

# Zastosowanie innowacyjnej technologii inertyzacji zrobów czynnej ściany wydobywczej B-34 pokł.407/1-2 z użyciem gazów uzyskanych z oczyszczania spalin silnika gazowego spalającego metan

Data wpłynięcia do Redakcji: 03/2023  
Data akceptacji przez Redakcję do publikacji: 04/2023

2023, volume 12, issue 1, pp. 60-72

**Łukasz Szlązak**  
**Paweł Pawłowski**  
KWK „Borynia-Zofiówka-Bzie”, Poland

**Marian Lasek**  
**Zbigniew Czernecki**  
**Antoni Jakubów**  
„AZIS” Mining Service Sp. z o.o., Poland



**Streszczenie:** Przedstawiony artykuł jest kontynuacją referatów przedstawionych w ramach XXVII (2021) i XXVIII (2022) Konferencji z serii „Górnictwe Zagrozenia Naturalne”. W obu artykułach przedstawiono innowacyjną technologię prewencji pożarowej w zrobach opartą na zatłaczaniu mieszanin gazów inertnych azotu i dwutlenku węgla uzyskanych z oczyszczania spalin z silnika gazowego spalającego metan. Obecnie, w normalnych warunkach w kopalni węgla kamiennego, spaliny powstające w ramach spalania metanu emitowane są bezpośrednio do atmosfery. Innowacyjna technologia inertyzacji, przetwarzająca i powtórnie wykorzystująca spaliny, produkowane przez silniki gazowe napędzane metanem, w kontekście ekologicznym przyczyni się do zmniejszenia wielkości emisji zanieczyszczeń w sektorze górnictwa, a jednocześnie, zintegrowanie dwutlenku węgla i azotu w odpowiednim stosunku w mieszaninie, stworzy możliwość pełnego wykorzystania zalet każdego z tych gazów, znanych w przypadku stosowania ich w osobnej formie. W rezultacie, biorąc pod uwagę możliwość wygenerowania zdecydowanie większej ilości gazów inertnych w jednostce czasu, w porównaniu do dostępnych technologii oraz połączenie właściwości fizykochemicznych azotu i dwutlenku węgla w ramach jednej mieszaniny, innowacyjne rozwiązanie technologiczne, w znaczący sposób zwiększa skuteczność prewencji pożarowej, obniżając tym samym prawdopodobieństwo wystąpienia pożaru endogenicznego..

**Słowa kluczowe:** pożary endogeniczne, prewencja zagrożenia pożarowego, skuteczna inertyzacja, katalityczne oczyszczanie spalin z silnika gazowego

## WPROWADZENIE

Požary endogeniczne w podziemiach kopalń węgla są nadal jednym z najczęstszych, a zarazem nieprzewidywalnych zagrożeń naturalnych, powodujących wielomilionowe straty. Nieprzewidywalność zjawiska jest rezultatem procesu samozagrzewania węgla, co może doprowadzić do jego samozapalenia. Pożary endogeniczne są często przyczyną wypadków, urazów i różnego rodzaju uszkodzeń ciała. W krytycznych przypadkach dochodziło w wyniku pożaru endogenicznego i zapalenia metanu do ofiar w ludziach. Istnieje więc potrzeba poszukiwania nowych, skuteczniejszych środków prewencji. Przedstawione w niniejszym artykule rozwiązanie wychodzi naprzeciw tym

zagadnieniom proponując wykorzystanie oczyszczonych spalin w prewencji pożarowej.

Dotychczas w górnictwie polskim do zwalczania pożarów endogenicznych stosuje się powszechnie azot i dwutlenek węgla, przy czym azot jest wytwarzany głównie z powietrza atmosferycznego w mobilnych wytwornicach. Dwutlenek węgla dostarczany jest od producentów w cysternach w postaci ciekłej, a następnie jest zgazowywany. Ten sposób prewencji pożarowej ma jednak wady:

- po pierwsze uniemożliwia uzyskanie dużych strumieni gazów (wydajność powszechnie stosowanych wytwornic dochodzi do 700 m<sup>3</sup> azotu na godzinę z jednej wytwornicy, a wydajność wyparnicy dwutlenku węgla umożliwia zatłaczanie tego gazu w ilości do 400 m<sup>3</sup> na godzinę), co ogranicza w pewnym stopniu skuteczność takiej prewencji,
- po drugie użycie tak wytwarzanych gazów jest kosztowne. Znacznie tańsze i bardziej wydajne, a tym samym skuteczniejsze będzie wykorzystanie spalin z silników gazowych, kotłów, itp., które po usunięciu resztek tlenu, oczyszczeniu z gazów toksycznych i ochłodzeniu zastąpić mogą z powodzeniem obecnie stosowany azot i dwutlenek węgla.

Dodatkową zaletą proponowanego rozwiązania będzie ograniczenie emisji dwutlenku węgla i innych szkodliwych gazów, które dotąd wraz ze spalinami dostawały się do atmosfery.

### **INNOWACYJNA TECHNOLOGIA INERTYZACJI ZROBÓW WYKORZYSTUJĄCA MIESZANINY GAZÓW INERTNYCH UZYSKANYCH Z OCZYSZCZANIA SPALIN SILNIKA GAZOWEGO**

Technologia inertyzacji wykorzystuje fakt, że za występowanie pożarów endogenicznych odpowiedzialny jest proces utleniania warstwy powierzchniowej węgla, prowadzący do samozapłonu. Istotą procesu jest to, że w obecności tlenu węgiel utlenia się nawet w niskiej temperaturze, na skutek czego, dochodzi do wydzielania ciepła. W pewnych warunkach, gdy dochodzi do kumulacji ciepła utleniania, powstaje ognisko samozagrzewania węgla, które może się przekształcić z kolei w ognisko pożaru. Zastosowanie gazów inertnych powoduje wyparcie tlenu i obniżenie jego stężenia do granicy uniemożliwiającej samozapłon węgla i w efekcie rozwój pożaru. Technologia ta służy przeciwdziałaniu wystąpienia pożaru, co z perspektywy kopalni jest niezwykle istotne. Jednakże, aby w pełni móc wykorzystać zalety procesu inertyzacji, konieczne jest spełnienie szeregu warunków jednocześnie. Do najważniejszych należy dostosowanie kluczowych parametrów zastosowanego gazu obojętnego (inertnego), ze szczególnym uwzględnieniem: rodzaju gazu, ilości i prędkości zatłaczania adekwatnej do warunków wentylacyjnych i górnictwo-geologicznych, charakterystycznych dla danego rejonu wydobywczego.

