14

ANALIZA STOSOWANYCH SPOSOBÓW PRZEWIETRZANIA ŚCIAN WYDOBYWCZYCH W POLSKICH KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

14.1 WSTĘP

Jednym z podstawowych surowców energetycznych, w Polsce, Europie oraz na świecie jest węgiel kamienny, stanowiący bardzo ważne źródło energii. Podziemna eksploatacja tej kopaliny w Polsce charakteryzuje się trudnymi warunkami geologiczno-górniczymi, a także występowaniem wielu zagrożeń, w tym zagrożeń naturalnych [9, 10, 14], które w istotny sposób wpływają na poziom bezpieczeństwa w podziemnych wyrobiskach górniczych.

Podstawowe znaczenie dla bezpieczeństwa osób pracujących w podziemnych wyrobiskach górniczych kopalń węgla kamiennego ma skuteczne przewietrzanie tych wyrobisk [13]. Głównym celem przewietrzania wyrobisk jest dostarczenie świeżego powietrza załodze oraz ograniczenie zagrożenia gazowego związanego z prowadzoną eksploatacją. W większości bowiem kopalń wydobywających węgiel kamienny występują zagrożenia gazowe, spośród których najczęstsze jest zagrożenie metanowe [13].

Z punktu widzenia bezpieczeństwa wentylacji wyrobisk górniczych, istotne znaczenie odgrywa także zagrożenie pożarowe. Zagrożenie metanowe oraz zagrożenie pożarowe są przykładem zagrożeń skojarzonych, silnie ze sobą związanych.

Ściany wydobywcze przewietrzane mogą być różnymi sposobami przewietrzania: sposobem na „U", „Y", „Z", zarówno w odmianie do granic jak i od granic pola eksploatacji, oraz sposobem na „H", który wymaga utrzymania chodników przyścianowych.

Przy doborze sposobu przewietrzania ściany wydobywczej służby wentylacyjne kopalń bardzo często muszą zdecydować, który z nich będzie bezpieczniejszy i skuteczniejszy w przypadku współwystępowania zagrożenia pożarowego i metanowego. Często sposób przewietrzenia, który lepiej sprawdza się przy zwalczaniu zagrożenia metanowego, jest mniej korzystny w przypadku występowania zagrożenia pożarowego. Rejonem, w którym występują oba te zagrożenia są zroby zawałowe ścian wydobywczych.

W polskich kopalniach węgla kamiennego zdecydowana większość wyrobisk eksploatacyjnych prowadzona jest systemem ścianowym z zawałem skał stropowych [6], który wypełnia wolną przestrzeń powstałą po wybranym pokładzie. W zależności od odległości od frontu ściany, stopień wypełnienia wybranej przestrzeni jest zróżnicowany; im większa odległość od frontu, tym szczelniejsze jest wypełnienie przestrzeni zawałowej skałami stropowymi [9, 10, 11]. Wybrana przestrzeń nie zostanie jednak wypełniona w takim stopniu, w jakim wcześniej wypełniał ją pokład. Tym samym w strefie zawału powstaje

gruzowisko skalne zawierające wolne przestrzenie, tworzące ośrodek przepuszczalny, powstały w wyniku działalności górniczej, przez który odbywa się przepływ gazów.

Niezależnie od wybranego sposobu przewietrzania, w każdym z nich w czasie doprowadzania powietrza do eksploatowanych ścian, występują ucieczki gazów do zrobów ścian zawałowych (strefy zawału).

Prąd świeżego powietrza, przepływający przez ścianę, ma tendencję do kierowania się do strefy zawału na całej długości ściany, jednak największa jego ilość dostaje się do przestrzeni zawałowej na skrzyżowaniu ściany z chodnikiem przyścianowym (od strony wlotu powietrza do ściany). Migracja powietrza do pola zawałowego występuje również podczas doprowadzania, jak i odprowadzania powietrza ze ściany chodnikami przyścianowymi. Ilość powietrza dopływającego do przestrzeni zrobów ścian zawałowych ma znaczenia w przypadku występowania w kopalniach zagrożenia pożarowego oraz metanowego.

Dopływające powietrze do pola zawałowego stwarza ryzyko samozapalenia się węgla pozostawionego w zrobach, jak również wydzielania się metanu z resztek węgla oraz ryzyko migracji metanu pochodzącego z pokładów (metanowych) poprzez występujące w górotworze szczeliny, spękania, kanaliki, do eksploatowanej ściany.

Badanie przepływu powietrza przez zroby zawałowe w warunkach *in situ* jest praktycznie wykluczone, dlatego nieodzowne staje się poszukiwanie innych, alternatywnych metod umożliwiających analizę tego zjawiska. Takie możliwości stwarzają badania modelowe przepływów oparte o symulacje numeryczne. Metody te coraz częściej stosuje się do rozwiązywania zagadnień związanych z przewietrzaniem wyrobisk górniczych [2, 3, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. Zaznaczyć jednak należy, że wyniki uzyskane na podstawie symulacji numerycznych (w celu ich uwiarygodnienia), powinny podlegać weryfikacji w oparciu o badania eksperymentalne.

W artykule przedstawiono analizę sposobów przewietrzania ścian wydobywczych stosowanych w polskich kopalniach węgla kamiennego w ostatnim dziesięcioleciu oraz analizę numeryczną przepływu powietrza przez zroby zawałowe przy stosowaniu najpopularniejszych sposobów przewietrzania.

