

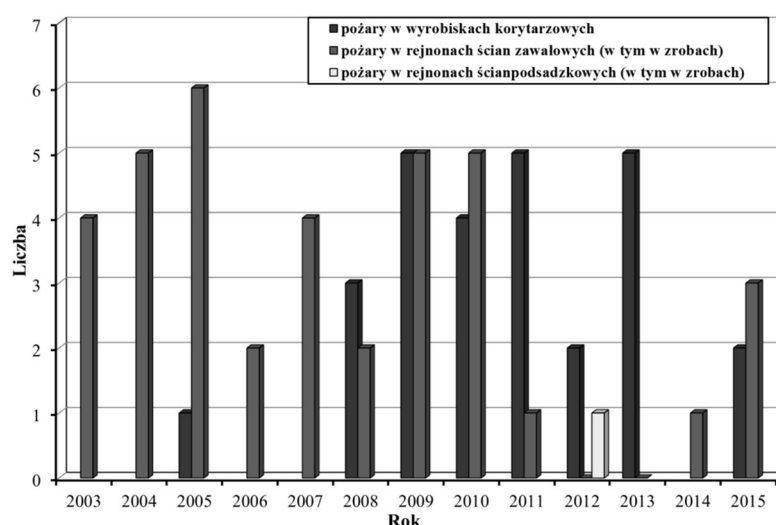
23

WYKORZYSTANIE CFD DO OKREŚLENIA WPŁYWU SYSTEMU PRZEWIETRZANIA ŚCIANY EKSPLOATACYJNEJ NA POŁOŻENIE I ZASIĘG STREFY SZCZEGÓLNEGO ZAGROŻENIA POŻARAMI ENDOGENICZNYMI W ZROBACH ZAWAŁOWYCH

23.1 WPROWADZENIE

Jednym z podstawowych i powszechnie występujących zagrożeń bezpieczeństwa pracy w podziemnych kopalniach węgla kamiennego na świecie, w tym w Polsce, jest zagrożenie pożarami endogenicznymi. Zagrożenie to oznacza możliwość samozapalenia się węgla w wyniku procesu jego samozagrzewania w wyrobisku górniczym lub też jego bezpośrednim otoczeniu.

W latach 2003-2015 w polskim górnictwie węgla kamiennego zarejestrowanych zostało łącznie 66 pożarów endogenicznych, z czego 39 stanowiły pożary endogeniczne zlokalizowane w rejonach ścian eksploatacyjnych, w tym w zrobach ścian zawałowych i podsadzkowych (rys. 23.1) [6].



Rys. 23.1 Liczba pożarów endogenicznych w latach 2003-2015 według miejsca ich wystąpienia

Główną przyczyną powstawania pożarów endogenicznych w zrobach zawałowych jest pozostawiony w nich rozdrobniony węgiel skłonny do samozapalenia oraz przepływające przez te zroby powietrze o odpowiedniej prędkości i odpowiednim stężeniu tlenu w tym powietrzu. Czynniki te przyczyniają się do zapoczątkowania procesu utleniania się węgla pozostawionego w zrobach zawałowych ścian.

Pozostawianie rozkruszonego węgla w zrobach zawałowych jest praktycznie niemożliwe do uniknięcia. Nawet jeżeli założymy, że eksploatowany pokład będzie wybierany „czysto”, to w zrobach zawałowych może znaleźć się węgiel np. z pozabilansowych pokładów. Wyeliminowanie zatem pozostawiania węgla w zrobach zawałowych podczas prowadzonej eksploatacji jest niezwykle trudne do uniknięcia i w obecnych warunkach praktycznie niemożliwe.

Podobnie jest z przepływem strumienia powietrza przez zroby zawałowe. Niezależnie od stosowanego systemu przewietrzania ściany i stosowanych środków minimalizujących ucieczki tego strumienia, zawsze pewna część strumienia wentylacyjnego będzie migrowała do zrobów zawałowych. A to z kolei, w przypadku występowania sprzyjających warunków, może doprowadzić do samozagrzewania węgla, prowadzącego do jego samozapalenia się.

Samozagrzewanie, a w rezultacie samozapłon rozkruszonego węgla pozostawionego w zrobach zawałowych ścian eksploatacyjnych, występuje wskutek przepływu przez nie strumienia powietrza o odpowiedniej prędkości i odpowiednim stężeniu tlenu. Obecność tlenu jest niezbędna dla zapoczątkowania reakcji niskotemperaturowego utleniania węgla. Podczas tego procesu wytwarzane jest ciepło i jeśli nie jest ono odprowadzone, to temperatura węgla rośnie, prowadząc do jego samozapalenia.

Najistotniejszym czynnikiem wpływającym na proces akumulacji ciepła jest prędkość strumienia powietrza przepływającego przez zroby zawałowe ściany eksploatacyjnej. Wyniki badań wskazują, iż krytyczna wartość prędkości strumienia powietrza, powodująca samozagrzewanie się węgla mieści się w zakresie od 0,0015 do 0,02 m/s. Jeśli prędkość ta jest niewielka (poniżej 0,0015 m/s), to proces samozagrzewania się węgla nie zostanie zapoczątkowany. Podobne zjawisko występuje przy dużej prędkości przepływu strumienia powietrza (powyżej 0,02 m/s), która uniemożliwia akumulację ciepła.

Podobnej klasyfikacji dokonać można ze względu na stężenie tlenu w strumieniu powietrza przepływającym przez zroby zawałowe. Przeprowadzone badania laboratoryjne utleniania próbek węgla wykazały, że wartość stężenia tlenu w strumieniu powietrza przy którym do ich samozapalenia nie dochodziło najczęściej wynosi mniej niż 8% [3, 4, 5, 12].

W związku z powyższym można sformułować następujące kryterium zagrożenia pożarami endogenicznymi w zrobach zawałowych [10]:

- Obecność rozdrobnionego, skłonnego do samozapalenia węgla pozostawionego w zrobach zawałowych,
- prędkość przepływu powietrza przez zroby zawałowe od 0,0015 m/s do 0,02 m/s,

– minimum 8% stężenie tlenu w powietrzu przepływającym przez zroby zawałowe.

Proces utleniania węgla w zrobach zawałowych zajść może w tym obszarze zrobów zawałowych, w którym spełnione są niezbędne warunki do jego zapoczątkowania. Obszar ten określić można mianem strefy szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi.