Obecne technologie posiadają ograniczenia uniemożliwiające zapewnienie właściwych wartości dla kluczowych parametrów, co ogranicza w pewnym stopniu skuteczność prewencji pożarowej. Stąd też wyzwaniem było opracowanie

innowacyjnej technologii ograniczającej utlenianie węgla, o większej wydajności i niższych kosztach pozyskiwania gazów inertnych, z jednoczesnym precyzyjnym określeniem miejsca podawania i ilości gazów w rejon zagrożony pożarem.

Jako strumień gazów inertnych zaplanowano wykorzystanie odpowiednio oczyszczonych z nadmiernej zawartości tlenu, tlenku węgla, tlenków azotu i innych szkodliwych substancji, a także schłodzenie do temperatury  $\approx 20^{\circ}\text{C}$  i sprężenie do ciśnienia  $\approx 6$  bar spalin z silnika gazowego spalającego metan [1]. W tym celu zaprojektowano i zbudowano instalację katalitycznego oczyszczania spalin, której konstrukcja jest połączona izolowanym termicznie rurociągiem z silnikiem gazowym, co umożliwia odpowiednie przygotowanie i przetworzenie części spalin silnika gazowego, a następnie ich ponowne wykorzystanie do inertyzacji. Instalacja prototypowa zabudowana została zgodnie z Projektem budowlanym na dzierżawionym od KWK „Borynia-Zofiówka” Ruch „Borynia” terenie o powierzchni  $750\text{ m}^2$ . Na uprzednio utwardzonym i ogrodzonym terenie posadowiono urządzenia i zamknięte kontenery, wchodzące w skład instalacji, wzajemnie połączone za pomocą rurociągów i przewodów kablowych.

W budowie tej instalacji wyróżniono następujące, elementarne układy funkcyjne [6]:

- a) układ katalizatora,
- b) układ chłodzenia gazów,
- c) układ sprężania i zatłaczania gazów,
- d) układ monitorowania,
- e) układ zasilania i sterowania.

Przedmiotowe rozwiązanie zrealizowane zostało przez Firmę AZIS Mining Service Sp. z o. o. w ramach projektu badawczo-rozwojowego pt. „Innowacyjna i skuteczna technologia inertyzacji zrobów rejonu czynnej lub otamowanej ściany wydobywczej w podziemnym zakładzie górniczym, wydobywającym węgiel kamienny, wykorzystująca mieszaniny gazów inertnych uzyskanych z oczyszczenia spalin z silnika gazowego i zapobiegająca powstawaniu pożarów endogenicznych” dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Ilość uzyskanych gazów inertnych z tej instalacji jest kilkukrotnie większa w porównaniu do obecnych technologii.

Celem niniejszego projektu badawczo-rozwojowego było pozyskanie nowej wiedzy związanej z:

- procesami utleniania różnych typów węgla kamiennego,
  - przepływem powietrza w rejonach eksploatacyjnych kopalni zagrożonych pożarem endogenicznym,
- topologią zatłaczania gazów inertnych oraz wykorzystaniem zdobytej wiedzy do opracowania innowacyjnej i skutecznej technologii inertyzacji zrobów górniczych.

Dla zwiększenia skuteczności opracowanej nowatorskiej metody prewencji pożarowej z wykorzystaniem oczyszczonych gazów spalinowych zaproponowano wdrożenie szeregu nowatorskich rozwiązań dotyczących [2]:

- nowych sposobów lokalizacji miejsc samozagrzewania lub pożaru,
- nowych metod wczesnego wykrywania pożarów,
- nowych sposobów ograniczania dopływu powietrza do zrobów polegających na doszczelnianiu zrobów (stref objętych inertyzacją) z wykorzystaniem nowatorskiej technologii wytwarzania pian – inhibitorów procesów utleniania,
- kształtowaniu pola potencjału aerodynamicznego wokół zrobów lub zaizolowanych wyrobisk dla uzyskania stabilnego przepływu gazów,
- (strumienia oczyszczonych spalin) przez miejsce samozagrzewania lub pożaru oraz ograniczenia do minimum dopływu tlenu do w/w miejsca,
- schładzania podawanej do zaizolowanych wyrobisk mieszaniny gazowej.

W ramach realizacji niniejszego projektu badawczego podjęto pracę nad w/w zagadnieniami.

Po zabudowie poszczególnych urządzeń i wykonaniu połączeń rurowych oraz kablowych dokonano w dniu 27.08.2020 r. odbioru technicznego elementów instalacji wytwarzania gazów inertnych i uzyskano zgodę na ruch próbny instalacji. W trakcie prowadzonego ruchu próbnego instalacji wykonano trzy serie pomiarów parametrów spalin i uzyskanego gazu inertnego. Uzyskane wyniki pomiarów zawartości tlenu przekraczające dopuszczalne przepisami 3% w mieszaninie gazu inertnego wymusiły dokonanie szeregu zmian w rozplywie gazów podczas procesu oczyszczania. W tym celu zmieniono układ pracy generatorów azotu i tlenu z szeregowego na równoległy. Wykonano prace w celu rozdzielenia generatora tlenu na dwa generatory pracujące w układzie szeregowym. Wykonano bypasy w celu dopływu na wlot drugiego generatora tlenu części mieszanki gazowej o obniżonej zawartości tlenu. Zabudowano zawory całkowitego rozładowania w kolumnach złożowych z gazów podczas desorpcji w generatorze tlenu. Wyrzut gazów z desorpcji w generatorze azotu skierowano do atmosfery [6]. Po rozruchu instalacji, w celu osiągnięcia optymalnego składu gazu inertnego oraz oceny technicznej pracy instalacji, przeprowadzono próbne podawanie gazu inertnego do zrobów ściany A-32 pokł. 404/1 łg. KWK „Borynia-Zofiówka” Ruch „Borynia”. Po wykonaniu prac walidacyjnych na instalacji dokonano próby dalszego podawania gazów w rejon ściany oraz wykonano badania chromatograficzne próbek gazu w laboratorium GIG.