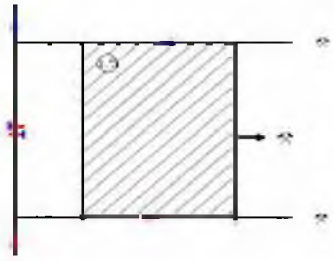
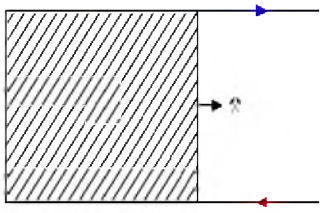
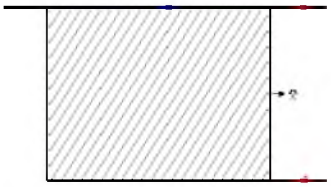
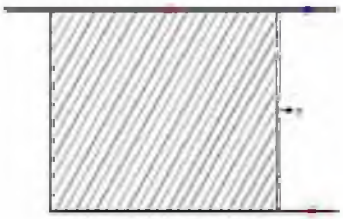
14.2 CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH SPOSOBÓW PRZEWIETRZANIA ŚCIAN WYDOBYWCZYCH STOSOWANYCH W POLSKICH KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

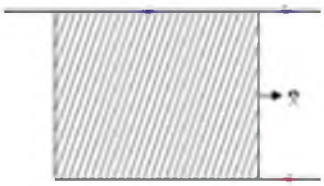
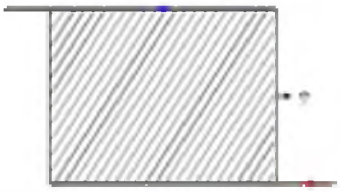
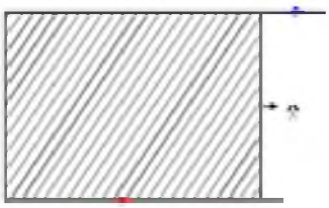
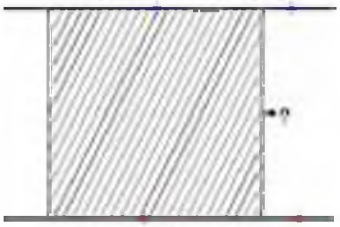
W polskich kopalniach węgla kamiennego znalazły zastosowanie następujące sposoby przewietrzania ścian wydobywczych:

- przewietrzanie sposobem na „U” do granic pola eksploatacji,
- przewietrzanie sposobem na „U” od granic pola eksploatacji,
- przewietrzanie sposobem na „Y” z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym,
- przewietrzanie sposobem na „Y” z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym od strony zrobów,
- przewietrzanie sposobem na „Y” z odprowadzaniem powietrza zużytego w dwóch kierunkach,
- przewietrzaniem sposobem na „Z” od granic pola eksploatacji,

- przewietrzanie sposobem na „Z” do granic pola eksploatacji,
- przewietrzanie sposobem na „H”.

Tabela 14.1 Charakterystyka sposobów przewietrzania ścian wydobywczych

Sposób przewietrzania	Schemat przewietrzania	Charakterystyka sposobu przewietrzania
„U” do granic		Powietrze doprowadzane i odprowadzane jest ze ściany chodnikami przyścianowymi. Na całej ich długości styka się ze zrobami zawałowymi, stąd też zachodzi konieczność ich uszczelniania. Zasadniczą zaletą tego sposobu jest możliwość jednoczesnego prowadzenia robót przygotowawczych i eksploatacji węgla. Sposób ten korzystnie wpływa na prowadzenie eksploatacji w warunkach zagrożenia tąpaniami. W przypadku dużego natężenia przepływu powietrza przez zroby zawałowe, wzrasta w nich zagrożenie pożarowe, co jest zasadniczą wadą tego sposobu przewietrzania ścian wydobywczych.
„U” od granic		Powietrze do ściany doprowadzane jest chodnikiem podścianowym, a odprowadzane – chodnikiem nadścianowym. Strumień powietrza przepływając przez ścianę wydobywczą na całej swej długości styka się ze zrobami zawałowymi. Przewietrzanie ścian tym sposobem na dwie zasadnicze zalety, mianowicie występuje tutaj ograniczony przepływ powietrza przez zroby, a w rezultacie – ograniczone zagrożenie pożarowe w zrobach zwałowych. Do wad tego sposobu przewietrzania ścian zaliczyć należy wynoszenie metanu i dopływ ciepła do ściany ze zrobów. Przewietrzanie ścian tym sposobem może być stosowane w przypadku występowania wszystkich kategorii zagrożenia metanowego, jednak przy III i IV kategorii sposób ten musi być połączony z efektywnym odmetanowaniem.
„Y” z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym		Strumień powietrza doprowadzany jest chodnikiem podścianowym do ściany, oraz dodatkowo chodnikiem nadścianowym (doświeżanie). Zużyte powietrze odprowadzane jest ze ściany chodnikiem nadścianowym (wzdłuż zrobów zawałowych), dlatego zachodzi konieczność jego uszczelniania. Przewietrzanie tym sposobem stosowane jest przy większych wypływach metanu ze zrobów zawałowych; wynoszony z nich do chodnika nadścianowego metan rozrzedzany jest większą ilością powietrza.
„Y” z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym od strony zrobów		Strumień powietrza doprowadzany jest chodnikiem podścianowym do ściany, oraz dodatkowo chodnikiem nadścianowym (doświeżanie) utrzymywanym wzdłuż zrobów zawałowych, dlatego zachodzi konieczność jego uszczelniania. Zużyte powietrze odprowadzane jest ze ściany chodnikiem nadścianowym. Przewietrzanie ścian tym sposobem powoduje wzrost zagrożenia metanowego w jej narożu, przyczynia się także do dopływu do ściany ciepła wynoszonego ze zrobów. Przewietrzanie ścian tym sposobem korzystne jest dla występowania zagrożenia pożarowego, ponieważ istnieje możliwość dostarczania substancji do zrobów.