Położenie i zasięg strefy szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi w zrobach zawałowych ścian eksploatacyjnych uzależnione jest m.in. od stosowanego systemu przewietrzania tych wyrobisk.

W latach 2003-2015 najczęściej stosowanymi systemami przewietrzania ścian w polskich kopalniach węgla kamiennego były systemy na „U” od granic oraz na „Y”. W tym okresie pożary endogeniczne występowały w zrobach zawałowych ścian przewietrzanych tymi dwoma systemami: 20 pożarów endogenicznych zarejestrowano w zrobach zawałowych ścian przewietrzanych systemem na „U” od granic, a 10 pożarów endogenicznych w przypadku stosowania systemu przewietrzania na „Y” [6, 10].

Zasadnym zatem jest przeprowadzenie badań mających na celu analizę wpływu systemu przewietrzania ściany na zagrożenie pożarami endogenicznymi w zrobach zawałowych. Określenie tego wpływu możliwe jest poprzez wyznaczenie w zrobach zawałowych strefy szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi.

Wyznaczenie strefy szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi w warunkach dołowych w praktyce jest niemożliwe, ponieważ powstaje ona w niedostępnych miejscach, co praktycznie uniemożliwia przeprowadzenie badań rzeczywistych.

W ostatnich latach coraz szerzej do analizy zagadnień wentylacyjnych wykorzystuje się metody numeryczne. Metody te z powodzeniem mogą być stosowane do wariantowych analiz procesów związanych z przewietrzaniem podziemnych wyrobisk górniczych, a także w analizach stanów awaryjnych [2, 10].

Wykorzystanie numerycznej mechaniki płynów (CFD) umożliwia bardzo dokładne określenie parametrów fizycznych i chemicznych mieszaniny strumienia powietrza w dowolnym punkcie badanego wyrobiska górniczego, w tym w zrobach zawałowych. Wyznaczenie tych parametrów w oparciu o badania w warunkach rzeczywistych w przypadku przepływu strumienia powietrza przez zroby ścian zawałowych jest niemożliwe.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań modelowych mających na celu określenie wpływu systemu przewietrzania ścian eksploatacyjnych na "U" od granic "Y" na stan zagrożenia pożarami endogenicznymi w zrobach zawałowych poprzez wyznaczenie w nich strefy szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi.

Celem badań było wyznaczenie strefy szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi w zrobach zawałowych ścian przewietrzanych systemami na „U” od granic oraz na „Y” z uwagi na krytyczną prędkość strumienia powietrza i krytyczne stężenie tlenu w tym strumieniu.

23.2 TEORETYCZNY MATEMATYCZNY MODEL PRZEPIYU

Przepływ burzliwy płynu lepkiego i nieściśliwego opisany jest układem równań Naviera-Stokesa, które wraz z równaniem ciągłości stanowią kompletny układ zależności, pozwalający wyznaczyć ciśnienie oraz pole prędkości przepływu [1, 11].

Zagadnienia związane z transportem płynu rozwiązywane są w oparciu o następujące równania mechaniki płynów [1]:

– równanie zachowania ciągłości:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (23.1)$$

gdzie:

u, v, w – składowe wektora prędkości, m/s,

ρ – gęstość, kg/m³,

t – czas, s.

– równanie zachowania pędu

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \nabla \cdot (\rho v v) = -\nabla p + \nabla \tau + \rho g + F \quad (23.2)$$

gdzie:

p – ciśnienie statyczne, Pa,

τ – tensor naprężeń, Pa,

g – przyspieszenie grawitacyjne, m/s²,

F – siły wewnętrzne, N.

Podstawą opisu matematycznego procesu transportu wydzielającego się do podziemnego środowiska pracy gazów z górotworu jest zasada zachowania masy odniesiona do danego gazu. Model matematyczny transportu, będący układem równań adwekcji – dyfuzji, który dla i -tej substancji $i = 1, \dots, n$, przyjmuje następującą postać:

– równanie transportu substancji chemicznych

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho v Y_i) = -\nabla \cdot J_i + R_i + S_i \quad (23.3)$$

gdzie:

ρ – gęstość, kg/m³,

v – prędkość, m/s,

Y_i – udział molowy i -tego składnika,

J_i – strumień dyfuzji, kg/(m²s),

R_i – produkcja netto i -tego składnika w wyniku reakcji chemicznej,

S_i – człon źródłowy (np. emisji).

– równanie dyfuzji

$$J_i = -\left(\rho D_{i,m} + \frac{\mu_t}{Sc_t}\right) \nabla Y_i \quad (23.4)$$

gdzie:

$D_{i,m}$ – masowy współczynnik dyfuzji i -tego składnika mieszaniny, m²/s,

μ – współczynnik lepkości dynamicznej, Pa·s,

Sc_t – turbulentna liczba Schmidta, 0.7.

Przepływ powietrza przez zroby zawałowe jest przepływem przez ośrodek porowaty. Dlatego też do równania zachowania pędu wprowadzić należy dodatkowy człon źródłowy S_i opisujący ten przepływ:

$$S_i = -\left(\frac{\mu_g}{k} + C_2 \frac{1}{2} \rho_g |v|v\right) \quad (23.5)$$

gdzie:

C_2 – współczynnik oporu bezwładnościowego.

W modelu turbulencji $k - \varepsilon$ podstawowe równanie Naviera-Stokesa przekształcono w uśrednione równanie, zwane równaniem Reynoldsa. Równanie to zawiera dodatkowy człon w postaci tensora naprężeń Reynoldsa. Człon ten sprawia, że układ równań nie jest domknięty. Domknięcie układu równań wymaga wprowadzenia dodatkowych równań różniczkowych, którymi są równanie energii kinetycznej turbulencji oraz równanie dyssypacji energii kinetycznej turbulencji w postaci [1, 11]:

– równanie energii kinetycznej turbulencji

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}[(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial x_j}] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (23.6)$$

– równanie dyssypacji energii kinetycznej turbulencji

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}[(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (23.7)$$

$C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_{3\varepsilon}$ – stałe w równaniu dyssypacji energii kinetycznej,

$\sigma_k, \sigma_\varepsilon$ – turbulentna liczba Prandlta dla k oraz ε ,

G_b – energia turbulencji kinetycznej na skutek wyporu,

G_k – energia kinetyczna turbulencji spowodowana gradientem prędkości,

Y_M – zmienność rozprzestrzeniania się turbulencji,

S_k, S_ε – funkcje użytkownika.

