



Krystian WIERZBIŃSKI\*

## **Wpływ geometrii chodnika wentylacyjnego i sposobu jego likwidacji na rozkład stężenia metanu w rejonie wylotu ze ściany przewietrzanej sposobem U w świetle obliczeń numerycznych CFD**

Streszczenie: W artykule zaprezentowano wyniki obliczeń numerycznych stężeń metanu w chodniku wentylacyjnym, tj. w wyrobisku odprowadzającym powietrze ze ściany przewietrzanej w układzie na „U po caliznie węglowej”. Symulacje przeprowadzone zostały przy użyciu komercyjnego programu ANSYS CFX, który wykorzystuje tzw. obliczeniową mechanikę płynów CFD. Dla potrzeb obliczeń numerycznych wykorzystano zweryfikowane pod względem geometrii i poprawności przyjmowanych założeń modele geometryczne 3D fragmentu pola ścianowego, umożliwiające prognozowanie stężenia metanu na wylocie ze ściany. Z obliczeń numerycznych wynika, że lokalizacja niebezpiecznych stref występowania metanu uzależniona jest nie tylko od warunków wentylacyjno-metanowych, ale również od geometrii chodnika wentylacyjnego oraz sposobu jego likwidacji. Maksymalne stężenia metanu mogą występować na linii likwidacji chodnika wentylacyjnego przy ociosie odzawałowym przy likwidacji chodnika tamami izolacyjnymi z uszczelnieniem ociosu odzawałowego lub przy ociosie przeciwnym wyrobiska, w przypadku likwidacji chodników na zawał. Z obliczeń CFD wynika również, że zmniejszenie przekroju poprzecznego chodnika poniżej 12 m<sup>2</sup> powoduje wzrost zagrożenia metanowego przy ociosie przeciwnym przed linią zawału ściany. Dla chodników wentylacyjnych o dużych przekrojach poprzecznych strefa niebezpieczna ograniczona jest wyłącznie do części likwidowanej wyrobiska.

Słowa kluczowe: zagrożenie metanowe, wentylacja, ściana w układzie U, prognozowanie stężeń metanu, modelowanie CFD

## **The influence of ventilation roadway geometry and its method of liquidation on methane concentration in outlet of longwall ventilated U-system on the basis of CFD calculations**

Abstract: This article presents numerical calculations of methane concentration distribution in the air flowing ventilation roadway ie. roadway of the discharge air from a longwall ventilated by means of the “U” system. Simulations

\* Dr inż., Główny Instytut Górnictwa, Kopalnia Doświadczalna „Barbara” w Mikołowie; e-mail: e-mail: k.wierzbinski@gig.eu

was performed in ANSYS CFX, which uses CFD – Computational Fluid Dynamics. For the numerical calculations there were used the 3D geometric models, which give the possibility to forecast methane concentration at the outlet of the longwall, because there were validated in terms of geometry and the correctness of the assumptions. CFD calculations show that the location of dangerous methane zones (places special hazard) depends not only on the ventilation-methane conditions but also on the geometry of the ventilation roadway and method of its liquidation. In case of the dams using to liquidate roadway and isolator located in goaf side the maximum methane concentrations occur on line of liquidated ventilation roadway near the roadside from the goaf. However, in case of liquidation roadways by getting goaf methane concentrations are located on roadside opposite to the goaf. CFD calculations show that the reduction in cross-section area of ventilation roadway below 12 m<sup>2</sup> increases the methane hazard on side opposite to the goaf in front of goaf line. Danger methane zone in ventilation roadways with large cross-sections area is limited to only part of the liquidated.

Keywords: mining ventilation, longwall ventilation in the U-system, methane hazard, modeling of CFD, prediction of methane concentration

## Wprowadzenie

Aktualnie w polskim górnictwie węgla kamiennego ponad 75% ścian przewietrzanych jest sposobem U po caliznie węglowej (Wierzbiński 2011). W warunkach zagrożenia metanowego zaprojektowanie i zastosowanie sposobu przewietrzania U wiąże się z występowaniem w powietrzu wentylacyjnym na wylocie ze ściany niebezpiecznych stężeń metanu. W związku z tym identyfikacja stref podwyższonych koncentracji metanu w potencjalnym miejscu zagrożenia, a w szczególności określenie ich przestrzennego rozkładu w rejonie skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym oraz w przestrzeni zrobów, jest istotna w profilaktyce zagrożeń metanowego i wybuchowego.

Obecnie przy rosnącej mocy obliczeniowej komputerów, coraz częściej przy opracowaniu i doskonaleniu algorytmów umożliwiających prognozowanie stężeń metanu w rejonie potencjalnego zagrożenia metanowego wykorzystuje się metody numeryczne oparte na tzw. obliczeniowej mechanice płynów CFD (ang. *Computational Fluid Dynamics*). Symulacje numeryczne znalazły szerokie zastosowanie między innymi dla określenia wpływu zmian wielkości emisji metanu oraz zmian ciśnienia i wydatku powietrza na rozkład stężeń metanu w wyrobiskach górniczych oraz zrobach (Dziurzyński 2002; Nawrat i in. 2006; Branny 2006; Krawczyk 2007; Krause i in. 2008; Branny i Filipek 2008; Wierzbiński 2009).