„**Y**” z odprowadzaniem powietrza zużytego w dwóch kierunkach		Strumień powietrza doprowadzany jest do ściany chodnikiem podścianowym, a odprowadzany – chodnikiem nadścianowym w dwóch kierunkach. W odcinku chodnika nadścianowego niestykającego się ze zrobami nie występują wysokie stężenia metanu, ponieważ jest on częściowo odprowadzany ze zrobów wraz z zużytym powietrzem chodnikiem nadścianowym utrzymywanym wzdłuż zrobów. Sposób ten korzystny jest podczas eksploatacji w warunkach zagrożenia tąpaniami. Wadą tego sposobu przewietrzania jest wzrost zagrożenia pożarowego w zrobach.
„**Z**” od granic pola eksploatacji		Przepływające przez ścianę wydobywczą powietrze na całej jej długości styka się ze zrobami zawałowymi oraz chodnikiem nadścianowym przyległym do zrobów zawałowych. Strumień powietrza wraz z metanem nie gromadzi się w ścianie, ponieważ wypływa dopiero w chodniku nadścianowym. Zasadniczą wadą tego sposobu przewietrzania ścian jest możliwość swobodnego przepływu powietrza przez zroby, co doprowadzić może do pożaru endogenicznego.
„**Z**” do granic pola eksploatacji		Powietrze przepływające przez ścianę na całej jej długości styka się ze zrobami zawałowymi oraz chodnikiem podścianowym. Strumień powietrza doprowadzany do ściany chodnikiem podścianowym wpływa także do zrobów i wymywa gromadzący się w nich metan, co powoduje, że taka mieszania przepływając przez ścianę stwarza poważne zagrożenie metanowe. Powietrze migrujące do zrobów zawałowych stwarza w nich także zagrożenie pożarowe.
„**H**”		Stosowanie tego sposobu przewietrzania ścian wymaga utrzymania chodników przyścianowych od strony zrobów. Świeże powietrze doprowadzane jest do ściany chodnikiem podścianowym (również utrzymywanym od strony zrobów), a odprowadzane jest ze ściany chodnikiem nadścianowym (także w kierunku zrobów). Sposób ten charakteryzuje się silnym przewietrzaniem zrobów zawałowych, korzystny jest zatem do stosowania w przypadku prowadzenia eksploatacji w warunkach zagrożenia tąpaniami, zagrożenia metanowego oraz klimatycznego. Stosowanie tego sposobu jest jednak niekorzystne ze względu na możliwość wystąpienia pożaru endogenicznego w zrobach.

W tabeli 14.1 przedstawiono charakterystyki sposobów przewietrzani ścian wydobywczych stosowanych w polskich kopalniach węgla kamiennego [7, 8, 9, 10, 11, 12].

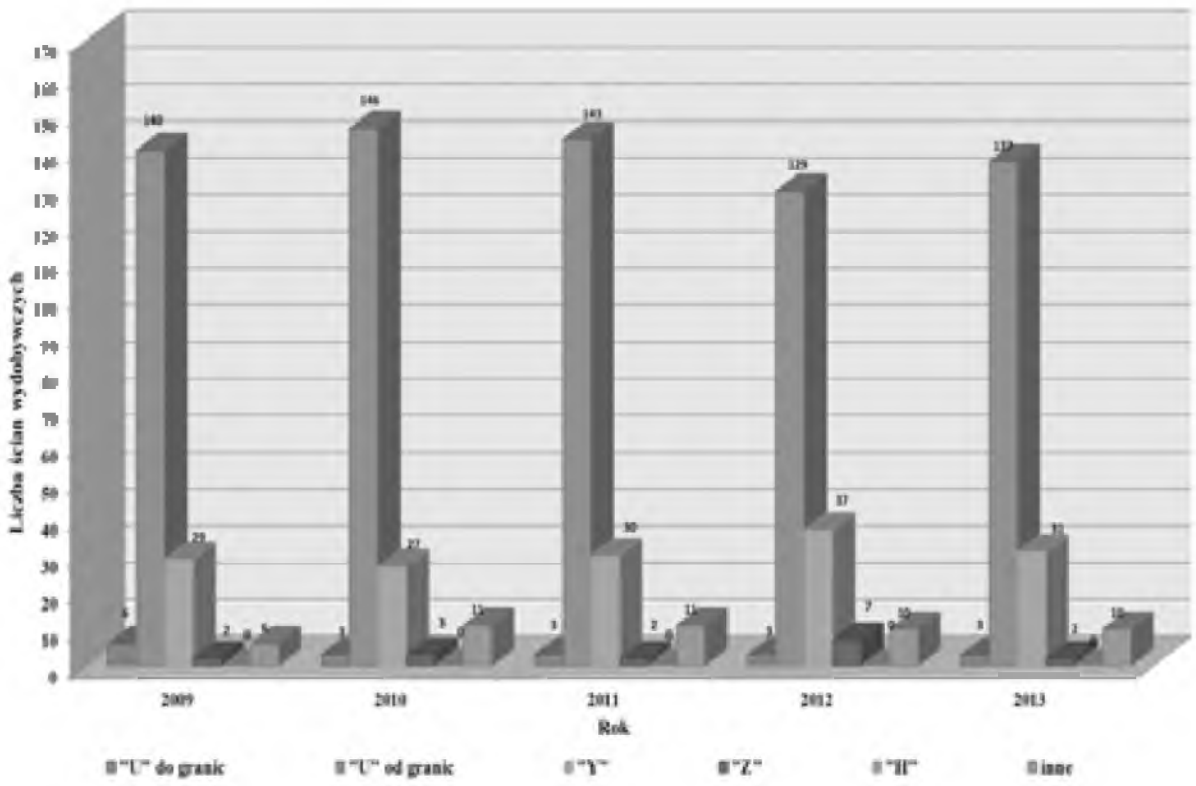
14.3 ANALIZA SPOSOBÓW PRZEWIETRZANIA ŚCIAN WYDOBYWCZYCH STOSOWANYCH W POLSKICH KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO W LATACH 2009-2013

Najczęściej stosowanym sposobem przewietrzania ścian wydobywczych pod koniec lat 90-tych XX wieku był sposób na „U” od granic pola eksploatacji – stanowił ponad połowę stosowanych sposobów przewietrzania analizowanych wyrobisk [10].

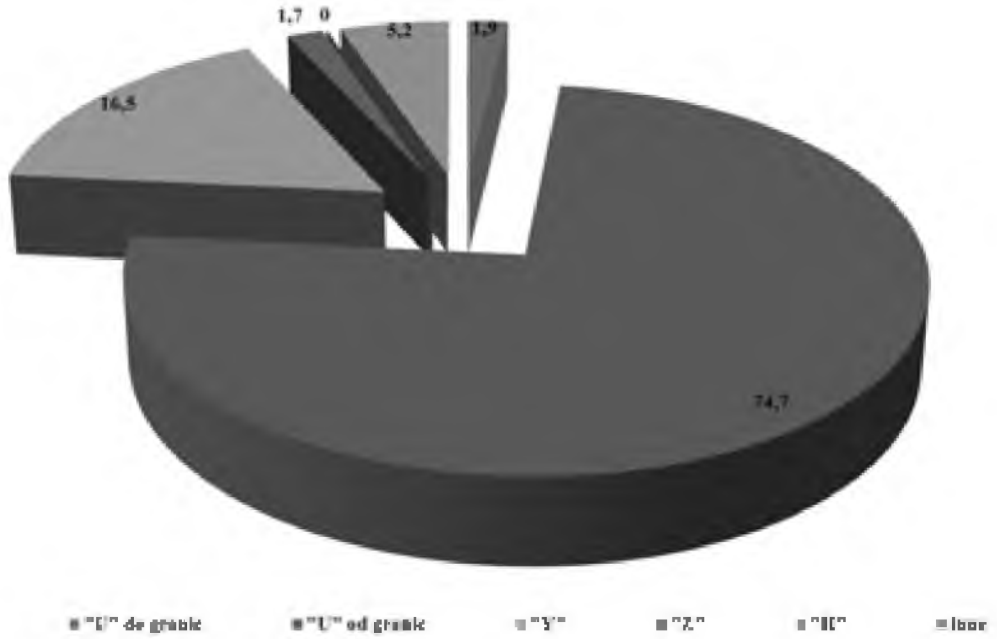
Analizą sposobów przewietrzania ścian wydobywczych w latach 2009-2013 objętych

