

O pewnej metodzie lokalizacji ogniska pożaru w zrobach

WACŁAW DZIURZYŃSKI, TERESA PAŁKA, ANDRZEJ KRACH

Instytut Mechaniki Górniczej PAN; ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków

Streszczenie

W artykule przedstawiono propozycję pewnej metody poszukiwania miejsca lokalizacji ogniska pożaru w zrobach czynnej ściany przewietrzanej systemem na „U” po caliznie węglowej. Zaproponowano zastosowanie metody komputerowej symulacji prognozowania rozptyłu mieszaniny powietrza i gazów pożarowych dla różnego położenia ogniska pożaru w obszarze zrobów i w wyrobiskach przyścianowych. Wykonano przykłady symulacji rozwoju ogniska pożaru w zrobach dla dwu położen ogniska pożaru. Zastosowanie tamy ograniczającej przepływ powietrza w ścianie pozwoliło na uzyskanie rozwiązań w postaci izolacji stężenia tlenu węgla, a obserwując miejsce wypływu tlenu węgla dla kolejnych miejsc stawiania tamy w ścianie, można uzyskać wskazówki prowadzące do lokalizacji ogniska pożaru. Uzupełnieniem proponowanej metody jest przeprowadzenie eksperymentu w rejonie ściany polegającym na pomiarze stężenia tlenu węgla po postawieniu tamy ograniczającej przepływ w ścianie oraz na analizie zdjęć wykonanych kamerą termowizyjną. Uzyskane wyniki z komputerowej symulacji przedstawiono graficznie na rysunkach, które poddano analizie, a w podsumowaniu wyciągnięto wnioski końcowe.

Słowa kluczowe: pożar w zrobach, lokalizacja ogniska pożaru, symulacja komputerowa

1. Wprowadzenie

Wieloletnie doświadczenia, wynikające z wydobywania kopalin użytecznych doprowadziło do zgromadzenia bogatej faktografii zdarzeń, szczególnie przydatnej dla stosowania metod badania procesu przewietrzania w obecności zaburzeń. W polskim górnictwie wystąpiło znaczne unowocześnienie środków zwiększających bezpieczeństwo pracy załóg górniczych. Do jednych z nich należy zaliczyć wprowadzenie do działów wentylacji i u dyspozytora kopalni systemu monitoringu oraz systemu programów komputerowych inżyniera wentylacji. System komputerowych programów inżyniera wentylacji umożliwia, poprzez obliczenia, kontrolę stanu przewietrzania np. poprzez wyznaczenie rozptyłu powietrza czy rozkładu stężenia gazów dla znanych źródeł dopływu [Gillies i in., 2005; Pritchard, 2010]. Ważnym celem poznawczym jest ustalenie sposobów zapewnienia skuteczności podawania zawiesin i dwutlenku węgla jako czynnika profilaktyki przeciwpożarowej w celu skutecznego ograniczenia rozwoju powstałego pożaru w zrobach. Istotne znaczenie ma podanie zawiesin i gazów inertnych możliwie jak najbliżej miejsca samozagrzenia węgla. W tym celu wykonano prace badawcze, prowadzące do opracowania sposobu lokalizacji źródła samozagrzenia. Zaproponowano, że zostanie zastosowana metoda komputerowej symulacji prognozowania rozptyłu mieszaniny powietrza i gazów pożarowych dla różnego położenia ogniska pożaru w obszarze zrobów i w wyrobiskach przyścianowych. Uzyskane wyniki z komputerowej symulacji przedstawiono graficznie na rysunkach, które poddano analizie, a w podsumowaniu wyciągnięto wnioski końcowe.

2. Metoda lokalizacji ogniska pożaru w zrobach – założenia

Proponowana metoda, której celem głównym jest przybliżenie miejsca lokalizacji ogniska pożaru w zrobach, polega na wykonaniu wielowariantowych prognoz rozptyłu gazów pożarowych w zrobach i wyrobiskach przyścianowych dla różnego położenia ogniska pożaru. Pozwoli to na uzyskanie zbioru rozwiązań dla charakterystycznych rozkładów stężeń gazów zarówno w zrobach, jak i w ścianie i wyrobiskach

przyścianowych. Istotnym elementem metody jest zastosowanie tamy ograniczającej przepływ w ścianie i w wyrobiskach przyścianowych. Metodę oparto o możliwe do zastosowania w praktyce górniczej działania:

- ograniczenie przepływu np. poprzez powieszenie tamy płóciennej w ścianie,
- pomiar rozkładu stężenia w wyrobiskach przyścianowych jednego ze składników gazów pożarowych, np. tlenu węgla,
- zdjęcia ociosów ściany od strony zrobów i wyrobisk przyścianowych wykonane kamerą termowizyjną.

Zastosowanie tamy ograniczającej przepływ powoduje inny rozkład ciśnień w ścianie, w wyrobiskach przyścianowych i w zrobach. Ta zmiana powoduje nowy rozkład prędkości gazów pożarowych w zrobach, a tym samym nowy rozkład ich stężenia. Zmianie ulega miejsce wypływu gazów pożarowych. Miejsce wypływu można wyznaczyć poprzez pomiar stężenia tlenu węgla w ścianie i w wyrobiskach przyścianowych. Dla przedstawienia wpływu zmiennych warunków przepływu na rozptył powietrza i gazów pożarowych w zrobach w czasie trwania pożaru zostały wykonane symulacje procesu przewietrzania analizowanego rejonu ściany D-31 i zrobów. Wyznaczenie rozkładu stężenia gazów pożarowych generowanych w ognisku pożaru, w zrobach i wyrobiskach przyścianowych pozwala uzyskać charakterystyczne sytuacje dla danej lokalizacji ogniska pożaru i położenia tamy wentylacyjnej.

W celu wyciągnięcia końcowych wniosków uzyskane charakterystyczne rozwiązania należy poddać analizie porównawczej. Reasumując metoda opiera się na:

1. symulacji numerycznej dla różnego położenia ogniska pożaru,
2. symulacji zmian w warunkach przewietrzania rejonu i zrobów,
3. analizie uzyskanych wyników symulacji oraz pomiarów i zdjęć.

Uzupełnieniem proponowanej metody jest przeprowadzenie eksperymentu w rejonie ściany polegającym na pomiarze stężenia tlenu węgla po postawieniu tamy ograniczającej przepływ w ścianie oraz na analizie zdjęć wykonanych kamerą termowizyjną.