Zakłada się, że trafne prognozowanie stężeń metanu w rejonie wylotu ze ściany jest niezwykle cenne z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy załogi górniczej. W ramach realizacji projektu pt. „Identyfikacja niebezpiecznych stref metanu w rejonach przewietrzanych w układzie na U po caliznie węglowej” (Wierzbiński 2011) zaprojektowano wiele modeli numerycznych 3D umożliwiających prowadzenie wariantowych obliczeń CFD. Porównanie wyników tych obliczeń pozwoliło na analizowanie rozkładu stężeń metanu na skrzyżowaniu ściany z chodnikiem wentylacyjnym w zależności od warunków wentylacyjno-metanowych, parametrów geometrycznych wyrobisk, sposobu likwidacji chodników oraz zastosowania tzw. pomocniczych urządzeń wentylacyjnych. Opracowane modele 3D zostały zweryfikowane pod względem poprawności przyjętych założeń, geometrii obszaru przepływu skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym, wyników obliczeń parametrów wentylacyjnych oraz stężeń metanu (Wierzbiński 2016a).

W artykule postanowiono zasygnalizować istotną rolę sposobu likwidacji wyrobisk przyścianowych oraz parametrów geometrycznych chodnika wentylacyjnego pozostawionego za

linią zawału, tj. długość i przekrój poprzeczny, na rozkład stężeń metanu w rejonie wylotu ze ściany.

## **1. Sposoby likwidacji chodników wentylacyjnych oraz analiza parametrów geometrycznych skrzyżowań ścian z chodnikami wentylacyjnymi**

### **1.1. Sposób likwidacji chodników wentylacyjnych**

Według Wierzińskiego (2011), aktualnie w polskim górnictwie węgla kamiennego, w większości ścian przewietrzanych sposobem U po caliznie węglowej (60%), likwidacja chodników przyścianowych prowadzona jest na zawał. W innych przypadkach (35%) chodniki wentylacyjne likwidowane są przy pomocy wygradzeń, tam konstrukcyjnych oraz tam izolacyjnych. Likwidacja wyrobisk z użyciem tam oraz wygradzeń stosowana przy braku możliwości uzyskania zawału na linii likwidacji chodnika, z uwagi na trudno rabowalny strop bezpośredni, przypuszczalnych trudności organizacyjno-technicznych z likwidacją obudowy chodnikowej lub działań celowych wynikających z konieczności utrzymania wyrobiska. Wygradzenia chodników wykonywane są w formie zawarć z płótna wentylacyjnego. Do wykonania tam konstrukcyjnych wykorzystuje się worki wypełnione np.: piaskiem, spoiwem mineralno-cementowym lub pyłem kamiennym. Tamy izolacyjne o konstrukcji korków przeciwybuchowych wykonywane są w odstępach co 6 m natomiast pozostałe wygradzenia i tamy konstrukcyjne w odstępach najczęściej 2, 4 lub 6 m i ewentualnie doszczelniane są środkami chemicznymi. Likwidacja chodników przez pełne wypełnienie podsadzka na całej ich długości stosowana jest sporadycznie (5%).

### **1.2. Parametry geometryczne skrzyżowań ścian z chodnikami wentylacyjnymi**

Dla zaprojektowania modeli geometrycznych obszarów przepływu wymagana jest znajomość możliwego zakresu zmienności parametrów geometrycznych skrzyżowań ścian z chodnikami wentylacyjnymi. Zakres ten określony został na podstawie analizy wyników badań własnych przeprowadzonych dla 18 ścian oraz analizy danych ankietowych z 71 ścian (Wierziński 2011). Szersza analiza wybranych parametrów geometrycznych między innymi długości niezlikwidowanego chodnika wentylacyjnego za linią zawału, jego przekroju poprzecznego oraz usytuowania spągu i stropu ściany względem stropu i spągu chodnika przyścianowego przedstawiona została w pracy Wierzińskiego (2016b).

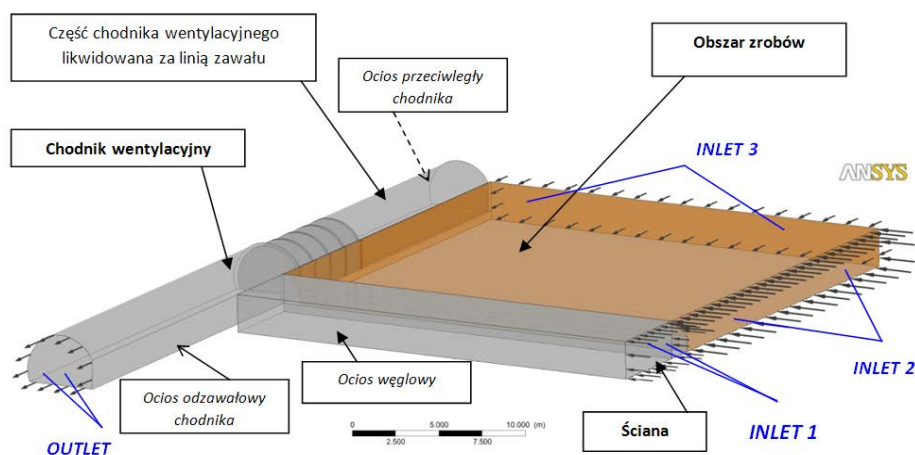
Z analizy danych ankietowych wynika, że typowy przekrój poprzeczny chodników wentylacyjnych mieści się w zakresie od 6 do 24 m<sup>2</sup>, a maksymalna długość chodników wentylacyjnych utrzymywanych za linią zawału ściany najczęściej nie przekracza 6 m.