Podczas podawania gazów do zrobów ściany w ilości około 2000 m<sup>3</sup>/h ciśnienie podawania gazów w instalacji wzrosło do 2 bar, przy prawidłowo pracujących urządzeniach. Wyniki pobranych gazów z instalacji do badań laboratoryjnych w analizie chromatograficznej wykazały zawartości tlenu poniżej 3% (osiągnięte założenie przeprowadzonych zmian).

Po przedstawieniu wyników pomiarów Kierownikowi Działu Wentylacji (KDW) i KRZG kopalni pozyskano informację, że warunkiem otrzymania zgody na podawanie gazów inertnych wytworzonych w instalacji oczyszczania spalin silnika gazowego do zrobów ściany jest między innymi pozytywna opinia rzeczoznawcy, np. Zakładu Aerologii Głównego Instytutu Górnictwa.

W celu uzyskania opinii GIG-u w dniach 14-23.04.2021 prowadzono całodniowy ruch instalacji i pobierano codzienne próby do analizy laboratoryjnej – 2 próby gazu z instalacji i 4 próby gazu z rejonu ściany A-32 pokł. 404/1.

Uzyskane wyniki z analizy składu gazów z instalacji i powietrza z rejonu ściany A-32 pokł. 404/1, a następnie ściany B-34 pokł.407/1-2 były podstawą do opracowania przez Główny Instytut Górnictwa w Katowicach następujących dokumentacji [3, 4]:

1. „Badanie stanu bezpieczeństwa załogi zatrudnionej w wyrobiskach KWK „Borynia-Zofiówka” Ruch „Borynia” sąsiadujących ze strefą, w której prowadzona będzie inertyzacja”,
2. „Prowadzenie oceny skuteczności pracy układu katalitycznego oczyszczania gazów w oparciu o precyzyjną analizę chromatograficzną gazów pobieranych na wylocie układu”. Przedmiotową ocenę skuteczności pracy układu katalitycznego przeprowadzono w oparciu o precyzyjną analizę chromatograficzną gazów pobieranych na wylocie układu”.
3. „Prowadzenie oceny skuteczności opracowanej metody inertyzacji poprzez badanie stanu zagrożenia pożarowego w wybranych rejonach kopalni poddanej takiej inertyzacji w oparciu o precyzyjną analizę chromatograficzną gazów, wraz z weryfikacją opracowanych zasad prewencji i analizą ewentualnego wprowadzenia metod zwiększenia jej skuteczności”.

Wyniki opracowań wskazują poprawność pracy instalacji pod względem parametrów gazu inertnego zawartych w przepisach górniczych. Również ilości i stężenia gazów dla najbardziej niekorzystnych warunków podawania nie stworzą zagrożenia dla bezpieczeństwa załogi górniczej pracującej w wyrobiskach sąsiadujących ze strefą, w której prowadzona jest inertyzacja. Przedmiotowa ściana A-32 pokł. 404/1, dla której wykonano badania i przewidywano podawanie gazów została wcześniej, z przyczyn geologiczno-górnictwa, zatrzymana i rozpoczęto jej likwidację. W związku z powyższym wcześniejsza likwidacja ściany A-32 w pokładzie 404/1 nie pozwoliła na przeprowadzenie oceny skuteczności innowacyjnej metody inertyzacji zrobów ściany wydobywczej.

Na prośbę firmy „AZIS”-Mining Service Sp. z o. o. oraz Głównego Instytutu Górnictwa do prowadzenia inertyzacji i oceny skuteczności inertyzacji gazami pochodzącymi z oczyszczania spalin silnika gazowego kopalnia wyznaczyła kolejną, uruchomioną w miesiącu maju 2021 r. ścianę B-34 w pokł. 407/1-2. Niestety początkowy bieg ściany w trudnych warunkach geologicznych, ograniczających jej postęp (z uwagi na zaburzenia tektoniczne, które wystąpiły po rozpoczęciu ruchu ściany B-34 w pokładzie 407/1-2, tempo eksploatacji zmalało praktycznie do ok. 5-10 metrów na miesiąc), uniemożliwił rozpoczęcie inertyzacji zrobów tej ściany z uwagi na stosunkowo niewielką pojemność przestrzeni zrobowej.