3. Zastosowanie metody symulacji procesu przewietrzania do analizy rozptyłu powietrza i gazów pożarowych w obszarze zrobów

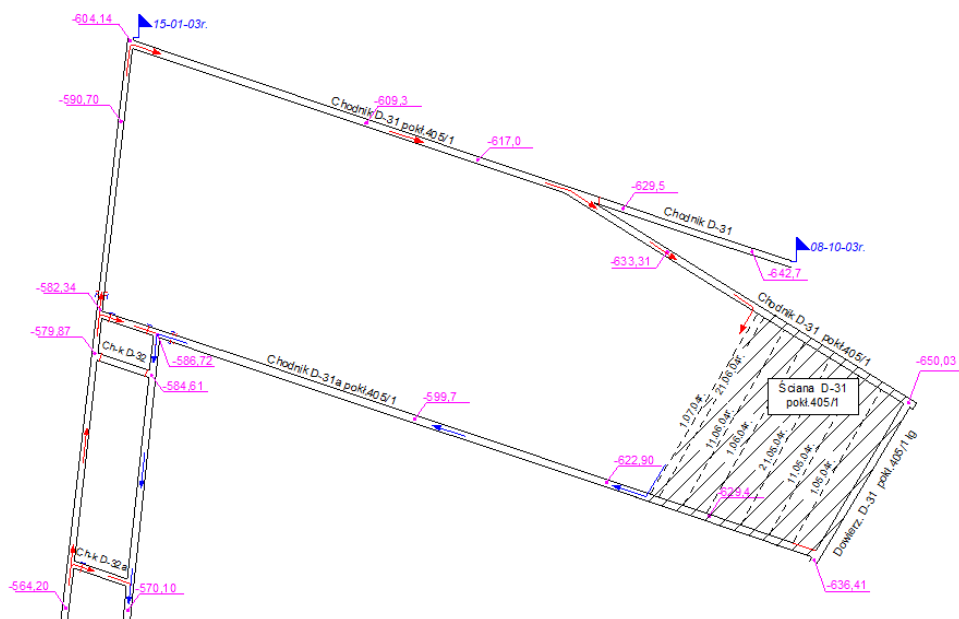
Pakiet programów komputerowych **VentGraph-Plus** umożliwia symulację procesu przewietrzania wyrobisk i zrobów ściany eksploatowanej z zawałem stropu. Zaistnienie ogniska pożaru w zrobach lub podawanie gazu inertnego i zawiesiny powoduje mieszanie się poszczególnych składników gazowych, wypełniających zroby, co zmienia ich rozkłady stężeń. Wykonanie wielu kolejnych symulacji, dla różnego położenia ogniska pożaru w zrobach, pozwoli na przedstawienie charakterystycznych rozwiązań dla danego położenia ogniska pożaru i proponowanego oddziaływania wentylacyjnego.

Realizacja postawionego celu wymaga:

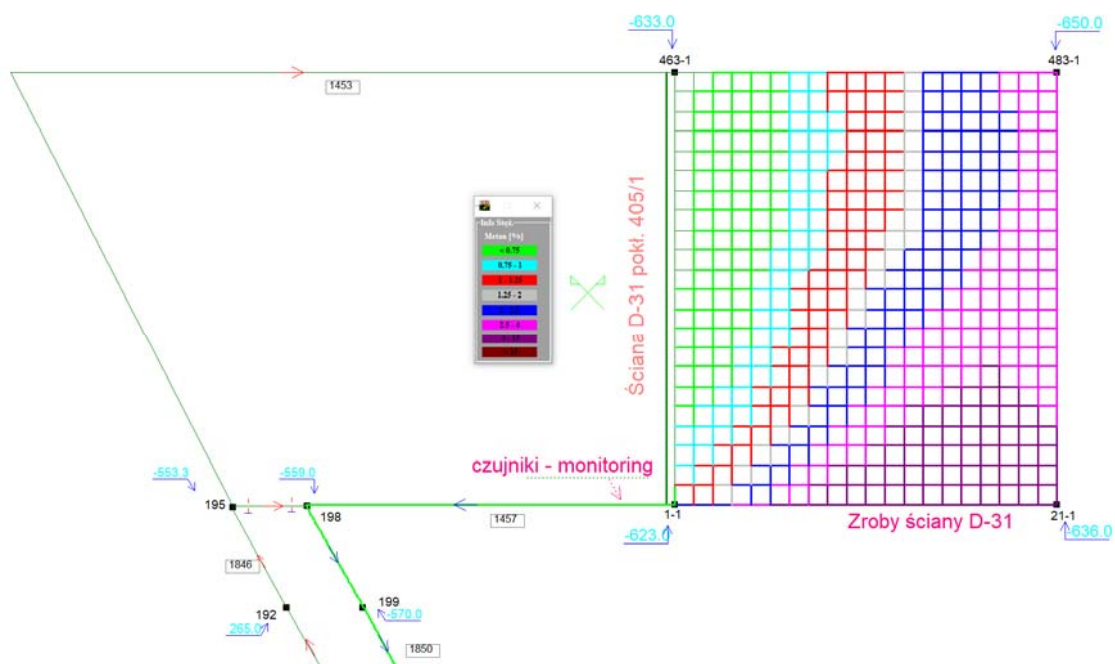
- analizy sytuacji warunków górniczo-geologicznych rejonu ściany D-31, na rysunku 1 pokazano mapę pokładową rejonu ściany,
- przygotowania bazy danych dla programu komputerowego **VentGraph-Plus**, w tym dane dla wyrobisk przyścianowych oraz dane charakteryzujące przepływ powietrza i gazów w zrobach ściany D-31 [Dziurzyński, 2002].
- opracowania modelu numerycznego i graficznego rozważanego rejonu,
- wykonania obliczeń rozptyłu gazów pożarowych dla wariantowych przykładów i rejestracji w postaci zbiorów rozkładów stężenia gazów inertnych, tlenu, metanu i produktów generowanych w ognisku pożaru w zrobach oraz w wyrobiskach rozważanego rejonu celem opracowania wyników wielowariantowych symulacji,
- analizy końcowej – przedstawienia wniosków.