23.3 MODEL PRZEPUSZCZALNOŚCI ZROBÓW ZAWAŁOWYCH

Złożoność zjawisk występujących w górotworze naruszonym eksploatacją górniczą powoduje, że nie jest on układem jednorodnym i izotropowym, a wartość współczynnika przepuszczalności zrobów zawałowych zmienia się m.in. wraz ze wzrostem odległości od frontu ściany.

Wartość współczynnika przepuszczalności zrobów wyznacza się w oparciu o wartość oporu rozwarstwienia skał stropowych tworzących zawał [7, 8, 9]:

$$R_{rrs} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{rri} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (23.8)$$

gdzie:

R_{rrs} – średnio ważony opór rozwarstwienia skał stropowych tworzących zawał, Pa,

R_{rri} – opór rozwarstwienia i -tej warstwy skał, Pa,

m_i – miąższość i -tej warstwy skał, m.

Obliczony na podstawie zależności 23.8 opór rozwarstwienia skał stropowych umożliwia wyznaczenie współczynnika przepuszczalności zrobów zawałowych z zależności [7, 8, 9]:

$$k(x) = \frac{\mu_g}{r_0 + ax^2}, \quad m^2 \quad (23.9)$$

dla $0 \leq x \leq 2/3 \cdot l$

gdzie:

μ_g – współczynnik lepkości dynamicznej powietrza, Nsm^{-2} ,

l – całkowity wybieg ściany,

r_0 – empiryczny współczynnik zależny od górniczo-geologicznych warunków zawału,

a – empiryczny współczynnik zależny od górniczo-geologicznych warunków zawału, oraz z zależności:

$$k(x) = \frac{\mu}{r_0 + a \left(\frac{4}{3}l - x \right)^2}, \quad m^2 \quad (23.10)$$

dla $2/3 \cdot l \leq x \leq l$.

Wartość współczynników empirycznych r_0 oraz a uzależniona jest od oporu rozwarstwienia skał stropowych tworzących zawał.

Wartość współczynnika r_0 wyznaczamy z zależności [7, 8, 9]:

$$r_0 = \frac{\mu}{k_0} \quad (23.11)$$

gdzie:

k_0 – współczynnik przepuszczalności zrobów zawałowych za frontem ściany, m^2 .

Wartość współczynnika a wyznaczamy z równania [7, 8, 9]:

$$a = 6 \cdot 10^9 R_{rrs}^{-1,74} \quad (23.12)$$

Wartość współczynnika przepuszczalności zrobów zawałowych k_0 za frontem ściany wyznacza się w oparciu o zależność [7, 8, 9]:

$$k_0 = \frac{\mu_g}{6} \cdot 10^{-10} R_{rrs}^{1,44} \quad (23.13)$$

Przedstawione zależności zostały wykorzystane przy wyznaczaniu wartości współczynnika przepuszczalności zrobów w badaniach modelowych.

23.4 BADANIA MODELOWE

Badania modelowe przepływu powietrza przez zroby zawałowe ściany C-31 eksploatowanej w pokładzie 415/1-2 przewietrzanej systemem na „U” od granic oraz ściany B-11 eksploatowanej w pokładzie 358/1 przewietrzanej systemem na „Y” przeprowadzono na modelach przestrzennych (trójwymiarowych). Badania te umożliwiły wyznaczenie rozkładów jego parametrów fizycznych i chemicznych, mających wpływ na zagrożenie pożarami endogenicznymi w zrobach.

Głównym celem przeprowadzonych analiz było wyznaczenie wpływu systemu przewietrzania ściany na położenie i zasięg strefy szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi w zrobach zawałowych badanych ścian.

23.4.1 Wyniki analizy dla ściany C-31 eksploatowanej w pokładzie 415/1-2

a) Charakterystyka warunków geologiczno-górnicznych

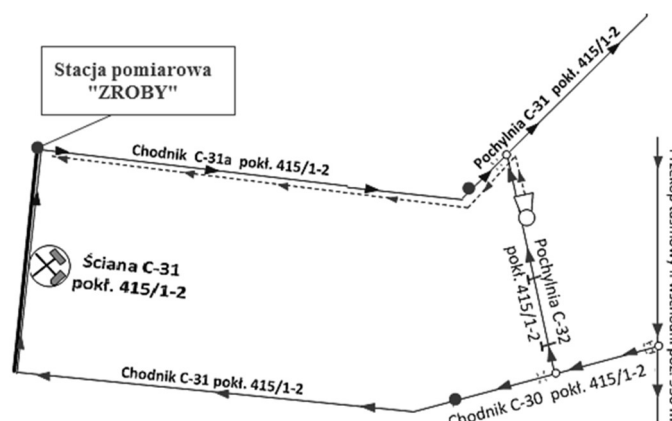
Ściana C-31 w pokładzie 415/1-2 eksploatowana była systemem podłużnym z zawałem stropu w kierunku od granic pola, a jej parametry górnicze wynosiły:

- długość ściany: 234,0 m
- wybieg ściany: 573,0 m
- miąższość: 3,0 m
- nachylenie poprzeczne: ok. 4°
- nachylenie podłużne: ok. 8°

Wytrzymałość na rozciąganie R_{rr} (średnia) skał stropowych wynosiła:

- dla łupka z laminami węgla: 2,30 MPa;
- dla łupka z węglem: 2,08 MPa;
- dla piaskowca: 6,10 MPa.

Ściana ta przewietrzana była systemem na „U” od granic. Na rysunku 23.2 przedstawiono schemat przewietrzania ściany wraz z zaznaczonymi kierunkami rozprywu powietrza.