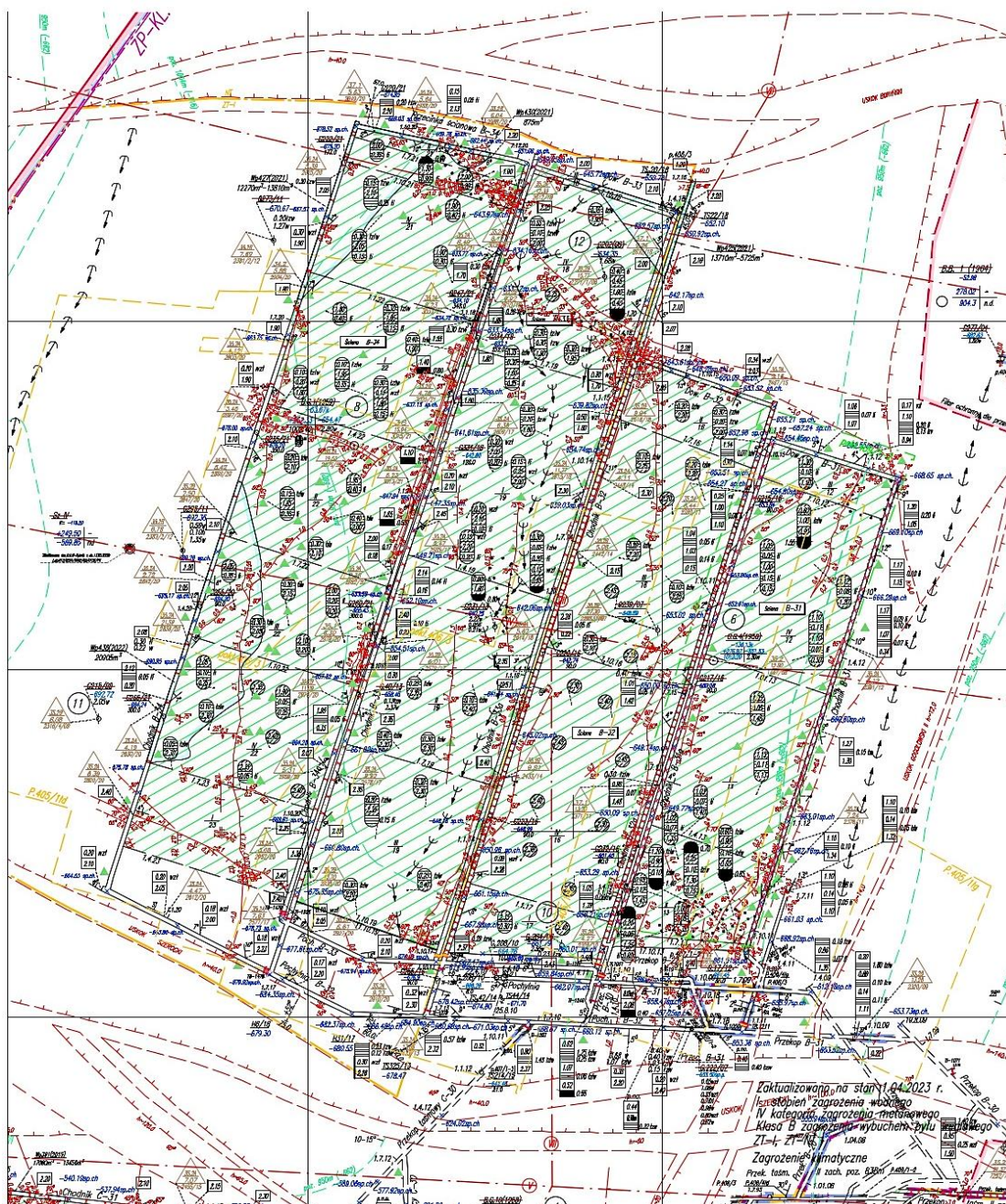
## **CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW GÓRNICZO-GEOLOGICZNYCH ŚCIANY B-34 POKŁ. 407/1-2 ORAZ SPOSOBÓW ZABEZPIECZENIA PRZED ZAGROŻENIEM POŻAROWYM (PROFILAKTYKA PPOŻ.)**

W obrębie ściany B-34 przewidywano wystąpienie licznych zaburzeń tektonicznych. Od początku postępu ściany do ~60,0 mb wystąpił uskok o zrzucie  $h \sim 1,9 \div 2,5$  m, skośny do frontu ściany, zrzucający warstwy na NE. Uskok ten wraz z postępem ściany przesuwał się w kierunku chodnika B-34a i na ~60,0 mb „wszedł” do chodnika. Dodatkowo w zrobach Ściany B-34 pozostawiano węgiel, co skutkowało wzrostem zagrożenia pożarowego. Ponadto w przecince ścianowej B-34 wystąpiły uskoki o zrzutach  $h = 0,6$  m i  $h = 0,8$  m zrzucające pokład na N, które wraz z postępem ściany zanikały. Na odcinku ~420,0 ÷ 430,0 mb wystąpił uskok  $h \sim 1,6$  m, prawie równoległy do frontu ściany, zrzucający pokład na NNE, od ~560,0 mb postępu ściany wystąpił uskok o zrzucie  $h \sim 1,0 \div 2,0$  m, skośny do frontu ściany, zrzucający warstwy na E, który przebiegał będzie do jej zakończenia. Na odcinku ~1035,0 ÷ 1045,0 mb postępu ściany wystąpi uskok o zrzucie  $h \sim 2,2$  m, prawie równoległy do frontu ściany, zrzucający warstwy na SSW. Ponadto występuje szereg uskoczków o zrzutach  $h \sim 0,2 \div 0,6$  m, stwierdzonych w chodniku B-34 i B-34a o różnych kierunkach przebiegu, zrzucających pokład na SW, N, NW, W, i SE. Mogą wystąpić również inne uskoki o zrzutach  $h = 0,2 \div 1,0$  m i różnych kierunkach przebiegu. Skały stropowe w rejonie uskoczków mogą być spękane i kruche, skłonne do opadania. Długość ściany mieścić się będzie w granicach od 241,5 m do 246,5 m. Nachylenie podłużne wyniesie od  $8^\circ$  do  $-1^\circ$ . Nachylenie poprzeczne ściany mieścić się będzie w przedziale od  $20^\circ$  do  $-10^\circ$ . Planowany wybieg całkowity ściany B-34 pokł.407/1-2 wynosi ~1122 m (rys. 1).

Ściana B-34 nadbudowana jest eksploatacją w pokładach: 406/3 i 405/1 łąd zalegających odpowiednio około  $35,0 \div 50,0$  m i  $110,0 \div 125,0$  m nad pokładem 407/1-2. Rejon eksploatowanej ściany B-34 nie jest podbudowany eksploatacją w pokładach leżących poniżej. Węgiel z rejonu ściany B-34 wg badań przeprowadzonych przez GIG w Katowicach, należy do II grupy samozapalności (o małej skłonności do samozapalenia), dla którego wskaźnik samozapalności  $S_{za} = 46,2$  OC/min, energia aktywacji  $A = 65,5$  kJ/mol, a minimalny okres inkubacji wynosi  $\tau_{ink} = 68$  dni.