Prezentacja wyników obliczeń programu **VentGraph-Plus** bazuje na wykorzystaniu grafiki komputera poprzez zastosowanie schematu przestrzennego wyrobisk, na który naniesiono kolorową, grubą linią rozkład stężenia gazów przepływającej mieszaniny w obszarze zrobów i w wyrobiskach przyścianowych, zgodnie z przyjętą skalą barw. Dla obszaru zrobów wykorzystano schemat składający się z zastępczych bocznic tworzących siatkę prostokątną. W węzłach siatki obliczane są wartości stężenia tlenu, metanu, podawanego gazu inertnego i produktów procesu spalania węgla w ognisku pożaru [Dziurzyński, 1991] w strumieniach powietrza wypływających z węzłów. Obliczana wartość stężenia jest przedstawiona w postaci pogrubio-

nego odcinka siatki reprezentującego bocznice, o kolorze zgodnym z przyjętą skalą barw. Zmiany stężenia mieszaniny powietrza i gazów w podobzszarze zrobów pokazują zmieniające się kolory siatki bocznic. Tak uzyskany obraz, który przedstawiono na rysunku 2, pokazuje w schematyczny sposób rozkład stężenia obserwowanego gazu w zrobach.



Rys. 1. Widok mapy pokładowej rejonu ściany D-31, pokład 450/1



Rys. 2. Schemat przestrzenny rejonu ściany D-31, pokład 450/1 kopalni B.
rozkład stężenia metanu – dopływ metanu 5 [m³/min]

Program posiada procedury wykonywania przerw programowych. Odpowiednie procedury umożliwiają zmiany w warunkach przewietrzania np. zmianę oporu wyrobiska, zmianę charakterystyki wentylatora, zmianę charakterystyki dopływu (zatłaczania) gazów inertych do zrobów.

Ponadto procedury komunikacji użytkownika z programem komputerowym umożliwiają:

- przedstawienie wprost na ekranie komputera wyników obliczeń wydatku przepływu, prędkości przepływu, stężenia podawanych gazów inertych, metanu, tlenu i wybranych gazów pożarowych, np. tlenu węgla zawartego w przepływającej mieszaniny powietrza i gazów w wyrobisku lub w zrobach,

- zapis wyników obliczeń na zewnętrzne zbiory danych o określonej nazwie dla rozkładów stężenia podawanych gazów inertnych, metanu, tlenu i wybranych gazów pożarowych, np. tlenku węgla zawartego w mieszaninie, dla każdego podobszaru zrobów.
- rejestrację wyników obliczeń w czasie, poprzez wykorzystanie wykresów czasowych z zainstalowanych wirtualnych czujników systemu monitoringu. Umożliwiają to następujące opcje programu:
- rozmieszczenie wirtualnych czujników pomiarowych w wybranych miejscach bocznic sieci wentylacyjnej: czujnik wydatku (prędkości), czujnik stężeń dwutlenku węgla, metanu, azotu, tlenu, tlenku węgla, czujnik temperatury przepływu mieszaniny, czujnik temperatury ogniska pożaru, czujnik strumienia ciepła generowanego w ognisku pożaru.
- możliwość dowolnego ustawiania sposobu rejestracji dla każdego czujnika oddzielnie. Można ustawić: zakres pomiarowy min i max, ilość podziału osi wartości mierzonej, okres próbkowania czujnika.
- przedstawienie wykresów wartości rejestrowanych wprost na ekranie komputera w formie przesuwanego okienka.
- rejestracja danych pomiarowych na dysku komputera umożliwiającą archiwizację.

Powyżej przedstawione sposoby prezentacji wyników obliczeń mają na celu ułatwić użytkownikowi programu bieżącą analizę rozpatrywanego zjawiska. Program komputerowy pozwala na prowadzenie obliczeń dla każdej sieci wentylacyjnej, dla której przygotowano dane zgodnie z przyjętym modelem matematycznym. Pozwala także badać możliwości symulacji procesu przewietrzania w aspekcie lokalizacji ogniska pożaru w zrobach.

3.1. Przygotowanie danych charakteryzujących przepływ mieszaniny powietrza i gazów w rejonie ściany D-31 kopalni Borynia – stan początkowy

Metoda prognozowania procesu przewietrzania wyrobisk i zrobów wymaga przygotowania danych zgodnie z przyjętym modelem matematycznym. Dla opracowania modelu numerycznego skorzystano z wykonanych pomiarów wentylacyjnych w rejonie ściany D-31 w kopalni Borynia, które obejmowały:

- wyznaczenie rozkładu ciśnień w węzłach sieci wyrobisk,
- wyznaczenie rozkładu temperatur,
- wyznaczenie wydatku przepływu powietrza w wybranych wyrobiskach rejonu ściany D-31 pokł. 405/1.

Na podstawie wykonanych pomiarów opracowano bazę danych, zgodną ze standardem systemu **VentGraph-Plus** [Dziurzyński i in., 2013]. Dodatkowo przygotowano dane geologiczno-górniczne dla rejonu ściany, które są przydatne dla opisu przepływu powietrza w zrobach. Pozwoliło to na wyznaczenie parametrów charakteryzujących przepływ powietrza i gazów w zrobach i w wyrobiskach przyścianowych. Ponadto, dla przygotowania danych początkowych do badań modelowych, odbyto szereg roboczych spotkań z przedstawicielami kopalni (działu Wentylacji). Uzyskano konieczne materiały i informację dotyczącą rejonu tj.:

- dane charakteryzujące aktualną eksploatację,
- mapy pokładowe, profile geologiczne,
- aktualną bazę danych dla sieci wentylacyjnej kopalni Borynia.

W opracowanym modelu numerycznym przyjęto, że wymiary obszaru zrobów wynoszą w kierunku osi X: wybieg ściany = 410 [m], osi Y: długość ściany = 220 [m].

Analiza schematu przestrzennego i mapy pokładowej 450/1 oraz wymienione powyżej informacje umożliwiły opracowanie modelu numerycznego rejonu ściany D-31 pokład 405/1, wraz z przyległymi zrobami. Wyniki obliczeń symulacji numerycznej rozprętu mieszaniny powietrza w rejonie wykazują, że do rejonu ściany dopływa 1453 m³/min powietrza. Należy zauważyć, że przepływ powietrza o takiej wartości powoduje głębokie przewietrzanie zrobów oraz wypływ gazów ze ściany D-31 do chodnika D31a [Nawrat, 1999]. Całkowity dopływ metanu do rejonu wynosi 5.2 [m³/min]. Na rysunku 3 w postaci graficznej przedstawiono przykładowe rozwiązanie pokazujące rozkład stężenia metanu w zrobach.