Ograniczenie długości nielikwidowanych chodników za linią zawału do 6 m stanowi konsekwencję przestrzegania zasad dotyczących prowadzenia ścian w warunkach zagrożenia metanowego (Krause i Łukowicz 2004). Chodniki wentylacyjne o długości 10–15 m występują wyłącznie w ścianach o metanowości wentylacyjnej poniżej 1,5 m<sup>3</sup>/min. Według badań ankietowych, w decydującej większości przypadków, spąg ściany znajduje się poniżej

chodnika wentylacyjnego. Maksymalne obniżenie spągu ścian względem spągu chodnika wynosi 1,2 m, najczęściej jednak nie przekracza 0,3 m. Badania własne pokazały możliwość występowania w warunkach rzeczywistych małych przekrojów poprzecznych wyrobisk mieszczących się w zakresie 4–5 m<sup>2</sup> oraz długich (11,0–11,5 m) niezlikwidowanych za linią zawалу odcinków chodników wentylacyjnych w ścianach o metanowości wentylacyjnej powyżej 2,5 m<sup>3</sup>/min.

## 2. Metoda obliczeń numerycznych rozkładu stężeń metanu

Obliczenia numeryczne rozkładu stężeń metanu w rejonie skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym przeprowadzono przy użyciu komercyjnego programu ANSYS CFX firmy Ansys Incorporated. W celu rozwiązywania zagadnień przepływu płynów, oprogramowanie wykorzystuje tzw. obliczeniową mechanikę płynów CFD. Do dyskretyzacji równań Naviera-Stokesa zastosowana została metoda objętości skończonych FVM (ang. Finite Volume Method). W obliczeniach numerycznych mających na celu przeanalizowanie wpływu sposobu likwidacji chodników przyścianowych oraz długości pozostawionego chodnika wentylacyjnego za linią zawalu, wprowadzono modele geometryczne 3D z fragmentem pola ścianowego złożonego ze zrobów, chodnika wentylacyjnego oraz końcowego odcinka ściany. Poglądowy widok na model przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Geometria modelu 3D obszaru przepływu fragmentu pola ścianowego

Fig. 1. Geometry of 3D model of the flow area imitated fragment of longwall mining panel

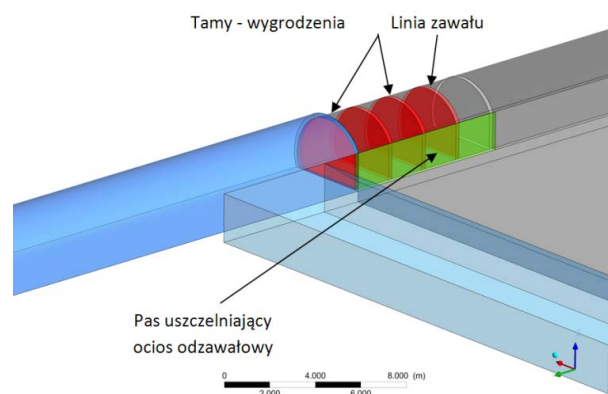
W celu optymalizacji siatki i skrócenia czasu obliczeń wysokość zrobów została ograniczona do wysokości furty eksploatacyjnej (wysokości ściany). W tabeli 1 zestawione zostały dane dotyczące ogólnych parametrów geometrycznych modelu.

Dopasowanie modelu do technologii likwidacji chodnika wentylacyjnego, uwzględnienie różnych długości chodnika wentylacyjnego pozostawionego za linią zawalu oraz w niektórych przypadkach pasa uszczelniającego ocios odwalowy wymagało wykorzystania do obliczeń numerycznych dwóch modeli geometrycznych: Model 1 (rys. 2) i Model 2 (rys. 3).