Szczegółowe ustalenia w zakresie profilaktyki przeciwpożarowej dla ściany B-34 pokł. 407/1-2 ujęte są w planie prac profilaktycznych ppoż. opracowanej przez KDW i zatwierdzonej przez KRZG. Plan prac profilaktycznych aktualizowany jest okresowo wraz z postępem ściany i dostosowywany do występującego zagrożenia pożarowego.

Aktualna sytuacja wentylacyjno-pożarowa, występujący stan zagrożenia pożarowego oraz stosowana profilaktyka ppoż. są analizowane na kwartalnych oraz doraźnych posiedzeniach kopalnianych zespołów ds. przewietrzania, klimatyzacji, zagrożeń pożarowych, zagrożenia wybuchem pyłu węglowego i zagrożenia pyłami.



Rys. 1 Fragment mapy pokładu 407/1-2 - rejon Ściany B-34

Od dnia uruchomienia ściany prowadzone są następujące działania profilaktyczne:

- a) Pobierane są próby powietrza do analizy chemicznej, z częstotliwością 2 razy w tygodniu. W przypadku, gdy wartości wskaźnika Grahama  $G$  lub wskaźnika ilości tlenu węgla  $V_{CO}$ , obliczone na podstawie wyników prób powietrza, pobranych na stacjach pomiarowych zlokalizowanych w przepływowych prądach powietrza i przy zrobach w chodniku wentylacyjnym odprowadzającym zużyte powietrze ze ściany, przekroczą wartości:  $G > 0.0025$ , lub  $0 < V_{CO} \leq 10$  w [l/min], przy  $0.0010 < \Delta CO \leq 0.0026$  w [%], lub  $V_{CO} > 10$  w [l/min], należy pobierać próby powietrza do analizy chemicznej, z

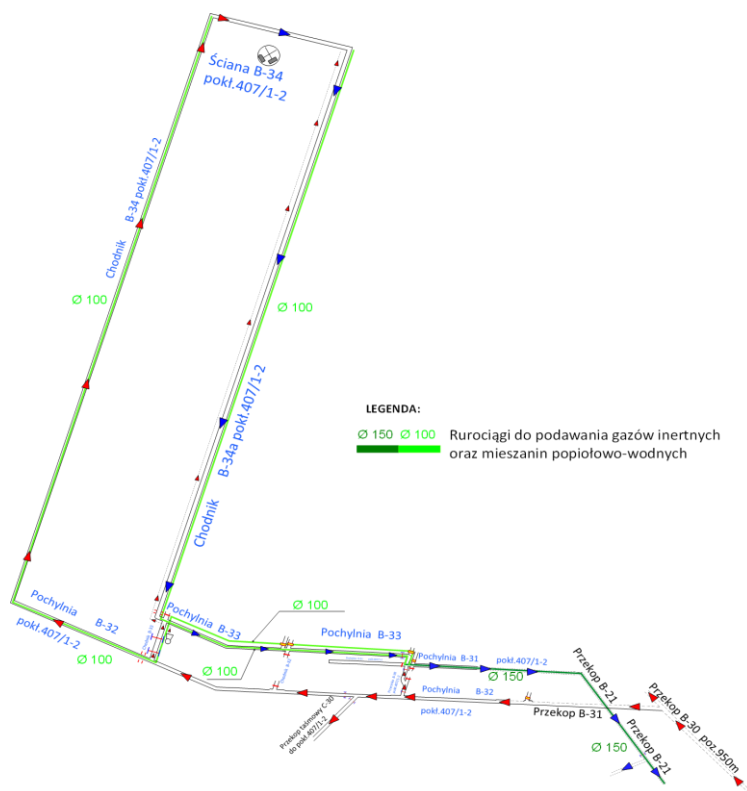
częstotliwością 3 razy w tygodniu. Ponowne pobieranie prób powietrza do analizy chemicznej, z częstotliwością 2 razy w tygodniu, należy wykonywać, w przypadku spadku wartości wskaźników pożarowych ( $G \leq 0.0025$ ,  $V_{CO} \leq 10$ ,  $\Delta CO < 0.0010$ ).

- b) Próby powietrza pobierane są z następujących punktów pomiarowych:
- ze ściany B-34 pokł. 407/1-2 z za ostatniej sekcji,
  - z chodnika B-34a pokł. 407/1-2 na linii likwidacji,
  - z chodnika B-34a pokł. 407/1-2, 10 m przed pochylnią B-33 pokł. 407/1-2 od strony ściany B-34 pokł. 407/1-2,
  - z chodnika B-34 pokł. 407/1-2, 10m przed wlotem do śc. B-34 p. 407/1-2.
- c) Po uruchomieniu odmetanowania pobierać próby powietrza do analizy chemicznej z rurociągu odmetanowania  $\varnothing 315$  mm z częstotliwością 1 raz na tydzień.
- d) W trakcie ruchu ściany w miarę możliwości podawane są do zrobów ściany naprzemiennie mieszanina popiołowo-wodna lub gazy inertne.
- e) Likwidacja chodników przyścianowych jest prowadzona zgodnie z technologią nr 85/2021/TGb.
- f) W razie konieczności prowadzone jest doszczelnianie dolnego lub górnego odcinka ściany B-34 pokł. 407/1-2 na odcinku od linii likwidacji chodnika do 5 sekcji obudowy zmechanizowanej przy pomocy piany „lekkiej”. Częstotliwość i zakres wykonania doszczelnień określa kierownik działu wentylacji.
- g) Ocios chodnika B-34 pokł. 407/1-2 za ścianą, jest uszczelniany płótnem wentylacyjnym, na długości od linii likwidacji chodnika do pierwszej sekcji.
- h) Dyspozytor gazometrii będzie obserwował i analizował wskazania czujników CO metrii automatycznej i o każdym wzroście powyżej 10 ppm, będzie powiadamiał niezwłocznie osobę dozoru wyższego wentylacji.
- i) Zabezpieczenie czujnikami gazometrycznymi i telemetrycznymi rejonu ściany B-34 pokł. 407/1-2, będzie realizowane zgodnie z aktualnym schematem, opracowanym przez KDW.
- j) W przypadku pozostawienia węgla w spągu w zrobach ściany B-34 pokł. 407/1-2, należy rozsypywać na spągu za przenośnikiem ścianowym środki obniżające skłonność węgla do samozapłonu lub wydłużające okres inkubacji pożaru endogenicznego (w ilości minimum 2 kg/m<sup>2</sup> odkrytego spągu) na długości pozostawionego węgla w spągu.