4. Wyznaczenie rozptyłu mieszaniny powietrza i gazów pożarowych w rejonie ściany D-31 dla różnego położenia ogniska pożaru

Ustalono program wariantowych obliczeń, którego celem jest przedstawienie głównych założeń metody i pokazania charakterystycznych rozwiązań dotyczących stanu w przepływie gazów zrobowych w warunkach istniejącego pożaru w zrobach. Zakłada się zmienne położenie wirtualnego ogniska pożaru w zrobach. Do rozważań przyjęto dwa różne położenia ogniska pożaru w zrobach:

1. Położenie ogniska pożaru w zrobach $x = 50 \text{ m}$, $y = 50 \text{ m}$,
2. Położenie ogniska pożaru w zrobach $x = 50 \text{ m}$, $y = 100 \text{ m}$.

Dla prezentacji rozwiązań przedstawione zostały rozkłady stężenia tlenku węgla, a znacznikiem wypływu tlenku węgla do ściany jest wybrana izolacja o ustalonym a priori stężeniu tlenku węgla. Należy zaznaczyć, że przedstawiane rozwiązania dotyczą wybranego, ustalonego rozptyłu powietrza i gazów w zrobach po wykonaniu zmian w warunkach przewietrzania. Nadmienić należy, że przedstawione rozwiązania obejmują wpływ ograniczenia przepływu przez ścianę na rozwój ogniska pożaru i generowanie przez niego gazów pożarowych (tlenek węgla). Czynność tą w przykładach symulowano poprzez stawianie tamy w ścianie:

- 60 metrów od wlotu,
- 115 metrów od wlotu
- 190 metrów od wlotu.

Ponadto, dodatkowo pokazano rejestracje czasowe zmian wydatku przepływu w ścianie, wynikającą ze stawiania tymczasowej tamy ograniczającej przepływ powietrza w ścianie D-31. Na uzyskane rozwiązania mają wpływ: wartość natężenia przepływu powietrza, opory wyrobisk oraz przylegające do ściany zroby. Analiza uzyskanego w wyniku symulacji początkowego rozptyłu powietrza w rejonie ściany pokazuje duże podobieństwo do sytuacji, jaka ma miejsce w rzeczywistych warunkach przewietrzania ściany D-31. Przyjmując, że opracowany model dobrze oddaje rzeczywiste warunki, w dalszym ciągu zostaną wykonane symulacje rozwoju ogniska pożaru w zrobach dla dwu lokalizacji ogniska pożaru w zrobach ściany D-31. Należy zaznaczyć, że przedstawiane rozwiązania dotyczą ustalonego rozptyłu powietrza i gazów w zrobach po wykonaniu zmian w warunkach przewietrzania.

4.1. Symulacja rozptyłu gazów pożarowych w zrobach ściany D-31

Symulacja obejmuje przedstawienie rozptyłu powietrza i gazów dla rozwoju ogniska pożaru w zrobach, zlokalizowanego w miejscu o współrzędnych $x = 50 \text{ m}$, $y = 50 \text{ m}$, zwanym dalej pozycją 1. Obszar obejmuje przepływ w strefie zrobów i charakteryzuje się prędkością przepływu powietrza w granicach od 12.5 [mm/s] do 14.5 [mm/s]. Wartości te dotyczą sytuacji przepływu nie tamowanego w ścianie D-31. W kolejnych symulacjach przepływ ten zostanie ograniczony poprzez stawianie tamy w ścianie w trzech położeniach. Przeprowadzone symulacje pozwoliły na uzyskanie charakterystycznych rozwiązań przedstawionych na kolejnych rysunkach.

Przykład 1:

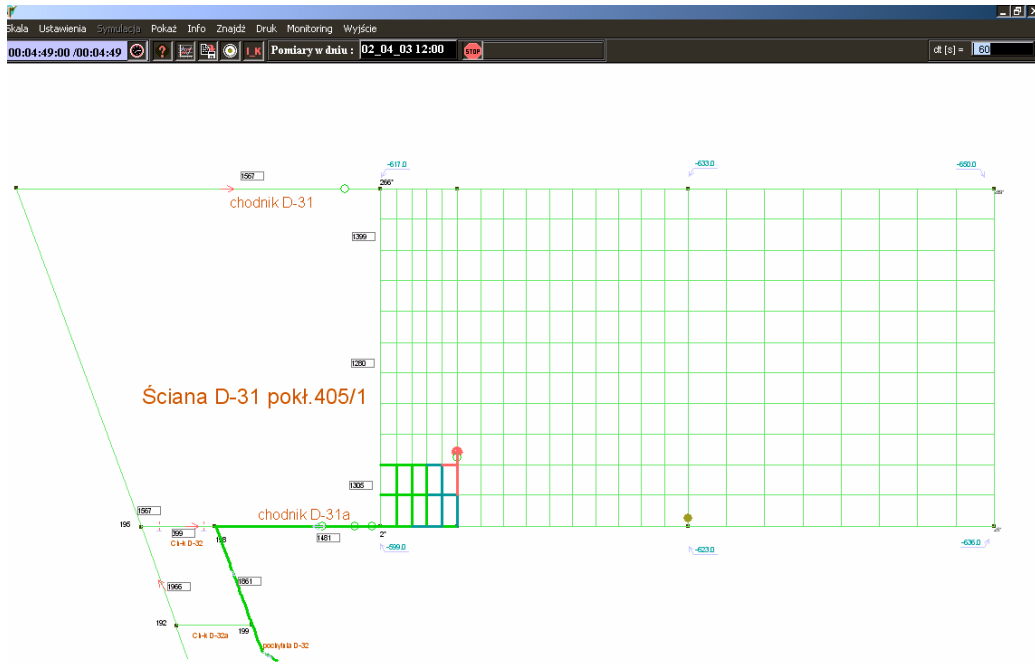
Rysunek 3 przedstawia rozptył gazów pożarowych w zrobach i został pokazany na schemacie przestrzennym rejonu ściany D-31 (ognisko pożaru w pozycji 1) w postaci rozkładu temperatury oznaczonej pogrubioną linią.

Następnie wykonano symulację rozptyłu powietrza i gazów dla ogniska pożaru w pozycji I dla przypadku postawienia tamy płóciennej w ścianie 190 m od wlotu do ściany, obliczona wartość przepływu powietrza w ścianie wynosi 1080 m³/min.