TABELA 1. Parametry geometryczne modelu obszaru przepływu

TABLE 1. Geometric parameters of flow area

Lp.	Parametr geometryczny	Wartość
1.	Furta eksploatacyjna (wysokość ściany)	2,25 m
2.	Szerokość ściany	8,0 m
3.	Przekrój poprzeczny ściany	16,8 m <sup>2</sup>
4.	Wysokość zrobów	2,25 m
5.	Długość odcinka ściany	25,0 m
6.	Wysokość chodnika	3,0 m
7.	Szerokość chodnika	3,8 m
8.	Dł. chodnika wentylacyjnego (łącznie z częścią zlikwidowaną w zrobach)	50 m
9.	Przekrój poprzeczny chodnika	9,1 m <sup>2</sup>
10.	Pole powierzchni obszaru zrobów w przekroju poziomym	25 m x 25 m



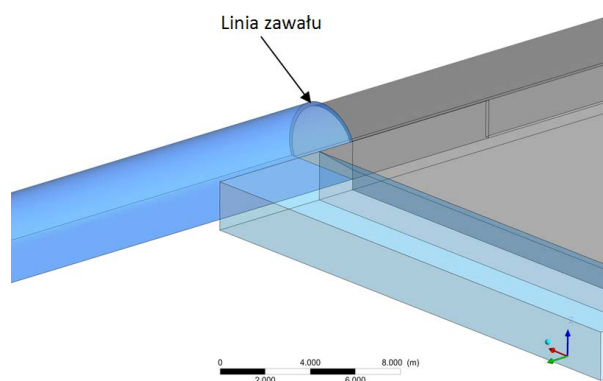
Rys. 2. Geometria modelu skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym z likwidacją chodnika tamami (wygradzeniami) z pasem uszczelniającym ocios odzawałowy – Model 1

Fig. 2. Geometry of model of longwall/ventilation roadway crossing with the use of dams to liquidate roadways and isolator located in goaf side – Model no. 1

Przyjęte do obliczeń parametry przepuszczalności elementów obszaru przepływu przedstawione zostały w tabeli 2. Parametry te zostały zaczerpnięte z pracy Wierzińskiego (2011) i wynikały z dołowych badań kopalniach oraz kalibracji opracowanych w ramach projektu modeli.

Obliczenia wykonano dla warunków izotermicznych (bez wymiany ciepła), przyjmując temperaturę powietrza oraz temperaturę metanu 28°C (301,15K). Na wylocie z obszaru przepływu (rys. 1, ścianka OUTLET), założono ciśnienie 1070 hPa.

Powietrze i metan potraktowano jak gazy doskonałe, przy czym dla powietrza przyjęto, że jest suchą mieszaniną gazów. Dla przepływu i dopływu metanu do obszaru fragmentu pola ścianowego – przyjęto stan ustalony. Założono model turbulencji k-epsilon oraz warunki początkowe dotyczące gęstości gazów: 1,25 kg/m<sup>3</sup> dla powietrza, 0,65 kg/m<sup>3</sup> dla



Rys. 3. Geometria modelu skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym z likwidacją chodnika na zawal – Model 2

Fig. 3. Geometry of model of longwall/ventilation roadway crossing with liquidation of roadways by getting goaf – Model no. 2

TABELA 2. Założone parametry dotyczące przepuszczalności poszczególnych elementów obszaru przepływu

TABLE 2. Assumed parameters of permeability of individual elements of the flow area

Lp.	Element obszaru przepływu	Przepuszczalność [m <sup>2</sup> ]
1.	Część robocza ściany	$5 \cdot 10^{-6}$
2.	Część odzawałowa ściany	$10^{-6}$
3.	Zroby	$10^{-6}$
4.	Izolacja (uszczelnienie) ociosu odzawałowego chodnika wentylacyjnego za linią zawalu (dla Modelu 1)	$10^{-9}$
5.	Tama, wygradzenie wyznaczające linię likwidacji chodnika wentylacyjnego (dla Modelu 1)	$10^{-9}$

metanu. W obliczeniach numerycznych przyjęto, że dopływ metanu do ściany odbywa się przez zroby, natomiast pominięto dopływ metanu do ściany z ociosu węglowego. Zgodnie z oznaczeniami na schemacie (rys. 1) przyjęto następujące założenia dotyczące dopływu metanu i powietrza do obszaru przepływu tzw. inlets:

- INLET-1 =  $V_{sc} = 80\%V_p$ ; wydatek powietrza w ścianie (założenie: brak dopływu metanu z powietrzem wentylacyjnym w ścianie, 20% ucieczki powietrza przez zroby),
- INLET-2 =  $20\%V_p + 95\%Q_{ZR}$ ; dopływ metanu do obszaru zrobów z ucieczkami powietrza (założenie jednorodnej mieszaniny metanowo-powietrznej),
- INLET-3 =  $5\%Q_{ZR}$ ; dopływ metanu do obszaru zrobów na ściankach granicznych obszaru.

gdzie:

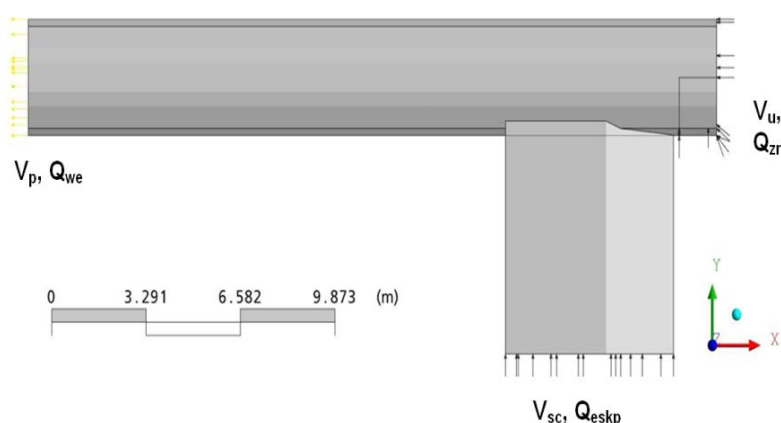
- $- Q_{ZR}$  – strumień metanu dopływający do obszaru zrobów,
- $- V_p$  – wydatek powietrza doprowadzany do ściany chodnikiem podścianowym.