Rys. 23.2 Schemat przestrzenny rejonu ściany C-31 eksploatowanej w pokładzie 415/1-2

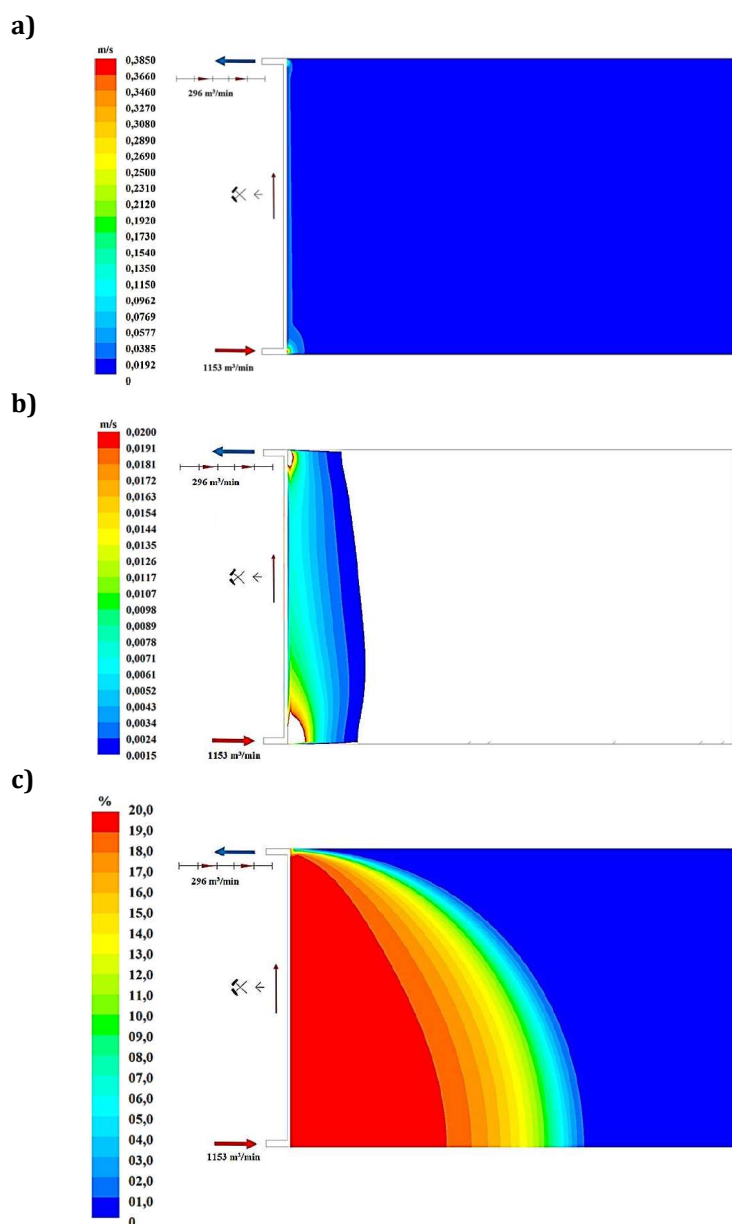
Do ściany chodnikiem podścianowym C-31 doprowadzano średnio około 1153 m³/min powietrza, a chodnikiem nadścianowym C-31a doprowadzano w rejon skrzyżowania ściany z tym chodnikiem na wylocie (ze ściany) około 296 m³/min powietrza wentylacją odrębną. Wydzielanie metanu ze zrobów zawałowych do ściany eksploatacyjnej wynosiło średnio 5,4 m³/min, a wartość średnia jego stężenia na wylocie z chodnika nadścianowego 0,31%.

Badania modelowe przepływu powietrza przez zroby zawałowe ściany C-31 w pokładzie 415/1-2 przeprowadzone zostały dla wybiegu ściany wynoszącego 372,5 m.

b) Wyznaczenie strefy szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi w zrobach zawałowych ściany C-31 w pokładzie 415/1-2

Badania modelowe przepływu powietrza przez zroby zawałowe ściany C-31 eksploatowanej w pokładzie 415/1-2 i przewietrzanej systemem na „U” od granic umożliwiły wyznaczenie rozkładów jego parametrów fizycznych i chemicznych, mających wpływ na zagrożenie pożarami endogenicznymi w zrobach.

Na rysunku 23.3 przedstawione zostały kolejno rozkłady prędkości, prędkości niebezpiecznej ze względu na zagrożenie pożarami endogenicznymi oraz stężenia tlenu w zrobach zawałowych ściany w odległości 2,0 m od spągu eksploatowanego pokładu. Na tej wysokości powietrze przepływające przez zroby zawałowe osiągnęło największą wartość prędkości.

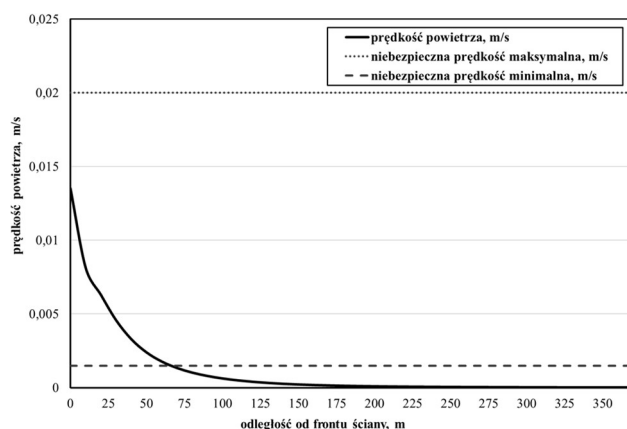


Rys. 23.3 Rozkład prędkości powietrza a), prędkości niebezpiecznej b), oraz stężenia tlenu c), w zrobach zawałowych ściany C-31 eksploatowanej w pokładzie 415/1-2

Największa wartość prędkości występuje za frontem ściany (linią zawału) od strony wlotu do ściany (dolne naroże) i od strony wylotu ze ściany (górne naroże).

Na podstawie przeprowadzonych badań modelowych przepływu powietrza wyznaczono charakterystyki zmian prędkości powietrza przepływającego przez zroby zawałowe badanej ściany.

