciejasz Z., Kruk F.*: Pożary podziemne w kopalniach. Część I. Katowice, Wydawnictwo Śląsk 1977
- [11] *Mason T.N. i in.*: Gob fires, part 2, the revival of heatings by leakage of air. Paper of Safety in Mines Research Board, No. 76., 1993
- [12] *Matuszewski K.*: Perspektywy stosowania azotu w profilaktyce pożarowej i do likwidacji powstałego zagrożenia pożarowego w polskich kopalniach węgla kamiennego. Miesięcznik WUG nr 7, 1998
- [13] *Nawrat S.*: Eksperymentalne i modelowe badania procesu wypełniania metanem otamowanych wyrobisk w kopalniach węgla kamiennego. Katowice, Prace naukowo-badawczo-wdrożeniowe EMAG, 1 (11), 1999
- [14] *Paczkowski M.*: Technika gaszenia pożarów podziemnych gazami inertnymi. Przegląd Górniczy, nr 5, 1990
- [15] *Strumiński A.*: Pożary podziemne. Wrocław, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej 1986
- [16] *Szlązak J.*: Metody obliczania rozptyłu powietrza i rozkładu stężenia metanu w zrobach ścian zawałowych. Przykłady wykorzystania. Gliwice, 2010
- [17] *Szlązak J., Szlązak N.*: Filtracja powietrza przez zroby ścian zawałowych w kopalniach węgla kamiennego. Kraków, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne 2005
- [18] *Szlązak J., Szlązak N.*: Ratownictwo górnicze. Kraków, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne 2007
- [19] *Szlązak J., Szlązak N., Obracaj D., Borowski M.*: Method of Determination of Methane Concentration in Goaf. "Ninth International Mine Ventilation Congress", India, New Delhi, Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., 2009
- [20] *Szlązak N., Yuan S., Obracaj D.*: Zagrożenie pożarowe w kopalniach węgla kamiennego i metody jego oceny. Kraków, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, 2005
- [21] *Tor A., Jakubów A., Ośliżło M., Szymik J., Zieleźnik J.*: Doświadczenia w inertyzacji z zastosowaniem dwutlenku węgla do zwalczania zagrożenia pożarowego w kopalniach Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. Zakopane, Materiały 3. Szkoły Aerologii Górniczej, 2004
- [22] [www.pmgpl.com.pl](http://www.pmgpl.com.pl), 2010