### **INERTYZACJA ZROBÓW ŚCIANY B-34 POKŁ. 407/1-2**

Wybrany rejon w kopalni „Borynia-Zofiówka” Ruch „Borynia”, w którym prowadzona jest inertyzacja zrobów ściany podczas jej biegu wymaga dostarczenia gazu inertnego przy pomocy rurociągów o różnych średnicach (100 mm, 150 mm, 185 mm) na odległość ponad 5000 metrów (w początkowym jej biegu), obecnie około 4000 metrów (rys. 2).





**Rys. 2 Schemat zabudowy rurociągów do podawania gazów inertnych oraz mieszanin z powierzchni, dla rejonu ściany B-34 pokł. 407/1-2**

Dla podawania oczyszczonych gazów spalinowych bezpośrednio do zrobów tej ściany służą dwa rurociągi średnicy 100 mm, zabudowane w chodniku B-34, tj. w wyrobisku doprowadzającym powietrze świeże do ściany B-34 oraz chodniku B-34a, tj. w wyrobisku odprowadzającym powietrze zużyte ze ściany B-34. Powietrze świeże do ściany B-34 prowadzone jest szybem II na poz. 950 m, a dalej następującymi wyrobiskami: objazdem szybu II poz. 950 m, przekopem kierunkowym S poz. 950 m, przecinką „S” poz. 950 m, przekopem taśmowym II zachodnim poz. 950 m, przekopem B-30, przekopem B-31, pochylnią B-32, chodnikiem B-34. Powietrze zużyte ze ściany jest odprowadzane do szybu III poz. 838 m, następującymi wyrobiskami: chodnikiem B-34a, pochylnią B-33, chodnikiem B-32a, pochylnią B-31 w pokł. 407/1-2, przekopem B-21, przekopem wentylacyjnym C-34, przekopem II zachodnim poz. 838 m, przekopem taśmowym II zachodnim poz. 838 m, przekopem taśmowym S poz. 838 m, przekopem wentylacyjnym C-1, pochylnią udostępniającą poz. 838 m, objazdem szybu III i szybem III na powierzchnię. Całkowity strumień objętości powietrza (wydatek) dostarczony w rejon ściany wynosi  $1300 \text{ m}^3/\text{min}$ , w tym strumień objętości prądu powietrza płynącego przez ścianę wynosi  $1000 \text{ m}^3/\text{min}$ , a strumień objętości powietrza doświeżającego prąd powietrza wypływający ze ściany,  $300 \text{ m}^3/\text{min}$ . Stosownie do ustaleń w zakresie profilaktyki przeciwpożarowej dla ściany B-34 pokł. 407/1-2 ujętych w planie prac profilaktycznych ppoż. w trakcie ruchu ściany, w miarę możliwości podawane są do zrobów ściany mieszanina popiołowo-wodna

lub gazy inertne. W okresie od uruchomienia ściany (maj 2021 r.) do 31.03.2023 r. zatłoczono 13900 ton pyłów, 3950 m<sup>3</sup> odpadu poflotacyjnego oraz 27310 m<sup>3</sup> wody. Konieczność i rodzaj podawanych mediów, jak również czas podawania każdorazowo jest uzgadniany z Kierownikiem Działu Wentylacji.

Przedmiotowa ściana została oddana do ruchu 12.05.2021 r. Obecnie wg stanu na dzień 01.04.2023 r. ściana wykonała 1086 mb postępu, a do zakończenia biegu ściany pozostało średnio około 36 mb.

W dniu 25.08.2021 r. Kopalnia rozpoczęła inertyzację zrobów ściany B-34 pokł. 407/1-2 za pomocą trzech kontenerowych wytwornic azotu WA-700 o wydajności około 700 m<sup>3</sup>/h (jedna azotnica). Azot podawany był dwoma rurociągami średnicy 100 mm od strony chodnika B-34 pokł. 407/1-2 oraz chodnika B-34a pokł. 407/1-2. Do dnia 26.09.2021r. do zrobów ściany zostało wtłoczonych około 1352400 m<sup>3</sup> azotu. Inertyzację zrobów ściany B-34 pokł. 407/1-2 mieszaniną azotu i dwutlenku węgla (gaz inertny wytworzony z oczyszczania spalin silnika gazowego) rozpoczęto, zgodnie z terminem ustalonym z Kopalnią, w drugiej połowie września 2021 r.

W dniach 27.09.2021-19.01.2022r., w ramach realizowanego projektu AZIS, wtłoczono do zrobów ściany B-34 pokł. 407/1-2 łącznie 4042985 m<sup>3</sup> mieszaniny gazów inertnych (N<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub>), w tym 30743 m<sup>3</sup> dwutlenku węgla. Łączny czas podawania gazów inertnych w powyższym okresie wyniósł 1733 h i 40 min.

Wydajność przepływu mieszaniny azotu i dwutlenku węgla wahała się od 2000-2900 m<sup>3</sup>/h przy zawartości 1,8-2,8% tlenu oraz 1,0-2,2% dwutlenku węgla. Ciśnienie azotu w rurociągu wynosiło od 2,7 do 3,3 bara, temperatura gazu od 18-24°C.