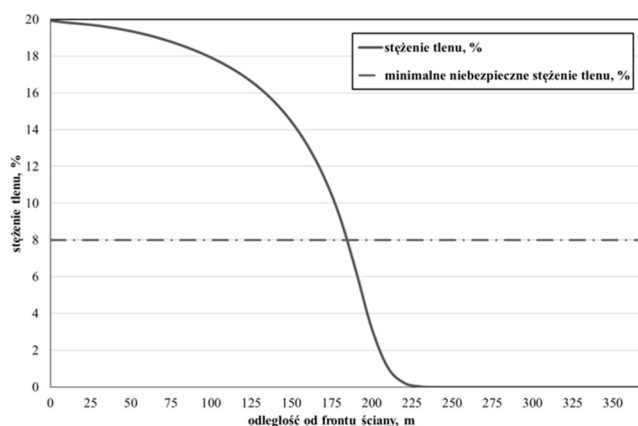
Na rysunku 23.4 przedstawiono charakterystykę wartości prędkości powietrza w zrobach zawałowych ściany C-31 w funkcji odległości od frontu ściany.



Rys. 23.4 Zmiana wartości prędkości powietrza przepływającego przez zroby zawałowe ściany C-31 eksploatowanej w pokładzie 415/1-2

Niebezpieczna prędkość ze względu na zagrożenie pożarami endogenicznymi (0,02 do 0,0015 m/s) w przypadku stosowania systemu przewietrzania ściany systemem na „U” od granic występuje od linii zawału do 71,0 m w głąb zrobów.

Na rysunku 23.5 przedstawiono charakterystykę stężenia tlenu w powietrzu przepływającym przez zroby zawałowe w funkcji odległości od frontu ściany.

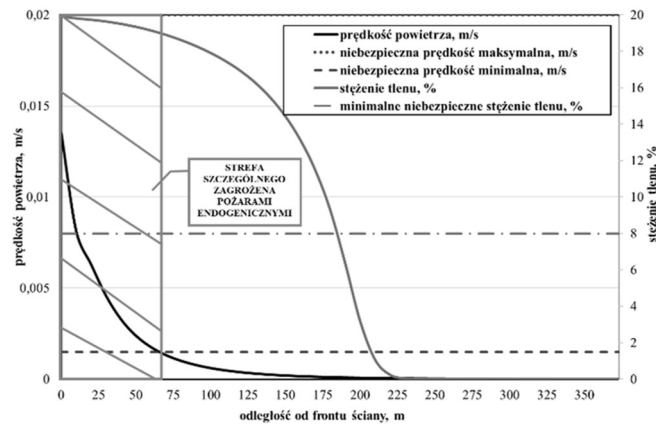


Rys. 23.5 Zmiana stężenia tlenu w powietrzu przepływającym przez zroby zawałowe ściany C-31 eksploatowanej w pokładzie 415/1-2

Na podstawie wyznaczonej charakterystyki stężenia tlenu w powietrzu przepływającym przez zroby zawałowe analizowanej ściany C-31 eksploatowanej w pokładzie 415/1-2 można stwierdzić, że wraz ze wzrostem odległości od frontu ściany stężenie tlenu w zrobach zawałowych maleje.

W odległości od linii zawału do 188,0 m w głąb zrobów stężenie tlenu w powietrzu przepływającym przez zrobry zawałowe osiąga wartość krytyczną ze względu na zagrożenie pożarami endogenicznymi, tj. wartość większą lub równą 8%.

Na podstawie wyznaczonych charakterystyk prędkości powietrza oraz stężenia tlenu w tym powietrzu wyznaczono strefę szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi. Zasięg tej strefy przedstawiano na rysunku 23.6 oraz w tabeli 23.1.



Rys. 23.6 Strefa szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi w zrobach ściany C-31 eksploatowanej w pokładzie 415/1-2

Tabela 23.1 Zasięg strefy szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi w zrobach ściany C-31 pokładzie 415/1-2

Strefa o krytycznej prędkości powietrza przepływającego przez zrobry zawałowe	Strefa o krytycznym stężeniu tlenu w powietrzu przepływającym przez zrobry zawałowe	Strefa szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi
0 – 71,0 m	0 – 188,0 m	0 - 71,0 m

23.4.2 Wyniki analizy dla ściany B-11 eksploatowanej w pokładzie 358/1

a) Charakterystyka warunków geologiczno-górnicznych

Ściana B-11 w pokładzie 358/1 eksploatowana była systemem podłużnym z zawałem stropu w kierunku od granic pola eksploatacji, a jej parametry górnicze wynosiły:

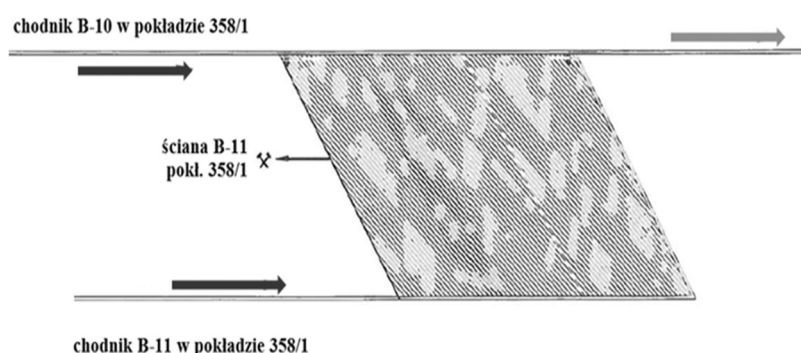
- długość ściany: 250,0 m
- wybieg ściany: 1220,0 m
- miąższość: 2,8 m
- nachylenie poprzeczne: ok. 2°
- nachylenie podłużne: ok. 4°

Wytrzymałość na rozciąganie R_{Tr} (średnia) skał stropowych wynosiła:

- dla łupka ilastego zapiaszczonego: 2,45 MPa;
- dla piaskowca: 6,10 MPa;
- dla łupka ilastego i piaszczystego: 2,70 MPa.

Ściana B-11 w pokładzie 358/1 przewietrzana była systemem na „Y” z odprowadzaniem powietrza wzdłuż zrobów zawałowych. Na rysunku 23.7

przedstawiono schemat przewietrzania ściany wraz z zaznaczonymi kierunkami rozplywu powietrza.



Rys. 23.7 Schemat przestrzenny rejonu ściany B - 11 eksploatowanej w pokładzie 358/1

Do ściany chodnikiem B-11 doprowadzano około 1119,0 m³/min powietrza, a chodnikiem B-10 doprowadzano w rejon skrzyżowania ściany z tym chodnikiem (wylot ze ściany) około 1029,0 m³/min powietrza. Wydzielanie metanu ze zrobów do ściany eksploatacyjnej wynosiło średnio 9,6 m³/min, a średnia wartość jego stężenia na wylocie z rejonu ściany wynosiła 0,64%.