zostało 931 tych wyrobisk zlokalizowanych w 22 kopalniach węgla kamiennego (jedno, dwu i trzy ruchowych).

Wyniki analizy sposobów przewietrzania ścian w latach 2009-2013 przedstawione zostały na rysunku 14.1 oraz 14.2.



Rys. 14.1 Stosowane sposoby przewietrzania ścian wydobywczych w latach 2009-2013 w polskich kopalniach węgla kamiennego



Rys. 14.2 Procentowy udział sposobów przewietrzania ścian wydobywczych w latach 2009-2013

Z przeprowadzonej analizy wynika jednoznacznie, że w latach 2009-2013 najczęściej stosowanym sposobem przewietrzania ścian wydobywczych był sposób na „U" od granic pola eksploatacji. Z 931 ścian wydobywczych eksploatowanych w latach 2009-2013 sposób ten stosowano w ponad 74% analizowanych wyrobisk.

Drugim najczęściej stosowanym sposobem przewietrzania ścian wydobywczych w latach 2009-2013 był sposób na „Y" w różnych jego odmianach (z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym, z rozprowadzaniem zużytego powietrza w dwóch kierunkach). Sposobem tym przewietrzano w analizowanym okresie ponad 16% wszystkich ścian wydobywczych.

Sposobem na „U" do granic pola eksploatacji w analizowanym okresie przewietrzanych było łącznie 18 ścian wydobywczych, co stanowi prawie 2% tych wyrobisk.

Najmniejsza liczba ścian wydobywczych przewietrzana była sposobem na „Z". Sposobem tym przewietrzano 16 ścian wydobywczych, co stanowi 1,7% analizowanych ścian. W analizowanym okresie żadna ściana wydobywcza nie była przewietrzana sposobem na „H".

Pozostała grupa ścian, stanowiąca ponad 5,0% analizowanych wyrobisk, to ściany, które w poszczególnych etapach eksploatacji prowadzone były innymi sposobami przewietrzania. W grupie tej zestawiono ściany, które przewietrzane były następującymi sposobami przewietrzania:

- w pierwszym etapie eksploatacji sposobem na „U" od granic, w II etapie – sposobem na „Y",
- w pierwszym etapie eksploatacji sposobem na „Y", w II etapie – sposobem na „U" od granic,
- w pierwszym etapie eksploatacji sposobem na „U" od granic, w II etapie – sposobem na „Z",
- w pierwszym etapie eksploatacji sposobem na „H", w II etapie – sposobem na „Y",
- w pierwszym etapie eksploatacji sposobem na „Y", w II etapie – sposobem na „Z".

Zmiana sposobu przewietrzania ścian wydobywczych spowodowana była różnymi przyczynami. Wśród nich podawaną najczęściej była trudność w utrzymaniu gabarytu chodnika za ścianą oraz przejechanie frontem ściany przecinki wentylacyjnej w eksploatowanym pokładzie.

14.4 ANALIZA NUMERYCZNA PRZEPŁYWU POWIETRZA PRZEZ ZROBY ZAWAŁOWE

14.4.1 Model matematyczny przepływu

Numeryczna mechanika płynów (ang. *Computational Fluid Dynamics*) jest metodą symulacji zjawisk związanych z przepływem płynów i gazów, wymianą ciepła oraz masy, a także reakcjami chemicznymi [4].

Programy bazujące na numerycznej mechanice płynów umożliwiają wyznaczenie parametrów fizycznych przepływu strumienia powietrza lub płynu (rozkład pola prędkości, rozkład pola ciśnienia), ruchu ciepła (pole temperatury), a także przemian fizyko-chemicznych.

Do modelowania zagadnienia przepływu powietrza przez zroby zawałowe wykorzystano program Ansys Fluent.

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

- równanie zachowania masy

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \tag{1}$$

gdzie:

$\vec{v}$ – prędkość, m/s

ρ – gęstość, kg/m^3

t – czas, s

S_m – dodatkowe źródło masy, zmienne lub stałe, kg/s

- równanie zachowania pędu

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\vec{v}\vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \tag{2}$$

gdzie:

p – ciśnienie statyczne, Pa

$\bar{\tau}$ – tensor naprężeń, Pa

$\vec{g}$ – przyśpieszenie grawitacyjne, m/s^2

$\vec{F}$ – wektor sił zewnętrznych, N

- równanie zachowania energii

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E)) = \nabla \cdot \left(k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J_j} + (\bar{\tau} e_{ff} \cdot \vec{v}) \right) + S_h \tag{3}$$

gdzie:

E – energia całkowita właściwa, J/kg

k_{eff} – efektywny współczynnik przewodzenia ciepła W/(mK)

T – temperatura, K

h_j – entalpia właściwa j-tego składnika mieszaniny, J/kg

$\vec{J_i}$ – strumień dyfuzji, kg/(m^{2}s)

S_h – wolumetryczne źródło ciepła, W/m^3

W oparciu o powyższe równania rozwiązywany jest przepływ powietrza przez rejon ściany wydobywczej (chodniki przyścianowe oraz ścianę wydobywczą). Modelowanie przepływu laminarnego przez zroby zawałowe, jako ośrodek przepuszczalny (porowaty lub szczelinowaty) rozwiązywane jest w oparciu o równanie transportu w postaci:

$$S_i = -\left(\frac{\mu}{\alpha} v_i + C_2 \frac{1}{2} \rho |v| v_i \right) \tag{4}$$

gdzie:

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

α – współczynnik przepuszczalności, m^2

C_2 – współczynnik oporu, 1/m^2

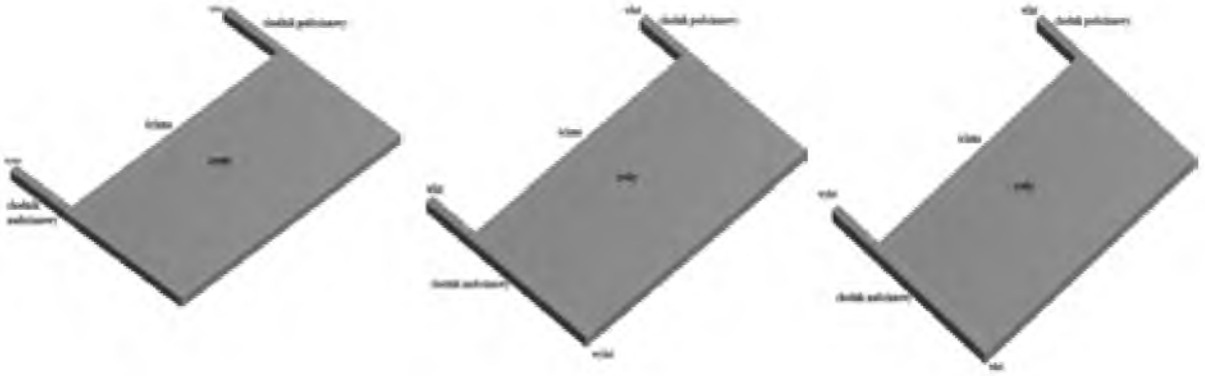
oraz równanie Darcy'ego:

$$\nabla p = -\frac{\mu}{\alpha} \vec{v} \tag{5}$$

gdzie:
∇p – spadek naporu, Nm^{-2}

14.4.2 Model dyskretny przepływu

W celu przeprowadzenia analizy opracowano modele geometryczne ścian wydobywczych przewietrzanych sposobem na „U" od granic pola, sposobem na „Y" z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym oraz sposobem na „Y" z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym ze strony zrobów (rys. 14.3a, 14.3b oraz 14.3c). Tak opracowane modele geometryczne poddano procesowi dyskretyzacji.



a) *b)* *c)*

Rys. 14.3 Modele geometryczne ścian wydobywczych przewietrzanych sposobem na: a) „U" od granic pola, b) na „Y" z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym, c) na „Y" z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym od strony zrobów

Przyjęto, że długość chodników przyścianowych wynosi 25 m, a ściany – 100 m. Długość chodnika nadścianowego przy przewietrzaniu ścian na „Y" (w analizowanych układach) ma 50 m. Wybieg ściany wydobywczej dla analizowanych sposobów przewietrzania był taki sam i wynosił 50 m. Wysokość oraz szerokość ściany i chodników przyścianowych wynosiła 3 m.

Jako warunek brzegowy typu „*inlet*" przyjęto stałe pole prędkości strumienia powietrza oraz stałe wartości kinetycznej energii turbulencji i szybkości jej dyssypacji, które wyznaczono przy założeniu 5-procentowej intensywności turbulencji na wlocie. W przekroju wlotowym, zlokalizowanym w chodniku podścianowym, dla ścian wydobywczych przewietrzanych sposobem na „U" od granic pola oraz sposobem na „Y" doświeżaniem chodnikiem nadścianowym i sposobem na „Y" z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym zadano równomierne pole prędkości o wartości 1,8 m/s. W przypadku przewietrzania ścian sposobem na „Y" z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym oraz sposobem na „Y" z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym ze strony zrobów przyjęto, że prędkość powietrza na odcinku wlotowym chodnika nadścianowego wynosi 0,8 m/s.

Dla analizowanego modelu warunek brzegowy typu „wylot" został zdefiniowany jako „*outlet*" (pressusre–outlet), natomiast ściany zdefiniowano jako nieprzepuszczalne, których chropowatość powierzchni odpowiadała wysokości 0,2 m. Obliczenia wykonano dla ciśnienia, którego wartość odniesienia wynosiła 101325 Pa.

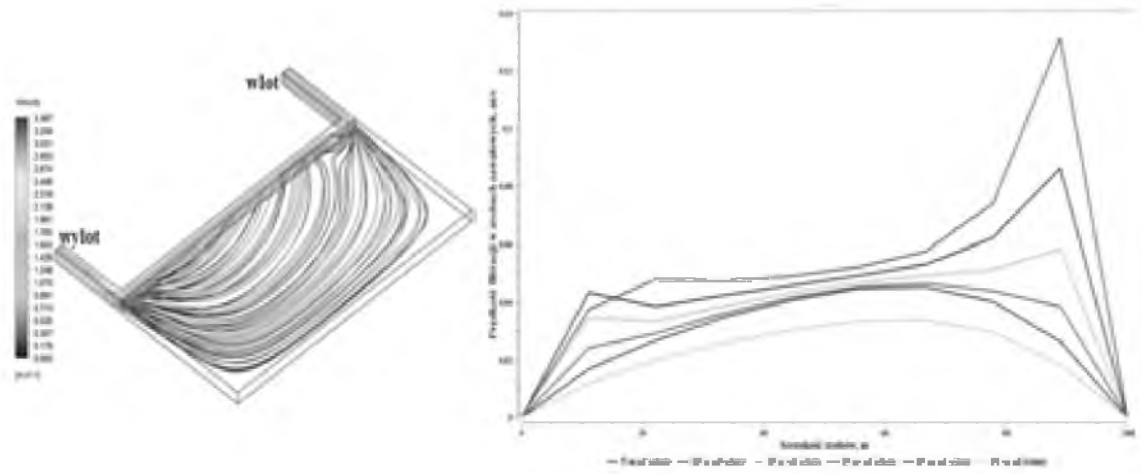
Rozpatrywanie przepływu powietrza przez zroby zawałowe wymaga określenia także

takich parametrów tego ośrodka jak przepuszczalność oraz porowatość. Przyjęto, że porowatość zrobów zawałowych wynosi 50%, a współczynnik przepuszczalności zrobów 10^5 $1/m^2$ i nie zmienia się wraz ze wzrostem odległości od ściany wydobywczej.
Tak opracowane modele poddano analizie numerycznej.