Do obliczeń rozkładu stężeń metanu na skrzyżowaniu ściany z chodnikiem wentylacyjnym przeprowadzonych na Modelu 1 i Modelu 2, przyjęto wydatek powietrza dopro-

wadzany do ściany  $V_p = 1000 \text{ m}^3/\text{min}$  oraz metanowość zrobów  $Q_{ZR} = 3 \text{ m}^3/\text{min}$  oraz  $Q_{ZR} = 5 \text{ m}^3/\text{min}$ .

Do analizy wpływu przekroju poprzecznego chodnika wentylacyjnego na rozkład stężenia metanu, zaprojektowano dodatkowo sześć modeli (Modele: I–VI) o różnych przekrojach poprzecznych wyrobiska:  $4 \text{ m}^2$ ,  $6 \text{ m}^2$ ,  $8 \text{ m}^2$ ,  $10 \text{ m}^2$ ,  $12 \text{ m}^2$  i  $15 \text{ m}^2$ . W modelach pominięto obszar zrobów oraz obszar chodnika wentylacyjnego za linią likwidacji chodnika (rys. 4).

W Modelach I–VI przyjęto długość chodnika wentylacyjnego 24 m, w tym dwumetrowy odcinek wyrobiska utrzymywany za linią zawału oraz wysokość ściany 2,2 m.



Rys. 4. Widok z góry na skrzyżowanie ściany z chodnikiem wentylacyjnym, (Model IV) z lokalizacją miejsc dopływu metanu ( $Q_{ZR}$ ,  $Q_{eksp}$ ) i powietrza ( $V_{sc}$ ,  $V_U$ )

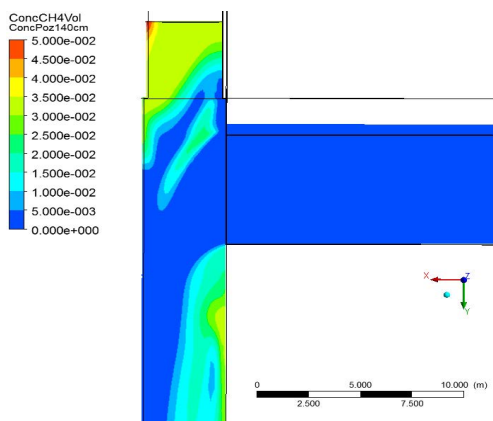
Fig. 4. Top view of longwall/ventilation roadway crossing, (Model no. IV) with the location of methane inlets ( $Q_{ZR}$ ,  $Q_{eksp}$ ) and air inlets ( $V_{sc}$ ,  $V_U$ )

W modelach I–VI przyjęto wydatek powietrza doprowadzany do ściany  $V_p = 1000 \text{ m}^3/\text{min}$  oraz metanowość zrobów  $Q_{ZR} = 8 \text{ m}^3/\text{min}$ . Na ściankach obszaru przepływu w części chodnika wentylacyjnego za linią zawału założono dopływ jednorodnej mieszaniny metanowo-powietrznej, wynikający z założeń dotyczących metanowości zrobów i wielkości ucieczek powietrza przez strefę zawału ( $V_U = 20\% V_p$ ). Pozostałe założenia dotyczące parametrów fizycznych powietrza (ściśliwość, temperatura, ciśnienie), warunków mieszania oraz modelu turbulencji przyjęte zostały analogicznie jak w Modelach 1–2.

### 3. Wyniki obliczeń CFD stężeń metanu w rejonie skrzyżowania ściany i chodnika wentylacyjnego w zależności od sposobu likwidacji chodnika wentylacyjnego oraz jego długości za linią zawału

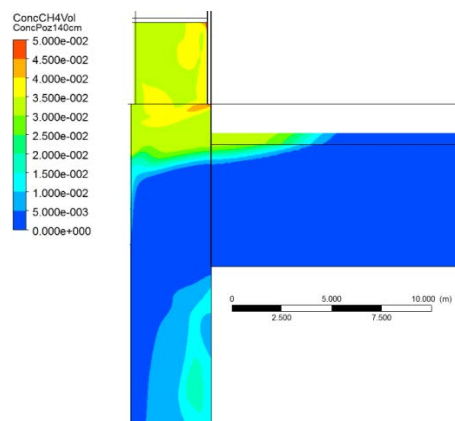
Obliczenia numeryczne na Modelu 1 i Modelu 2 pokazują że w obszarze skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym, lokalizacja maksymalnych stężeń metanu w przekroju poprzecznym wyrobiska uzależniona jest od położenia względem linii zawału ściany oraz sposobu likwidacji chodnika wentylacyjnego (rys. 5–6). Dla długości chodników wenty-

lacyjnych pozostawianych za linią zawału w zakresie od 2 do 6 m, maksymalne stężenia metanu na linii likwidacji chodnika wentylacyjnego mogą występować zarówno przy ociosie przeciwnym (rys. 5), w przypadku likwidacji chodnika na zawał – Model 2, jak również przy ociosie odzawałowym (rys. 6), gdy likwidacja chodnika prowadzona jest tamami izolacyjnymi z uszczelnieniem ociosu odzawałowego Model 1.