Badania modelowe przepływu powietrza przez zroby zawałowe ściany B-11 eksploatowanej w pokładzie 358/1, umożliwiające wyznaczenie strefy szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi, przeprowadzone zostały dla wybiegu ściany wynoszącego 455,0 m.

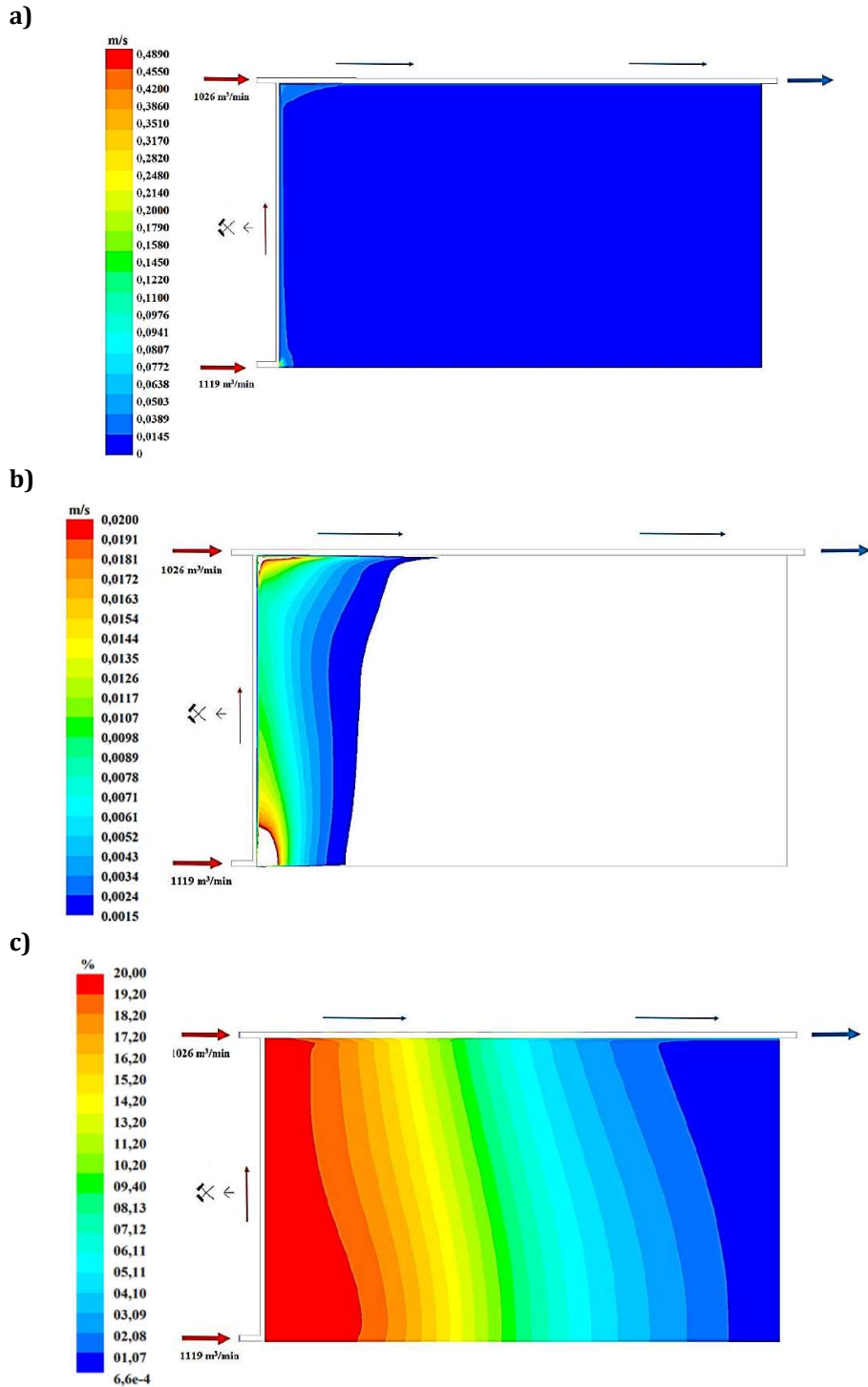
b) Wyznaczenie strefy szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi w zrobach zawałowych ściany B-11 w pokładzie 358/1

Badania modelowe przepływu powietrza przez zroby zawałowe ściany B-11 eksploatowanej w pokładzie 358/1 przewietrzanej systemem na „Y” umożliwiły wyznaczenie rozkładów jego parametrów fizycznych i chemicznych, mających wpływ na zagrożenie pożarami endogenicznymi w zrobach.

Na rysunku 23.8 przedstawione zostały kolejno rozkłady prędkości, prędkości niebezpiecznej ze względu na zagrożenie pożarami endogenicznymi oraz stężenia tlenu w zrobach zawałowych w odległości 2,0 m od spągu eksploatowanego pokładu.

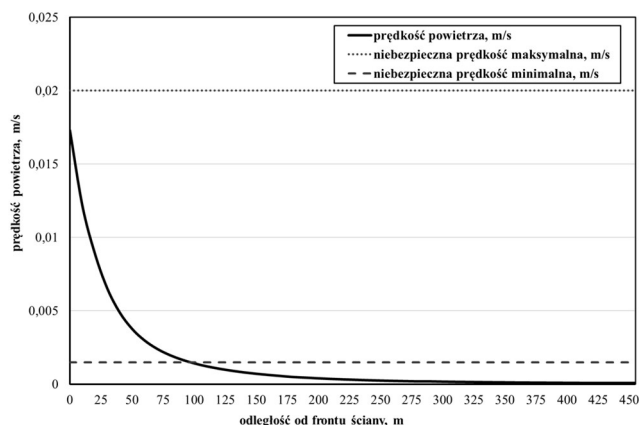
Największa wartość prędkości występuje za frontem ściany (linią zawału) od strony wlotu do ściany (dolne naroże) i od strony chodnika nadścianowego, którym płynie strumień powietrza doświetlający górne naroże ściany.

Na podstawie przeprowadzonych badań modelowych przepływu powietrza wyznaczono charakterystyki zmian prędkości powietrza przepływającego przez zroby zawałowe badanej ściany.