14.5 WYNIKI ANALIZY

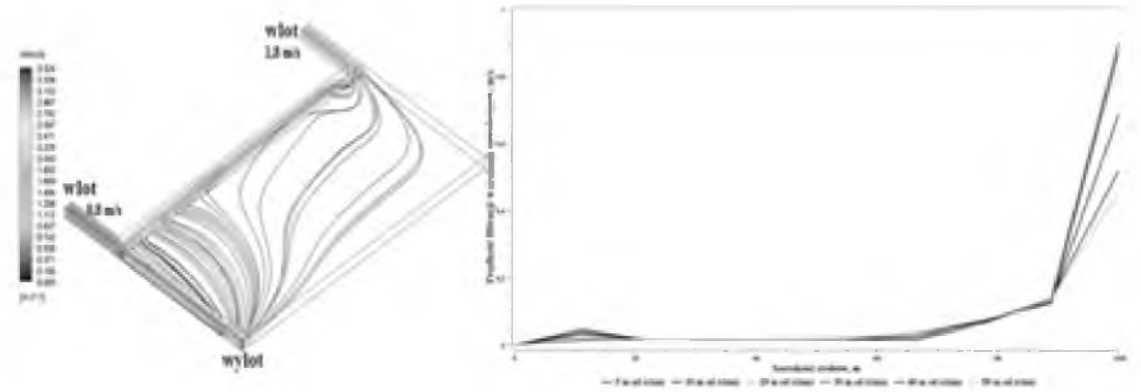
Na podstawie przeprowadzonych obliczeń wyznaczono rozkłady zmian pól prędkości i ciśnienia strumienia powietrza przepływającego przez chodniki przyścianowe i ściany wydobywcze przy różnych sposobach ich przewietrzania.

Na rysunkach 14.4a, 14.5a oraz 14.6a przedstawiono trajektorie przepływu cząstek powietrza przez ścianę wydobywczą i chodniki przyścianowe oraz zroby dla analizowanych sposobów przewietrzania ścian. Na rysunkach 14.4b, 14.5b oraz 14.6b przedstawiono charakterystyki prędkości strumienia powietrza przepływającego przez zroby.



a) *b)*

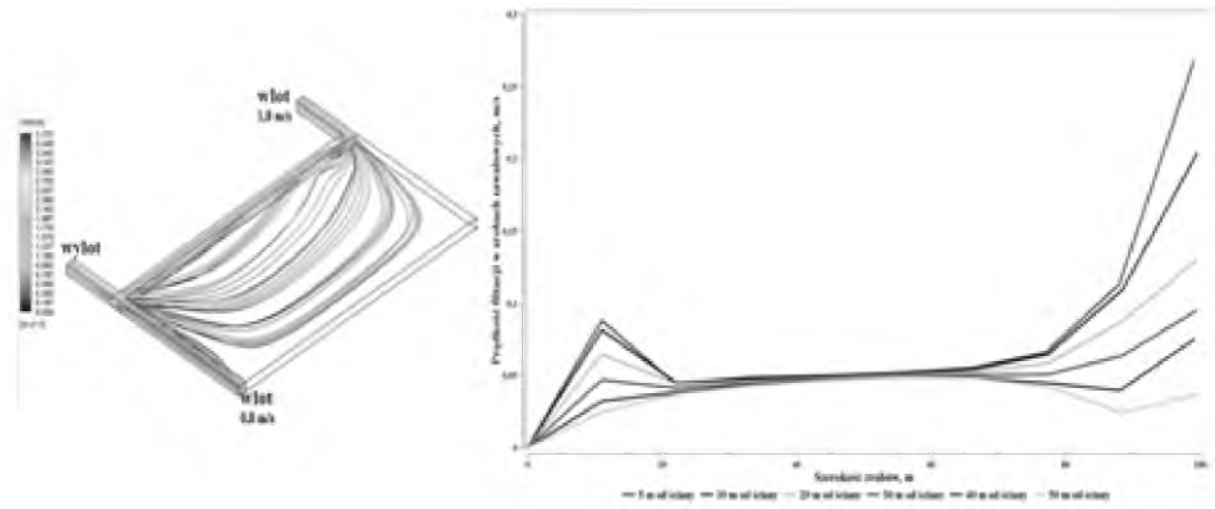
Rys. 14.4 Trajektoria cząstek powietrza przy sposobie przewietrzania ściany wydobywczej:
a) na „U" od granic pola, b) charakterystyka prędkości powietrza w zrobach zawałowych



a) *b)*

Rys. 14.5 Trajektoria cząstek powietrza przy sposobie przewietrzania ściany wydobywczej:
a) na „Y" z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym,
b) charakterystyka prędkości powietrza w zrobach zawałowych

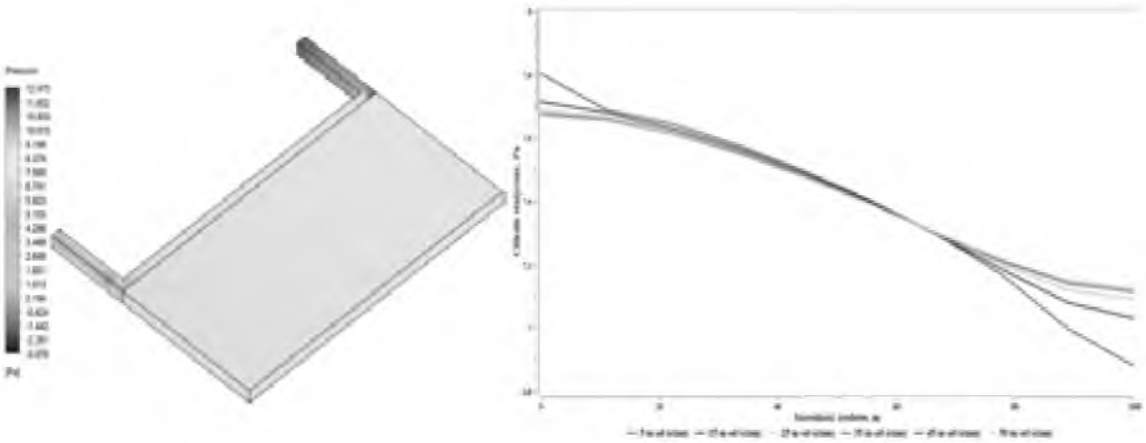
Analizując uzyskane rozkłady prędkości powietrza w zrobach zawałowych badanych ścian wydobywczych, można stwierdzić, że największe wartości filtracji występują w narożach ścian (tj. naroże wlotu oraz wylotu ze ścian) dla sposobu przewietrzania na „Y" z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym oraz na „Y" z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym od strony zrobów.