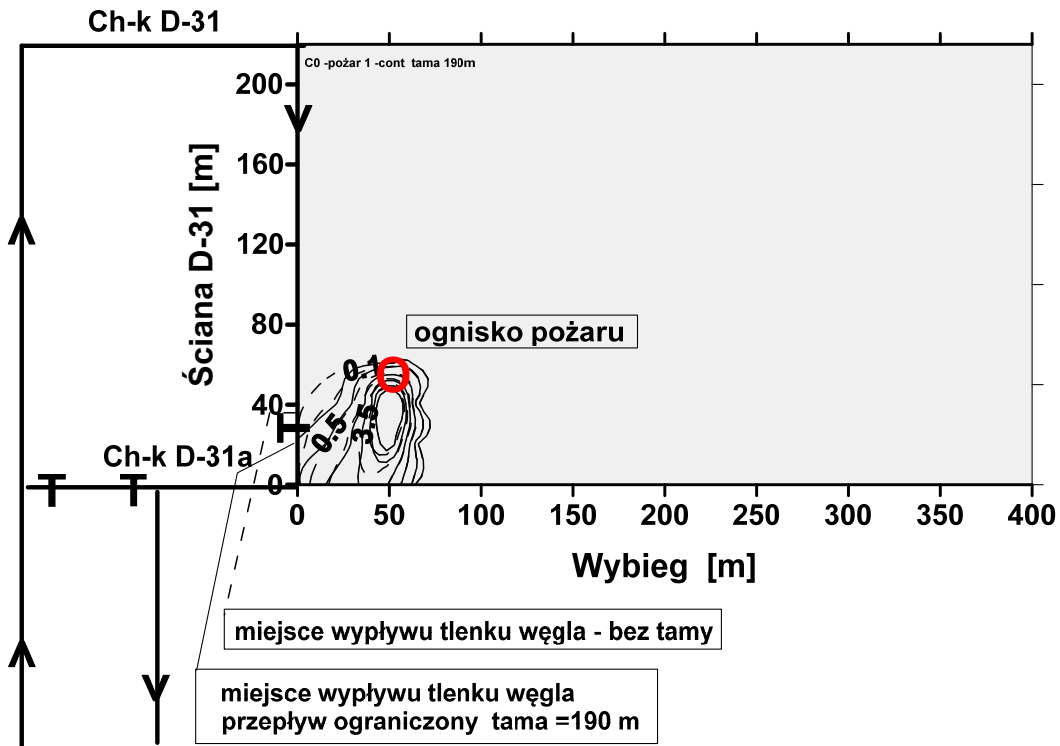
Na rysunku 4 pokazano położenie ogniska pożaru, położenie tamy oraz wyniki obliczeń rozkładu stężenia tlenku węgla generowanego w ognisku pożaru dla przypadku przepływu:

- nie ograniczonego tamą, izolacje stężenia tlenku węgla oznaczono linią przerywaną,
- dla przepływu powietrza ograniczonego tamą, izolacje stężenia tlenku węgla oznaczono linią ciągłą.

Analizując uzyskane rozwiązania przedstawione na rysunku 4 można stwierdzić, iż w przypadku ograniczenia przepływu tamą zlokalizowaną 190 metrów od wlotu do ściany uzyskano rozwiązanie w postaci odmiennego rozkładu stężenia tlenku węgla w stosunku do rozwiązania dla stanu nie ograniczonego



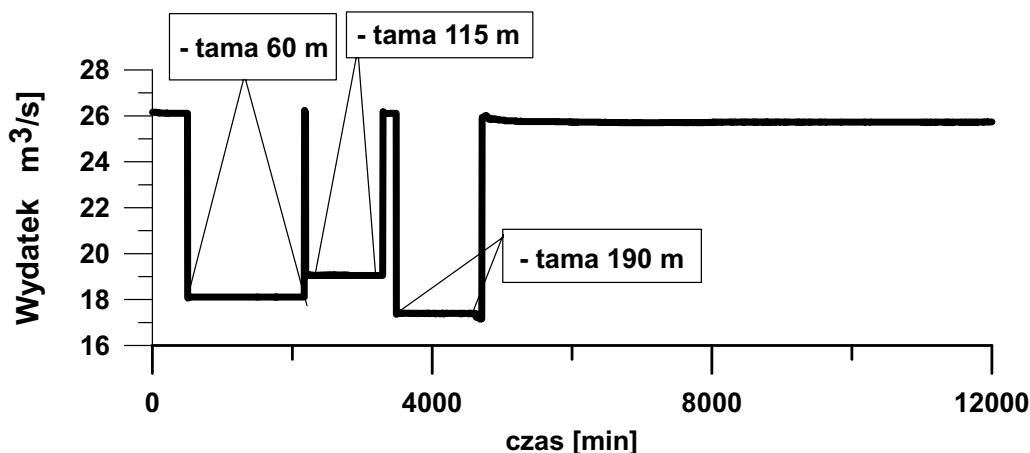
Rys. 3. Schemat przestrzenny rejonu ściany D-31 – ognisko pożaru w pozycji 1.
– linie pogrubione to rozkład temperatury



Rys. 4. Rozkład stężenia tlenu węgla w zrobach ściany D-31, ognisko pożaru w pozycji 1,
tama na 190 m – symulacja komputerowa

przepływu przez ścianę. Różnice te można zaobserwować porównując rozwiązania pokazane na rysunku 4. Postawienie tamy poniżej ogniska pożaru przesunęło wypływ gazów pożarowych w kierunku końca ściany. Obserwuje się wypływ gazów 29 m od końca ściany a dla przepływu nie ograniczonego tamą wypływ tlenu węgla obserwuje się 38 m od końca ściany.

Pokazane na rysunku 5 zmiany wydatku przepływu powietrza przez ścianę wynikają z przyjętego programu obliczeń prognostycznych, według którego ograniczano przepływ powietrza przez ścianę poprzez umieszczenie w trzech różnych miejscach tamy ograniczającej przepływ (opór tamy 9 [Bd]).