W okresie 21.01.-28.02.2022 r. (data zakończenia umowy z NCBiR na realizację projektu) nadal podawano gazy inertne z instalacji do ściany B-34 pokł. 407/1-2 oraz ściany C-31 pokł. 504/1. Łącznie zatłoczono do obu ścian 1950091 m<sup>3</sup> gazów inertnych, z tego 1365010 m<sup>3</sup> do zrobów ściany B-34 pokł. 407/1-2. W miesiącu kwietniu 2022 r. zawarta została, za zgodą Zarządu JSW S.A. z dnia 29.03.2022 r., umowa na okres 10-ciu miesięcy (do dnia 13.02.2023 r.), a następnie aneks do tej umowy z terminem realizacji do 31.03.2023 r. Przedmiotem umowy było wykonanie inertyzacji w celu prowadzenia profilaktyki pożarowej z wykorzystaniem gazów (azot + dwutlenek węgla lub azot) uzyskanych z oczyszczania spalin z silnika gazowego w KWK „Borynia-Zofiówka-Bzie” Ruch „Borynia”. Gaz inertny podawany był komercyjnie w ilościach 2000-2500 m<sup>3</sup>/h.

W okresie od 27.04.2022 r.-26.03.2023 r. do zrobów ściany B-34 pokł. 407/1-2 oraz częściowo do ściany C-31 pokł. 504/1 podano z instalacji AZIS łącznie 15327964 m<sup>3</sup> gazów inertnych. Ogółem od 28 sierpnia 2021 r. do 26 marca 2023 r. do ściany B-34 pokł. 407/1-2 zatłoczono 33618195 m<sup>3</sup> gazów inertnych, w tym 35903 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>. Od dnia 27.03.2023 r. kopalnia zawarła kolejną umowę na usługę inertyzacji w celu prowadzenia profilaktyki pożarowej z terminem realizacji 10.10.2023 r., obejmującym kontynuację inertyzacji również w okresie likwidacji

ściany, celem utrzymania niskich koncentracji  $O_2$  w części zrobowej, a co za tym idzie minimalizacji pożarem endogenicznym.

Dla zachowania stanu bezpieczeństwa załogi zatrudnionej w wyrobiskach sąsiadujących ze strefą, w której prowadzona jest inertyzacja z użyciem oczyszczonych gazów spalinowych dodatkowo zabudowano w chodnikach przyścianowych przed frontem ściany stacjonarne czujniki do pomiaru  $CO_2$  i  $CO$ . Do tej pory nie stwierdzono przekroczeń dopuszczalnych wartości stężeń w/w gazów na tych czujnikach.

## PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania B+R doprowadziły do zbudowania prototypu instalacji wytwarzania gazu inertnego jako mieszaniny azotu i dwutlenku węgla powstałych z oczyszczenia spalin silnika gazowego zasilanym metanem pochodzącym z odmetanowania kopalni, które to prowadzone jest dla zapewnienia bezpiecznej eksploatacji węgla kamiennego. Taki proces oczyszczania spalin silnika gazowego w celu wytworzenia gazu inertnego daje możliwość uzyskania gazu służącego nie tylko dla poprawy bezpieczeństwa przez zastosowanie go w procesie inertyzacji zrobów ścian w profilaktyce zwalczania zagrożenia pożarami endogenicznymi, ale również jest ważnym elementem ochrony środowiska przez lokowanie części dwutlenku węgla w wyrobiskach zrobowych ścian wydobywczych.

Do zrobów można podawać takie ilości gazów inertnych, które nie spowodują wypływu gazów zrobowych (np. tlenek węgla, metan, dwutlenek węgla) powodujących przekroczenie dopuszczalnych ich stężeń w powietrzu kopalnianym. Podczas ciągłego podawania przez kilka dni do zrobów ściany B-34 pokł. 407/1-2 gazu inertnego zawierającego około 1,5-2,5%  $CO_2$  stwierdzono podczas pomiarów stężenie 1% w rejonie ostatniej sekcji obudowy zmechanizowanej - co jest graniczną wartością dla tego gazu w obiegowym prądzie powietrza.

W warunkach ściany B-34 pokł. 407/1-2, dla której prowadzono inertyzację mieszaniną gazów wytwarzanych w instalacji, uzyskanie i podanie  $CO_2$  w ilościach 5, 10, lub 15% udziału w mieszaninie mogło by się okazać niemożliwe z punktu widzenia wypływu do powietrza kopalnianego, a co za tym idzie przekroczenia stężeń dopuszczalnych w powietrzu kopalnianym. W warunkach rzeczywistych ciągłe podawanie w procesie inertyzacji tak dużych ilości dwutlenku węgla w gazie inertnym do zrobów czynnych ścian wydobywczych może być bardzo trudne lub wręcz niemożliwe.

Jeśli chodzi o zwiększone zawartości takich gazów w gazie inertnym jak tlenek węgla, etylen, propylen, acetylen, wodór, które to gazy są badane podczas analizy chromatograficznej powietrza wypływającego ze zrobów i są podstawą do oceny stanu zagrożenia pożarowego, należy każdorazowo ocenić przed rozpoczęciem inertyzacji z udziałem takich gazów tło ich występowania.

Podsumowując należy stwierdzić, że prowadzona inertyzacja zrobów ściany B-34 w pokładzie 407/1-2 mieszaniną azotu i dwutlenku węgla ze spalin traktowanych

jako gaz inertny (wytworzony z oczyszczania spalin silnika gazowego) rozpoczęta 27.09.2021 r. i zakończona 19.01.2022 r. pozwoliła na utrzymanie stężeń istotnych gazów oraz izotopów wody na niskim lub nieznacznie podwyższonym poziomie. Wartości wskaźników pożarowych również utrzymywały się na niskim lub nieznacznie podwyższonym poziomie, co potwierdza pozytywny wpływ inertyzacji zrobów Ściany B-34 w pokładzie 407/1-2 na ustabilizowany niski poziom zagrożenia pożarami endogenicznymi. To zaś oznacza, że gazy spalinowe sprawdzają się jako gaz inertny [5].