a) *b)*

Rys. 14.6 Trajektoria cząstek powietrza przy sposobie przewietrzania ściany wydobywczej:
a) na „Y" z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym od strony zrobów,
b) charakterystyka prędkości powietrza w zrobach zawałowych

W przypadku przewietrzania ściany sposobem na „U" od granic prędkość filtracji w narożach jest mniejsza, natomiast w centralnej części zrobów jest większa niż przy sposobie przewietrzania na „Y". Im większa odległość od człoa ściany wydobywczej, tym prędkość przepływu powietrza przez zroby zawałowe jest mniejsza.

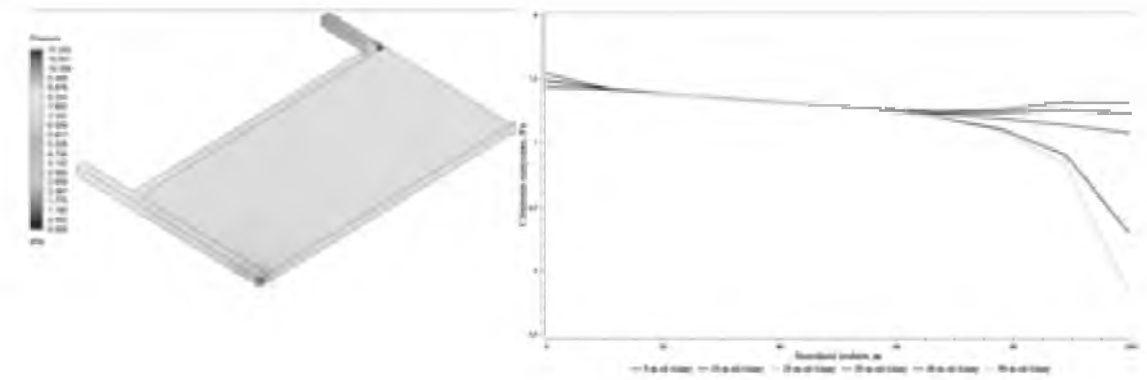


a) *b)*

Rys. 14.7 Rozkład ciśnienia statycznego przy sposobie przewietrzania ściany wydobywczej:
a) na „U" od granic pola, b) charakterystyka ciśnienia statycznego w zrobach zawałowych

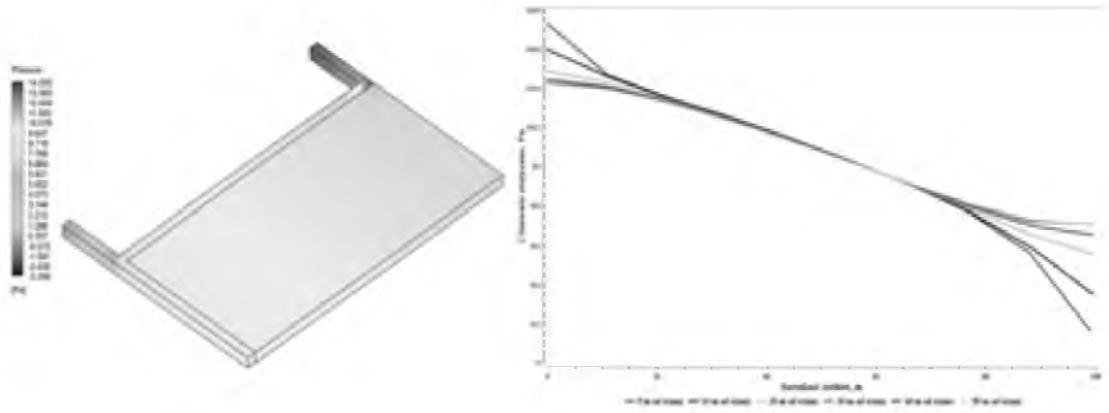
Rozkłady ciśnienia statycznego w ścianie wydobywczej i chodnikach przyścianowych

oraz zrobach zawałowych przedstawiono na rysunkach 14.7a, 14.8a oraz 14.9a, natomiast charakterystyki spadku ciśnienia w zrobach zawałowych na rysunkach 14.7b, 14.8b oraz 14.9b.



a) *b)*

Rys. 14.8 Rozkład ciśnienia statycznego przy sposobie przewietrzania ściany wydobywczej:
a) na „Y" z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym,
b) charakterystyka ciśnienia statycznego w zrobach zawałowych



a) *b)*

Rys. 14.9 Rozkład ciśnienia statycznego przy sposobie przewietrzania ściany wydobywczej:
a) na „Y" z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym od strony zrobów,
b) charakterystyka ciśnienia statycznego w zrobach zawałowych

Analizując uzyskane rozkłady ciśnienia stycznego można stwierdzić, że w rejonie górnego i dolnego naroża ścian wydobywczych przewietrzanych badanymi sposobami, nie występują jego liniowe spadki. Poza obszarem górnego i dolnego naroża spadek ciśnienia jest liniowy dla wszystkich analizowanych sposobów przewietrzania ścian wydobywczych.

Na spadek ciśnienia w rejonie naroży ścian przewietrzanych analizowanymi sposobami wpływa zmiana kierunku przepływu strumienia powietrza (strumień przepływającego powietrza po wpłynięciu do ściany zmienia kierunek przepływu o 90°; takie samo zjawisko zachodzi kiedy powietrze wypływa ze ściany).

Ciśnienie statyczne ma wpływ na prędkość filtracji w zrobach zawałowych, a tym samym na kształtowanie się w nich zagrożenia metanowego i pożarowego.