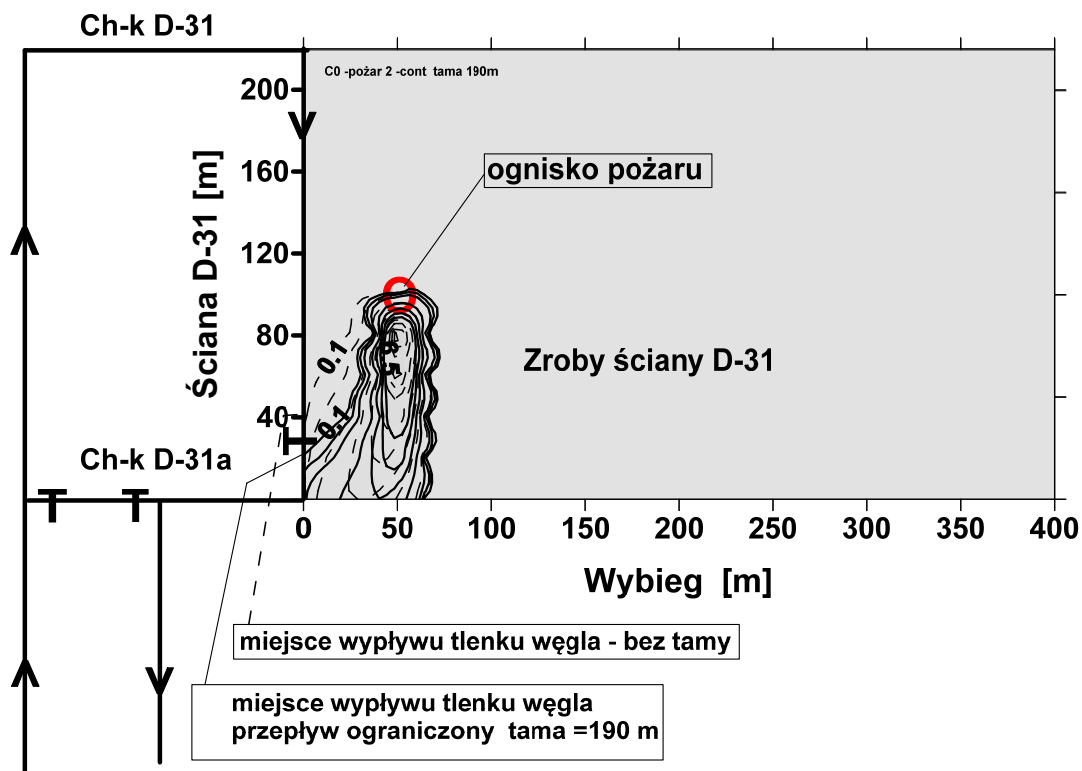


Rys. 5. Zmiana wydatku przepływu powietrza w ścianie D-31 pokł.450/1 dla kolejnych etapów stawiania tamy ograniczającej przepływ powietrza

W dalszym ciągu analizując rozwiązania dotyczące innych przypadków położenia ogniska pożaru i tamy, można będzie wyciągnąć dalsze wnioski.

Przykład 2:

Kolejna symulacja dotyczy sytuacji rozwoju ogniska pożaru zlokalizowanego w miejscu o współrzędnych $x = 50$ m, $y = 100$ m, zwanym dalej pozycją II. Tama ograniczająca przepływ w ścianie D-31 zlokalizowano jak w przykładzie 1, 190 m od wlotu do ściany.



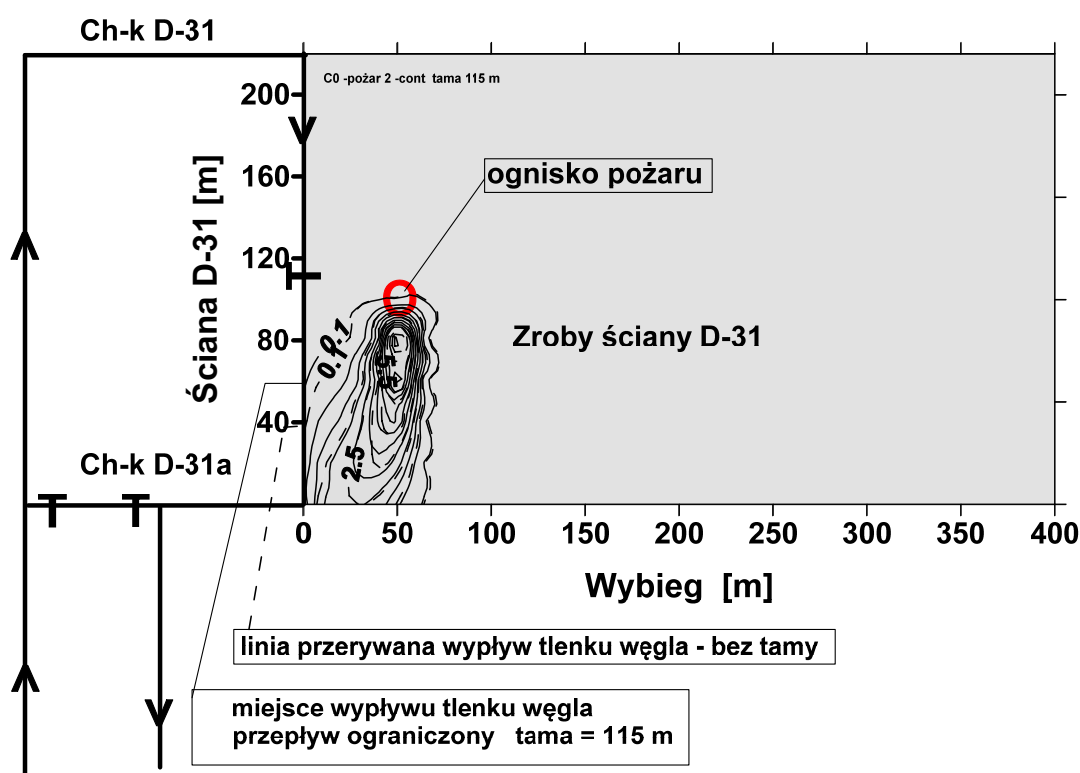
Rys. 6. Rozkład stężenia tlenku węgla w zrobach ściany D-31, ognisko pożaru w pozycji 1, tama na 190 m – symulacja komputerowa

Na rysunku 6 pokazano położenie ogniska pożaru, położenie tamy oraz wyniki obliczeń rozkładu stężenia tlenu węgla generowanego w ognisku pożaru dla przypadku przepływu nie ograniczonego tamą, izolinie stężenia tlenu węgla oznaczono linią przerywaną oraz dla przepływu powietrza ograniczonego tamą, izolinie stężenia tlenu węgla oznaczono linią ciągłą.