Rys. 5. Rozkład stężeń metanu na wysokości 1,4 m od spągu chodnika o długości 6 m likwidowanego na zawał (Model 2)

Fig. 5. The calculation results of methane concentration in the horizontal plane located 1,4 m above floor of ventilation roadway. Model no. 2 with length of the ventilation roadway 6 m



Rys. 6. Rozkład stężeń metanu na wysokości 1,4 m od spągu chodnika o długości 6 m likwidowanego przy pomocy tam izolacyjnych (Model 1)

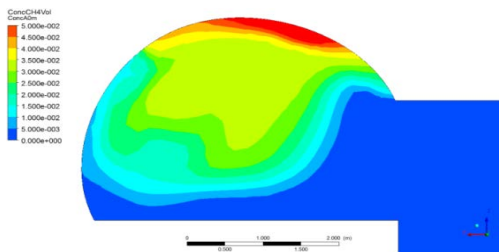
Fig. 6. The calculation results of methane concentration in the horizontal plane located 1,4 m above floor of ventilation roadway. Model no. 1 with length of the ventilation roadway 6 m

Różnice w rozkładzie stężenia metanu w obszarze skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym, w zależności od sposobu likwidacji chodnika wentylacyjnego, wynikają z lokalnych zmian w rozplywie powietrza w obszarze skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym. W przypadku likwidacji chodnika tamami izolacyjnymi (rys. 6) występowanie maksymalnych stężeń metanu na linii zawału ściany jest skutkiem ograniczonej migracji powietrza przez obszar zrobów do części likwidowanej chodnika wentylacyjnego oraz mniejszej intensywności przewietrzania części likwidowanej chodnika. W przypadku likwidacji chodnika tamami izolacyjnymi mieszanina metanowo-powietrzna dopływająca ze zrobów do części likwidowanej chodnika wentylacyjnego charakteryzuje się wyższą koncentracją metanu, w porównaniu z sytuacją, jaka ma miejsce przy likwidacji wyrobisk na zawał (rys. 5).

W odróżnieniu do rozkładu stężeń na linii likwidacji chodnika wentylacyjnego, strefa maksymalnych stężeń na linii zawału ściany (oraz przed linią zawału) występuje:

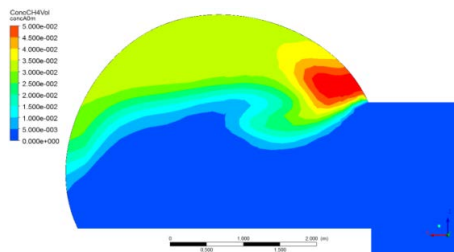
- **w górnej części wyrobiska** (pod stropem) w przypadku chodnika o długości 2 m (rys. 7),
- **przy ociosie odzawałowym** w obszarze między stropem ściany a stropem chodnika wentylacyjnego, w przypadku utrzymywania dłuższych wyrobisk za linią zawału – powyżej 4 m (rys. 8).





Rys. 7. Rozkład stężeń metanu na linii zawalu ściany dla układu z chodnikiem o długości 2 m likwidowanym na zawal (Model 2)

Fig. 7. The calculation results of methane concentration in cross-section area located in goaf line. Model no. 2 with length of the ventilation roadway 2 m

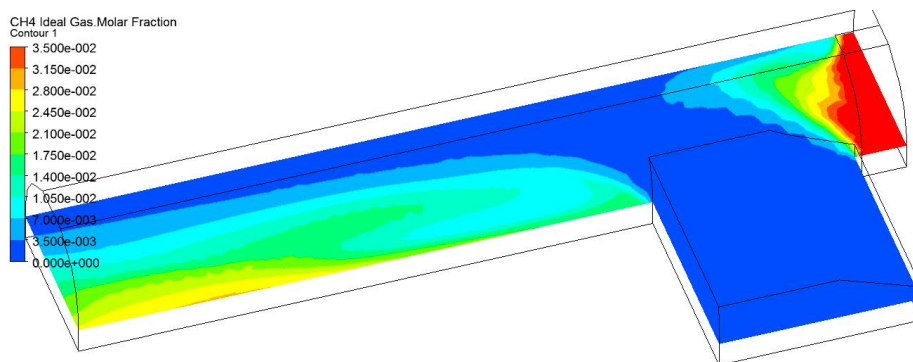


Rys. 8. Rozkład stężeń metanu na linii zawalu ściany dla układu z chodnikiem o długości 6 m likwidowanym na zawal (Model 2)