WNIOSKI

Z przeprowadzonej analizy sposobów przewietrzania ścian wydobywczych w polskich kopalniach węgla kamiennego w okresie od 2009 do 2013 roku jednoznacznie wynika, że najczęściej stosowanym sposobem przewietrzania tych wyrobisk był sposób na „U" od granic pola (ponad 74,0%). Coraz powszechniej jednak stosowany jest także sposób na „Y" w rożnych jego odmianach (16,5%). Pozostałymi sposobami przewietrzanych było w ostatnim dziesięcioleciu ponad 9% ścian wydobywczych.

W każdym ze stosowanych sposobów przewietrzania ścian wydobywczych występuje przepływ powietrza przez zroby zawałowe. Przepływ ten wpływa na kształtowanie się zagrożenia pożarowego i metanowego w rejonie ściany wydobywczej.

Wykorzystane do analizy numerycznej przepływu powietrza przez zroby zawałowe modele geometryczne umożliwiły wyznaczenie rozkładów i charakterystyk prędkości w zrobach zawałowych, a także rozkładów ciśnienia statycznego i ich charakterystyki.

Z przeprowadzonej analizy jednoznacznie wynika, że wraz ze wzrostem odległości od ściany, prędkość filtracji powietrza w zrobach zawałowych maleje. Podobne zjawisko dotyczy spadku ciśnienia statycznego w zrobach zawałowych, im większa jest odległość od czoła ściany, tym wartość ciśnienia w zrobach jest mniejsza.

Na podstawie przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że zastosowanie metod numerycznych do analizy przepływu powietrza przez zroby zawałowe ścian przewietrzanych różnymi sposobami może stanowić alternatywę dla badań w warunkach rzeczywistych.

Uzyskane wyniki należy uznać jako wstępne, a opracowany model jako bazę do dalszej analizy przepływu powietrza przez wyrobiska górnicze.

LITERATURA

1. Ansys Fluent Theory Guide 14.0., 2011.
2. Branny M., Karach M., Wodziak W., Jaszczur M,. Nowak R., Szmyd J.: Eksperymentalna weryfikacja modeli CFD stosowanych w wentylacji kopalń. Przegląd Górniczy Nr 5/2013, Katowice 2013.
3. Dziurzyński W., Krawczyk J., Pałka T.: Weryfikacja procedur programu VentZroby w oparciu o numeryczną mechanikę płynów. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, tom 12, nr 1-4. Kraków 2010.
4. Ferziger J. H., Perić M: Computational Methods for Fluid Dynamics. Springer 2002.
5. Janus J., Krawczyk J., Kruczkowski J.: Porównanie symulacji numerycznych z wynikami pomiarów rozkładów pól prędkości w przekrojach chodników kopalnianych. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Tom 13, nr 1-4/2011.
6. Konopko W. (red): Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego. Praca zbiorowa pod kierunkiem W. Konopki. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2013.
7. Musioł D.: Analiza układów przewietrzania rejonów ścian w podsieciach wentylacyjnych w aspekcie zagrożenia metanowego, pożarowego i termicznego. Wiadomości Górnicze, nr 6,. Katowice 2000.
8. Pawiński J., Roszkowski J., Strzemiński J.: Przewietrzanie kopalń. Śląskie Wydawnictwa Techniczne, Katowice 1995.

9. Szlązak J.: Przepływ powietrza przez strefę zawału w świetle badań teoretycznych i eksperymentalnych. Rozprawy, Monografie. Kraków 2000.
10. Szlązak N., Szlązak J.: Filtracja powietrza przez zroby ścian zawałowych w kopalniach węgla kamiennego. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2005.
11. Szlązak J.: Metody obliczania rozpływu powietrza i rozkładu stężenia metanu w zrobach ścian zawałowych. Przykłady wykorzystania. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012.
12. Szlązak N., Szlązak J.: Wentylacja wyrobisk ścianowych w kopalniach węgla kamiennego, w warunkach zagrożeń metanowego i pożarowego. Kwartalnik Górnictwo i Geologia, Tom 8, zeszyt 2. Gliwice 2013.
13. Tutak M., Brodny J.: Wstępna analiza wpływu długości wyrobiska podścianowego znajdującego się za czołem ściany na parametry przepływu powietrza. Prewencja zagrożeń naturalnych. Praca zbiorowa pod redakcją J. Kabiesza, Katowice 2013.
14. Wala A. W., Stoltz J. R., Jacob J. D: Numerical and experimental study of a mine face ventilation system for CFD code validation, Proceedings of the 7th International Mine Ventilation Congress, Krakow 2001.
15. Wala A. M., Vytla S., Taylor C. D., Huang G.: Mine face ventilation: a comparison of CFD results against benchmark experiments for CFD code validation, Mining Engineering, Vol.59, 2007.

ANALIZA STOSOWANYCH SPOSOBÓW PRZEWIETRZANIA ŚCIAN WYDOBYWCZYCH W POLSKICH KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie: *W artykule przeprowadzono analizę stosowanych sposobów przewietrzania ponad dwóch tysięcy ścian wydobywczych eksploatowanych w latach 2009-2013 w polskich kopalniach węgla kamiennego. Na podstawie przeprowadzonej analizy, wskazano najczęściej stosowane sposoby przewietrzania ścian. Przepływ strumienia powietrza przez ściany wydobywcze przewietrzane najczęściej stosowanymi sposobami poddano analizie numerycznej. Badania objęły swym zakresem także filtracje powietrza przez zroby zawałowe. Badania modelowe przeprowadzono przy wykorzystaniu programu Ansys Fluent, bazującym na metodzie objętości skończonych. W wyniku przeprowadzonych analiz wyznaczono pola prędkości i ciśnienia w ścianach wydobywczych (i zrobach zawałowych) przewietrzanych różnymi sposobami. Zaprezentowane w artykule modele wyrobisk dają możliwości rozbudowy, a następnie analizy bardziej skomplikowanych zagadnień z zakresu wentylacji wyrobisk górniczych.*

Słowa kluczowe: *przewietrzanie wyrobisk, zagrożenie metanowe, badania modelowe, program Ansys Fluent*

mgr inż. Magdalena TUTAK
Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii
ul. Akademicka 2A, 44-100 Gliwice
e-mail: Magdalena.Tutak@polsl.pl