Analizując uzyskane rozwiązania przedstawione na rys. 6 można stwierdzić, iż w przypadku rozwiązań dotyczących przypadku ograniczenia przepływu tamą zlokalizowaną 190 metrów od wlotu do ściany uzyskano podobny wypływ tlenu węgla do ściany jak w przykładzie 1. Dla przepływu nie ograniczonego wypływ tlenu węgla obserwuje się 40 m od końca ściany, a dla przepływu ograniczonego tamą wypływ gazów obserwuje się 24 m od końca ściany.

Przykład 3:

Kolejne symulacje dotyczą sytuacji rozwoju ogniska pożaru zlokalizowanego w miejscu o współrzędnych $x = 50$ m, $y = 100$ m, zwanym dalej pozycją II. Tama ograniczająca przepływ w ścianie D-31 zlokalizowano 115 m od wlotu do ściany.



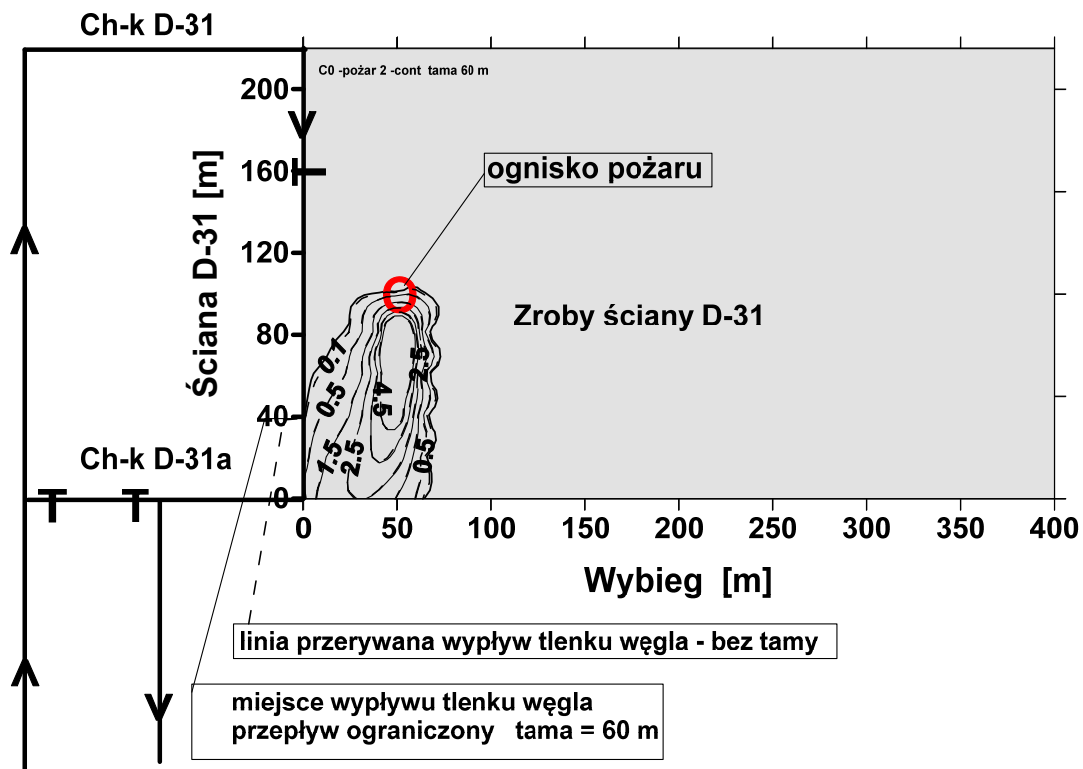
Rys. 7. Rozkład stężenia tlenu węgla w zrobach ściany D-31, ognisko pożaru w pozycji 2, tama na 115 m – symulacja komputerowa

Na rysunku 7 pokazano położenie ogniska pożaru, położenie tamy oraz wyniki obliczeń rozkładu stężenia tlenu węgla generowanego w ognisku pożaru dla przypadku przepływu nie ograniczonego tamą, izolinie stężenia tlenu węgla oznaczono linią przerywaną oraz dla przepływu powietrza ograniczonego tamą, izolinie stężenia tlenu węgla oznaczono linią ciągłą.

Analizując uzyskane rozwiązania przedstawione na rysunku 7 można stwierdzić, że w rozwiązaniu dla przypadku ograniczenia przepływu tamą zlokalizowaną 115 metrów od wlotu do ściany następuje wypływ tlenu węgla w ścianie w odległości 60 metrów od końca ściany. Dla przypadku nie ograniczonego przepływu w ścianie wypływ tlenu węgla jest obserwowany podobnie jak w przykładzie 1 i 2.

Przykład 4:

Kolejne symulacje dotyczą sytuacji rozwoju ogniska pożaru zlokalizowanego w miejscu o współrzędnych $x = 50$ m, $y = 100$ m, zwanym dalej pozycją II. Tama ograniczająca przepływ w ścianie D-31 zlokalizowano 60 m od wlotu do ściany.



Rys. 8. Rozkład stężenia tlenku węgla w zrobach ściany D-31, ognisko pożaru w pozycji 2, tama na 60 m – symulacja komputerowa

Na rysunku 8 pokazano położenie ogniska pożaru, położenie tamy oraz wyniki obliczeń rozkładu stężenia tlenku węgla generowanego w ognisku pożaru dla przypadku przepływu nie ograniczonego tamą, izolnie stężenia tlenku węgla oznaczono linią przerywaną oraz dla przepływu powietrza ograniczonego tamą, izolnie stężenia tlenku węgla oznaczono linią ciągłą.

Analizując uzyskane rozwiązania przedstawione na rysunku 8 można stwierdzić, że w rozwiązaniu dla przypadku ograniczenia przepływu tamą zlokalizowaną 60 metrów od wlotu do ściany następuje wypływ tlenku węgla w ścianie w odległości 40 metrów od końca ściany, podobnie jak dla przykładu 1 i 2. Dla przypadku nie ograniczonego przepływu w ścianie wypływ tlenku węgla jest obserwowany podobnie jak w przykładzie 1, 2 i 3. Należy uznać, że tama położona 60 metrów od wlotu nie powoduje istotnej zmiany miejsca wypływu tlenku węgla.

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki symulacji komputerowej prognozowania rozkładów gazów pożarowych w postaci izolnie stężenia tlenku węgla w zrobach dla dwu położen ogniska pożaru. W trakcie symulacji przykładów od 1 do 4 zastosowano scenariusz ograniczenia przepływu w ścianie poprzez stawianie tamy w trzech położeniach. Uzyskane rozwiązania pozwoliły na stwierdzenie, że zastosowanie tamy ograniczającej przepływ w ścianie jest istotnym elementem proponowanej metody lokalizacji ogniska pożaru w zrobach.