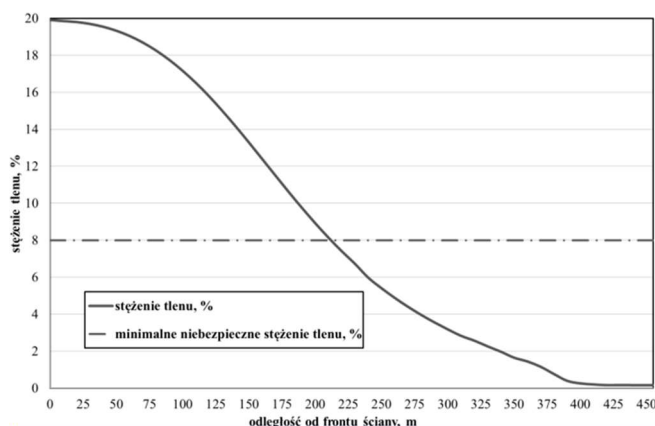
Rys.23.8 Rozkład prędkości powietrza a), prędkości niebezpiecznej b) oraz stężenia tlenu c) w zrobach zawałowych ściany B-11 eksploatowanej w pokładzie 358/1

Na rysunku 23.9 przedstawiono charakterystykę wartości prędkości powietrza w zrobach zawałowych ściany B-11 w funkcji odległości od frontu ściany. Niebezpieczna prędkość ze względu na zagrożenie pożarami endogenicznymi występuje od linii zawału do 94,0 m głąb zrobów.



Rys. 23.9 Zmiana wartości prędkości powietrza przepływającego przez zroby zawałowe ściany B-11 eksploatowanej w pokładzie 358/1

Na rysunku 23.10 przedstawiono charakterystykę stężenia tlenu w powietrzu przepływającym przez zroby zawałowe w funkcji odległości od frontu ściany.

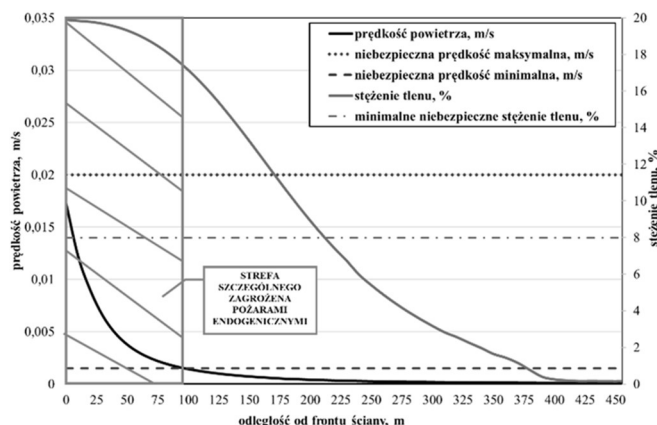


Rys. 23.10 Zmiana stężenia tlenu w powietrzu przepływającym przez zroby zawałowe ściany B-11 eksploatowanej w pokładzie 358/1

Na podstawie wyznaczonej charakterystyki stężenia tlenu w powietrzu przepływającym przez zroby zawałowe można stwierdzić, że wraz ze wzrostem odległości od frontu ściany stężenie tlenu w zrobach zawałowych maleje.

W odległości od linii zawału do 212,0 m w głąb zrobów stężenie tlenu w powietrzu przepływającym przez zroby zawałowe osiąga wartość krytyczną ze względu na zagrożenie pożarami endogenicznymi.

Na podstawie wyznaczonych charakterystyk prędkości powietrza oraz stężenia tlenu w powietrzu przepływającym przez zroby zawałowe wyznaczono strefę szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi. Zasięg tej strefy przedstawiano na rysunku 23.11 oraz w tabeli 23.2.



Rys. 23.11. Strefa szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi w zrobach ściany B-11 eksploatowanej w pokładzie 358/1

Tabela 23.2 Zasięg strefy szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi w zrobach ściany B-11 pokładzie 358/1

Strefa o krytycznej prędkości powietrza przepływającego przez zroby zawałowe	Strefa o krytycznym stężeniu tlenu w powietrzu przepływającym przez zroby zawałowe	Strefa szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi
0 – 94,0 m	0 – 212,0 m	0 – 94,0 m

23.5 PODSUMOWANIE

Opracowane i wykorzystane do analizy przepływu strumienia powietrza przez zroby zawałowe ścian eksploatacyjnych przewietrzanych systemami na „U” od granic oraz na „Y” modele wyrobisk umożliwiły wyznaczenie rozkładów parametrów fizycznych i chemicznych strumienia powietrza w zrobach zawałowych. Wyznaczone rozkłady umożliwiły wyznaczenie stref szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi w zrobach, w których prędkość strumienia powietrza wynosi od 0,0015 m/s do 0,02 m/s, a stężenie tlenu – min. 8%.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, iż na położenie i zasięg strefy szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi wpływa stosowany system przewietrzania ściany eksploatacyjnej.

Stosowanie systemu przewietrzania na „Y” powoduje, iż strefa szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi w zrobach zawałowych tej ściany ma większy zasięg, niż w przypadku przewietrzania ścian systemem na „U” od granic. Spowodowane to jest doprowadzaniem dodatkowego strumienia powietrza (doświeżania) do skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym. Powoduje to, że przez zroby zawałowe przepływa dodatkowy strumień powietrza, który migruje do nich chodnikiem wentylacyjnym utrzymywanym wzdłuż zrobów zawałowych.

Przeprowadzona analiza wykazała, że wraz ze wzrostem odległości od ściany, a więc zmniejszaniem się porowatości i przepuszczalności, prędkość strumienia powietrza przepływającego przez zroby zawałowe maleje niezależnie od stosowanego systemu przewietrzania ściany.

Zależność ta właściwa jest także dla rozkładu stężenia tlenu w zrobach, ponieważ wraz ze wzrostem odległości od ściany, stężenie tlenu maleje.

Uzyskane wyniki badań pozwoliły na dokładne wyznaczenie krytycznych wartości prędkości powietrza i stężenia tlenu w zrobach. Wyznaczenie krytycznej wartości prędkości strumienia powietrza przepływającego przez zroby zawałowe i krytycznej wartości stężenia tlenu ma istotne znaczenie przy wyznaczaniu w zrobach stref związanych z zagrożeniem pożarami endogenicznymi, tj. strefy szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi, a także strefy chłodzenia oraz strefy niedotlenienia.