Fig. 8. The calculation results of methane concentration in cross-section area located in goaf line. Model no. 2 with length of the ventilation roadway 6 m

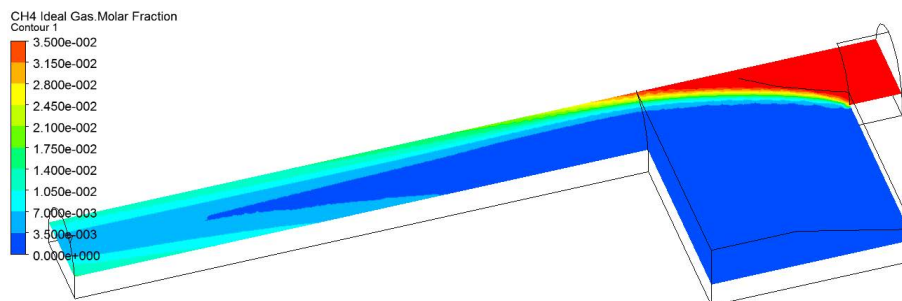
#### 4. Analiza wyników obliczeń CFD stężeń metanu w rejonie skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym w zależności od jego przekroju poprzecznego

Rozpatrując zasięg strefy niebezpiecznej (stężenia metanu powyżej 3%) wyłącznie w płaszczyźnie poziomej zlokalizowanej na wysokości 0,8 m powyżej spągu chodnika (rys. 9–10), można stwierdzić, że zmniejszenie przekroju poprzecznego chodnika poniżej 12 m<sup>2</sup> powoduje wzrost zagrożenia metanowego przy ociosie przeciwnym przed linią zawalu ściany. Dla chodników wentylacyjnych o dużych przekrojach poprzecznych, np. 12–15 m<sup>2</sup> (rys. 9) strefa niebezpieczna ograniczona jest wyłącznie do części likwidowanej wyrobiska. Natomiast przy przekrojach mniejszych 4–8 m<sup>2</sup> (rys. 10) występuje wyraźnie niekorzystna sytuacja, w której strefa ta zlokalizowana jest dodatkowo przed linią zawalu, tj. w miejscu



Rys. 9. Rozkład stężenia metanu w płaszczyźnie poziomej zlokalizowanej na wysokości 0,8 m od spągu chodnika wentylacyjnego o przekroju poprzecznym  $A = 12 \text{ m}^2$  (Model V)

Fig. 9. The calculation results of methane concentration in the horizontal plane located 0,8 m above floor of ventilation roadway with cross-section area  $A = 12 \text{ m}^2$  (Model no. V)



Rys. 10. Rozkład stężenia metanu w płaszczyźnie poziomej zlokalizowanej na wysokości 0,8 m od spągu chodnika wentylacyjnego o przekroju poprzecznym  $A = 4 \text{ m}^2$  (Model I)

Fig. 10. The calculation results of methane concentration in the horizontal plane located 0,8 m above floor of roadway with cross-section area  $A = 4 \text{ m}^2$  (Model no. I)

wykonywania wielu czynności technologicznych. Przykładowo dla chodnika o przekroju poprzecznym  $8 \text{ m}^2$  zasięg strefy przed linią zawалу przy ociosie przeciwnym wynosi 3 m, z kolei dla przekroju  $4 \text{ m}^2$  zasięg wzrasta do 6 m (rys. 10).

Mniejszy zasięg strefy niebezpiecznej przy ociosie przeciwnym wynika częściowo z większej prędkości powietrza w części likwidowanej chodnika spowodowanej mniejszym przekrojem, tj. wzrostu energii kinetycznej mieszaniny metanowo-powietrznej stanowiącej ucieczki powietrza. Istotnym czynnikiem wpływającym na różnice w rozplywie powietrza, a w konsekwencji na zasięg strefy niebezpiecznej, jest zmiana geometrii obszaru skrzyżowania dla różnych wielkości chodników, w szczególności wysokości stropu chodnika względem stropu ściany.

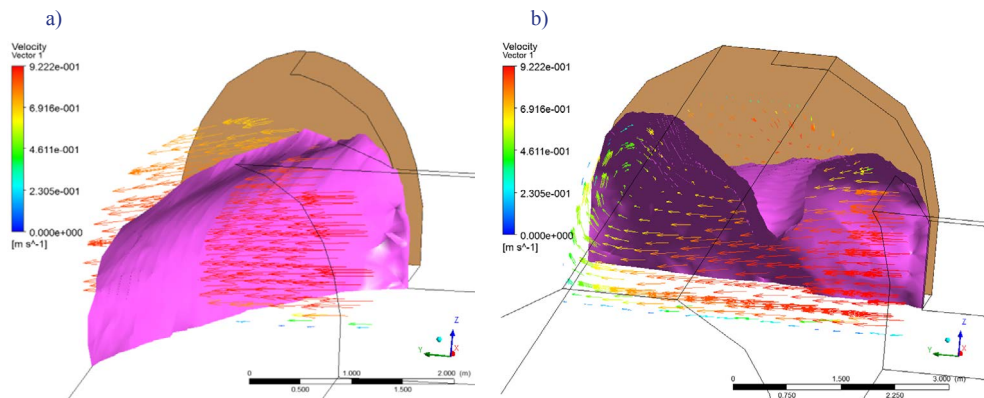
W modelu dla skrzyżowań z chodnikami wentylacyjnymi o dużych przekrojach poprzecznych ( $12\text{--}15 \text{ m}^2$ ) występować będzie duża różnica wysokości między stropem ściany a stropem chodnika wentylacyjnego. Z przeprowadzonych obliczeń numerycznych rozplywu powietrza wynika, że takie ukształtowanie górnej części obszaru przepływu powoduje powstanie w przekroju poprzecznym chodnika wentylacyjnego ruchu wirowego powietrza wpływającego ze ściany (rys. 11b).