Analizując uzyskane rozwiązania przedstawione na rysunkach od 4 do rysunku 8 pokazują, że stawianie tamy i ograniczenie przepływu zmienia położenie wypływu tlenku węgla wzdłuż długości ściany. Uzyskane rozwiązania pokazują pewną prawidłowość, jeżeli tama ograniczająca przepływ znajduje się na wysokości wirtualnego ogniska pożaru to obserwuje się wypływ tlenku węgla blisko tamy (patrz rysunek 4 i rysunek 6). Gdy tama znajduje się znacznie powyżej położenia ogniska pożaru to wypływ tlenku węgla dla przepływu ograniczonego nieznacznie różni się od rozwiązania dla przepływu nieograniczonego.

W przypadku wykonania eksperymentu w warunkach górniczych dla stwierdzonego rozwoju ogniska pożaru w zrobach ściany przewietrzanej systemem na „U” wykonanie dodatkowych pomiarów stężenia tlenku węgla wzdłuż kanału ściany dla przepływu nie tamowanego oraz dla trzech położen tamy ograniczającej przepływ dostarczy danych dla porównania pomiarów z wynikami symulacji i wyciągnięciu wniosków dotyczących położenia ogniska pożaru.

Przeprowadzone symulacje rozprywu mieszaniny powietrza, metanu i gazów pożarowych w zrobach pozwoliły na wyróżnienie trzech obszarów (Tablica 1), różniących się prędkością przepływu mieszaniny, a tym samym warunkami powstania i rozwoju ogniska pożaru:

Tablica 1

Długość ściany [m]	Prędkość przepływu w zrobach		
	mm/s		
	I obszar	II obszar	III obszar
	50 m	95 m	125 m
—			
20	9,7	1,6	0,4
40	12	2,1	0,6
60	13,4	2,5	0,7
80	14,2	2,8	0,7
100	14,6	2,9	0,8
120	14,6	2,9	0,75
140	14,2	2,8	0,7
160	13,4	2,5	0,6
180	11,9	2,0	0,5
200	9,1	1,3	0,3
220	4,3	0,4	0,1

- Obszar I – strefa o znacznym wydatku przepływu (prędkości filtracji) w zrobach ($v > 12$ [mm/s]), gdzie istnieją dogodne warunki do rozwoju pożaru.
- Obszar II – strefa o zmniejszonym przepływie, rzędu 2-3 [mm/s], gdzie pożar można łatwo ograniczyć przez podanie gazów inertnych.
- Obszar III – strefa o małym przepływie, rzędu 1 [mm/s], gdzie jest zbyt mało tlenu do powstania pożaru.

Wykonane symulacje potwierdzają przydatność metody prognozowania rozprywów mieszaniny powietrza i gazów w zrobach w warunkach pożaru jako elementu metody lokalizacji ogniska pożaru w zrobach oraz metody obrazującej optymalne zastosowanie technologii podawania gazów inertnych. Elementy tej technologii obejmują:

- przygotowanie bazy danych dla rozważanej ściany z uwzględnieniem jej aktualnego płoenia,
- wykonanie wstępnych symulacji i weryfikacji wyników z pomiarami w rejonie – wykonanie poprawek w bazie danych,
- przeprowadzenie symulacji podawania gazów inertnych dla różnych miejsc lokalizacji iniekcji gazu – wybór optymalnego miejsca,
- przeprowadzenie symulacji prognostycznych dla hipotetycznych pożarów w celu oceny skuteczności podania dwutlenku węgla,
- prowadzenie z biegiem ściany aktualizacji bazy danych do obliczeń.

Praca została wykonana w roku 2019 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- Dziurzyński W., 1991: *Ognisko pożaru podziemnego w warunkach dopływu metanu – model matematyczny*. Archiwum Górnictwa T. 36, z. 3,
- Dziurzyński W., 2002: *Symulacja numeryczna procesu przewietrzania sieci wentylacyjnej kopalni*. Prace IMG PAN, Seria: Rozprawy, Monografie, Nr 2.
- Dziurzyński W., Pałka T., Krawczyk J., 2013: *VentGraph dla Windows. Podręcznik użytkownika*. Prace IMG PAN, Kraków.
- Dziurzyński W., Pałka T., Wasilewski St., 2015: *Investigation of the parameters of the air flow in the longwall area for validation of the VentZroby simulation software*, Proceedings of the 37th International Symposium, on the Application of Computers and Operations, May 2015, Fairbanks AK, USA.

- Gillies A.D.S., Wu H.W., Wala A.M., 2005: *Australian Mine Emergency Exercises Aided by Fire Simulation*, Archives of Mining Sciences, Vol. 50, Issue 1, 2005.
- Nawrat St., 1999: *Eksperymentalne i modelowe badania procesu wypełniania metanem otamowanych wyrobisk w kopalniach węgla kamiennego [Experimental and model investigations of the process of filling with methane headings with brattices and stoppings in hard coal mines – in Polish]*, Scientific, research, and implementation studies, EMAG Katowice, nr 1 (11).
- Pritchard C.J., 2010: *Validation of the Ventgraph program for use in metal/non-metal mines*. Proceedings of the 13th US Mine Ventilation Symposium, Sudbury, Kanada.

On a method of location of the fire in goaf

Abstract

The article presents a method of searching for the location of a fire in the goaf of an active longwall ventilated by the „U” system on a coal strand. It uses a sequence of computer simulations forecasting the distribution of air and fire gas mixtures for different locations of fire source in the area of goaf and longwall excavations. Examples of simulations of fire development in goafs for two locations of fire source were made. The solutions were presented in a form of isolines of concentration of carbon monoxide. The use of a regulator limiting the air flow in the longwall changed the pattern of migration of fire gases. A sequence of simulations for various positions of the regulator gave various places of carbon monoxide outflow from goaf into the longwall. The variability of fire gases outflow can be associated with the position of the fire source. Knowing those dependencies, the unknown position of a fire can be detected. The proposed method is supplemented with an experiment in the area of the longwall consisting in measuring the concentration of carbon monoxide after placing a regulator limiting the flow in the longwall and analyzing photos taken with a thermal imaging camera. The results obtained from the computer simulation are presented graphically in the drawings, which were analyzed and the final conclusions were drawn in the summary.

Keywords: fire in goafs, location of fire outbreak, computer simulation