W świetle powyższym należy podkreślić, że ponieważ nie doszło do zaawansowanego procesu samozagrzewania, to stosowane dotąd środki prewencji pożarowej były wystarczające. Nie było więc konieczności niezwłocznego zweryfikowania programu prac prewencyjnych. Uaktualniony zakres prac profilaktycznych uwzględnił wyjątkową specyfikę prowadzenia Ściany B-34 w pokładzie 407/1-2 wynikającą z nieprzewidzianego wystąpienia zaburzenia tektonicznego w początkowej fazie biegu tej ściany. Realizacja tego zakresu prac, obejmująca również podawanie spalin jako gazu inertnego, pozwoliła utrzymać poziom zagrożenia pożarem endogenicznym w fazie utleniania węgla.

## LITERATURA

- [1] Zb. Czernecki, A. Jakubów, M. Lasek: „Konceptcja innowacyjnej technologii inertyzacji zrobów z wykorzystaniem spalin silnika gazowego”. *IV Polski Kongres Górniczy, Materiały Konferencyjne*, Kraków 2017.
- [2] Dokumentacja pracy badawczo-usługowej Zakładu Aerologii Górniczej GIG – sprawozdanie z badań Etapu I – Badania przemysłowe projektu pt. „Innowacyjna i skuteczna technologia inertyzacji zrobów rejonu czynnej lub otamowanej ściany wydobywczej w podziemnym zakładzie górniczym, wydobywającym węgiel kamienny, wykorzystująca mieszaniny gazów inertnych uzyskanych z oczyszczenia spalin z silnika gazowego i zapobiegająca powstawaniu pożarów endogenicznych”. Opracowanie GIG. Katowice, kwiecień 2018. Praca niepublikowana.
- [3] Dokumentacja pracy badawczo-usługowej Zakładu Aerologii Górniczej GIG pt. „Wykonanie badania stanu bezpieczeństwa załogi zatrudnionej w wyrobiskach KWK „Borynia-Zofiówka” Ruch „Borynia” sąsiadujących ze strefą, w której prowadzona będzie inertyzacja”, wrzesień 2021 r. Praca niepublikowana.
- [4] Dokumentacja pracy badawczo-usługowej Zakładu Aerologii Górniczej GIG pt. „Prowadzenie oceny skuteczności pracy układu katalitycznego oczyszczania gazów w oparciu o precyzyjną analizę chromatograficzną gazów pobieranych na wylocie układu”, kwiecień 2021 r. Praca niepublikowana.
- [5] Dokumentacja pracy badawczo-usługowej Zakładu Aerologii Górniczej GIG pt. „Prowadzenie oceny skuteczności opracowanej metody inertyzacji poprzez badanie stanu zagrożenia pożarowego w wybranych rejonach kopalni poddanej takiej inertyzacji w oparciu o precyzyjną analizę chromatograficzną gazów, wraz z weryfikacją opracowanych zasad prewencji i analizą ewentualnego wprowadzenia metod zwiększenia jej skuteczności”.
- [6] Instalacja wytwarzania gazu inertnego uzyskanego z oczyszczenia spalin silnika gazowego agregatu prądotwórczego Jenbacher Typ JMS 612 GS-S.LC zabudowana w KWK „Borynia-Zofiówka” Ruch „Borynia”. Dokumentacja techniczna. Marzec 2020 r. Praca niepublikowana.

## **Inerting Goaves of Active Mining Longwall Using a Mixture of Inert Gases Obtained From Treatment of Gas Engine Exhaust Gases – Introducing the Results of Research and Development**

**Abstract:** The article continues and expands on the paper presented at the previous year's conference. The article presents an innovative technology of fire prevention in goaves, based on injection of nitrogen and carbon dioxide inert gas mixtures obtained from treatment of exhaust gases from a methane combusting gas engine. Currently, under normal conditions in a hard coal mine, the exhaust gases formed during combustion are emitted directly into the atmosphere. Innovative inerting technology which employs processing and reusing of the exhaust gases produced by methane-fueled gas engines, in an ecological context will contribute to the reduction of pollutant emissions in the mining sector. At the same time, integrating carbon dioxide and nitrogen in the correct ratio in the mixture allows to fully exploit the advantages of each of these gases, for which they are known when used in their separate forms. As a result, considering the possibility of generating a much larger amount of inert gases per time unit compared to the available technologies, and combining the physicochemical properties of nitrogen and carbon dioxide in one mixture, the innovative technological solution significantly increases the effectiveness of fire prevention, thus reducing the likelihood of an endogenous fire.

**Keywords:** endogenous fires, fire hazard prevention, effective inerting, catalytic purification of gas engine exhaust gases

### **Łukasz Szlązak**

KWK „Borynia-Zofiówka-Bzie”  
ul. Rybnicka 6, 44-335 Jastrzębie-Zdrój, Poland  
e-mail: lszlazak@zofiowka.jsw.pl

### **Paweł Pawłowski**

KWK „Borynia-Zofiówka-Bzie”, Ruch „Borynia”  
ul. Węglowa 4, 44-335 Jastrzębie-Zdrój, Poland  
e-mail: ppawlowski@borynia.jsw.pl

### **Marian Lasek**

„AZIS” Mining Service Sp. z o.o.  
Oś. 1-Maja 16 K, 44-304 Wodzisław Śl., Poland  
e-mail: lasek@azis.pl

### **Zbigniew Czernecki**

„AZIS” Mining Service Sp. z o.o.  
Oś. 1-Maja 16 K, 44-304 Wodzisław Śl., Poland  
e-mail: czernecki@azis.pl

### **Antoni Jakubów**

„AZIS” Mining Service Sp. z o.o.  
Oś. 1-Maja 16 K, 44-304 Wodzisław Śl., Poland  
e-mail: jakubow@azis.pl