W strefie szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi w zrobach zawałowych ściany prędkość strumienia powietrza i stężenie tlenu spełniają kryteria niezbędne do zapoczątkowania procesu samozagrzewania i samozapłonu.

Uzyskane wyniki jednoznacznie dowodzą, iż metody numeryczne mogą z powodzeniem być stosowane do wariantowych analiz procesów związanych z przewietrzaniem podziemnych wyrobisk górniczych, w tym do analiz związanych z przepływem strumienia powietrza przez zroby ścian zawałowych, a także w analizach stanów awaryjnych, a takim jest zapoczątkowanie procesu utleniania w sprzyjających warunkach prowadzącego do samozagrzewania i samozapłonu.

LITERATURA

1. „Ansys Fluent Theory Guide 14.0.” 2011.
2. J. Brodny, M. Tutak. „Numerical analysis of airflow and methane emitted from the mine face in a blind dog heading.” *Management Systems in Production Engineering*, 2, pp. 110-118, 2015. doi: [DOI 10.12914/MSPE-11-02-2015]
3. P. Buchwald. „Określenie podstawowego kryterium i parametrów oceny skuteczności zastosowania azotu w prewencji pożarów endogenicznych w przestrzeniach otamowanych.” *Kwartalnik Górnictwo i Geologia*, t. 4, z. 3, pp. 31-39, 2009.
4. S.H.G. Jiang, R.W. Zhang, K.Y. Chen. „Determination of spontaneous combustion three – zone by measuring gas consistency and temperature in goaf.” *Journal of China University Mining Technology*, vol. 18, issue 1, 1998.
5. C. Liu, S. Li, Q. Qiao, J. Wang, Z. Pan. „Management of spontaneous combustion in coal mine waste tips in China.” *Water, Air and Soil Pollution*, vol. 103, issue 1, pp. 441-444, 1998. doi: [DOI 10.1023/A:1004922620264]
6. R. Patyńska. (Ed.). *Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego*. Katowice: GIG, 2016.
7. J. Szlązak. *Przepływ powietrza przez strefę zawału w świetle badań teoretycznych i eksperymentalnych*. Kraków: Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, 2000.
8. J. Szlązak, N. Szlązak. *Filtracja powietrza przez zroby ścian zawałowych w kopalniach węgla kamiennego*. Kraków: Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, 2005.
9. J. Szlązak. *Metody obliczania rozprzysygu powietrza i rozkładu stężenia metanu w zrobach ścian zawałowych. Przykłady wykorzystania*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2012.
10. M. Tutak. „Wpływ systemu przewietrzania ściany na zagrożenie pożarami endogenicznymi w zrobach zawałowych.” Rozprawa doktorska, Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Gliwice, 2016.

11. K.K. Veersteg, W. Malalasekera. „An Introduction to Computational Fluid Dynamics. The Finite Volume Method.” Pearson Education, 2007.
12. X. Zhou. „Study on spontaneous combustion and explosion characteristic and prevention and control technology with high-gas and easily-spontaneous combustion coal seam in stope.” Ph.D. dissertation, Liaoning Technical University, 2006.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 10.2016

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 03.2017

dr inż. Magdalena Tutak

Politechnika Śląska,
Wydział Górnictwa i Geologii
Katedra Zarządzania
i Inżynierii Bezpieczeństwa
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice
e-mail: magdalena.tutak@polsl.pl

WYKORZYSTANIE CFD DO OKREŚLENIA WPŁYWU SYSTEMU PRZEWIETRZANIA ŚCIANY EKSPLOATACYJNEJ NA POŁOŻENIE I ZASIĘG STREFY SZCZEGÓLNEGO ZAGROŻENIA POŻARAMI ENDOGENICZNYMI W ZROBACH ZAWAŁOWYCH

Streszczenie: Podczas przewietrzania ścian eksploatacyjnych występuje migracja części strumienia powietrza do zrobów zawałowych. W przypadku gdy w zrobach tych znajdzie się węgiel skłonny do samozapalenia, to przepływ powietrza przez te zrobby może wpłynąć na powstanie w nich sprzyjających warunków do utleniania się węgla, a w dalszej kolejności do jego samozagrzewania i samozapłonu. Powstający w takich warunkach pożar endogeniczny może stanowić poważne zagrożenie dla załogi oraz ciągłości ruchu zakładu górniczego. W artykule przedstawiono wyniki analizy numerycznej przepływu strumienia powietrza przez zrobby ścian zawałowych przewietrzanych systemami na „U” od granic oraz na „Y”. Celem tej analizy było wyznaczenie w zrobach strefy szczególnego zagrożenia pożarami endogenicznymi. Dla określonych warunków górniczo-geologicznych wyznaczono krytyczne wartości prędkości przepływu powietrza i stężenia tlenu w zrobach, warunkujące rozpoczęcie procesu utleniania węgla.

Słowa kluczowe: CFD, pożar endogeniczny, ściana eksploatacyjna, zrobby zawałowe, przepływ powietrza

THE USING CFD TO DETERMINE THE IMPACT OF VENTILATION SYSTEMS ON THE LOCATION A ZONE PARTICULARLY ENDANGERED BY ENDOGENOUS FIRES IN LONGWALL GOAF

Abstract: In underground coal-mining during ventilating of operating longwalls takes place migration of parts of airflow to rockfall goaves. In a case when in these goaves a coal susceptible to self-ignition occurs, then the airflow through these goaves may influence on formation of favorable conditions for coal oxidation and subsequently to its self-heating and self-ignition. Endogenous fire formed in such conditions can pose a serious hazards for the crew and for continuity of operation of mining plant. In the paper results of numerical analysis of airflow through rockfall goaves ventilated in “U-type” from boundaries system and „Y-type” are presented. The aim of the analysis was to determine in these goaves a zone particularly endangered by endogenous fires. For determined mining-geological conditions, the critical value of velocity of airflow and oxygen concentration in goaves, conditioning initiation of coal oxidation process were determined.

Key words: CFD, endogenous fire, longwall, rockfall goaves, air flow