Konsekwencją powstania różnicy wysokości między stropem ściany a stropem chodnika wentylacyjnego najczęściej w chodnikach o dużych przekrojach poprzecznych jest przesunięcie strefy niebezpiecznej metanu z ociosu przeciwnego wyrobiska pod jego strop, a następnie na ocios odzawałowy (rys. 11b), w odróżnieniu do wyrobisk o małym przekroju, w których wektor prędkości jest prawie równoległy do kierunku 0-Y (rys. 11a).

## Podsumowanie

Obliczenia numeryczne CFD wykonane przy założeniu stałych warunków wentylacyjno-metanowych na modelach 1–2 oraz modelach I–IV pokazały istotny wpływ:

- sposobu likwidacji chodników wentylacyjnych,
- długości utrzymywanego chodnika za linią zawalu,
- przekroju poprzecznego chodnika wentylacyjnego



Rys. 11. Widok od strony calizny węglowej na skrzyżowanie ściany z chodnikiem wentylacyjnym. Powierzchnia graniczna stężenia metanu 3% z rozkładem prędkości powietrza w przekroju poprzecznym chodnika wentylacyjnego: a) przekrój poprzeczny chodnika  $A = 4 \text{ m}^2$ , rozkład prędkości 3 m przed linią zawału, b) przekrój poprzeczny chodnika  $A = 12 \text{ m}^2$ , rozkład prędkości 3 m przed linią zawału

Fig. 11. The view of longwall/ventilation roadway crossing from the face of longwall. Location surface boundary of methane concentration 3% CH<sub>4</sub> and air velocity in cross-section area of ventilation roadway: a) Cross-section area of ventilation roadway is  $4 \text{ m}^2$ , velocity distribution 3 m in front of goaf line, b) Cross-section area of ventilation roadway is  $12 \text{ m}^2$ , velocity distribution 3 m in front of goaf line

na lokalizację strefy niebezpiecznych stężeń metanu w obszarze skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym.

Przy likwidacji chodnika tamami izolacyjnymi z uszczelnieniem ociosu odzawałowego (Model 1) maksymalne stężenia metanu występują na linii likwidacji chodnika wentylacyjnego przy ociosie odzawałowym (rys. 6). Natomiast w przypadku likwidacji chodników na zawał (Model 2) stężenia te zlokalizowane przy ociosie przeciwnym wyrobiska (rys. 5).

Z obliczeń wynika, że w odróżnieniu do rozkładu stężeń na linii likwidacji chodnika wentylacyjnego, strefa maksymalnych stężeń na linii zawału ściany (oraz przed linią zawału) w przypadku krótkiego chodnika (długość 2 m) zlokalizowana została w górnej części wyrobiska (pod stropem, rys. 7) oraz w przypadku utrzymywania dłuższych wyrobisk za linią zawału – powyżej 4 m – przy ociosie odzawałowym w obszarze między stropem ściany a stropem chodnika wentylacyjnego (rys. 8).

Z obliczeń CFD na modelach I–VI wynika, że zmniejszenie przekroju poprzecznego chodnika poniżej  $12 \text{ m}^2$  powoduje wzrost zagrożenia metanowego przy ociosie przeciwnym przed linią zawału ściany. Dla chodników wentylacyjnych o dużych przekrojach poprzecznych ( $12\text{--}15 \text{ m}^2$ ) strefa niebezpieczna ograniczona jest wyłącznie do części likwidowanej wyrobiska (rys. 9). Wyraźnie niekorzystna sytuacja występuje przy przekrojach  $4\text{--}8 \text{ m}^2$  ponieważ strefa ta zlokalizowana jest dodatkowo przed linią zawału, tj. w miejscu wykonywania wielu czynności technologicznych (rys. 10).

Istotnym czynnikiem wpływającym na różnice z rozplywie powietrza, a w konsekwencji na zasięg strefy niebezpiecznej, jest zmiana geometrii obszaru skrzyżowania dla różnych wielkości chodników wentylacyjnych, w szczególności odmiennej wysokości stropu chodnika względem stropu ściany. Duża różnica w usytuowaniu stropu ściany względem stropu

chodnika powoduje powstanie w przekroju poprzecznym chodnika wentylacyjnego ruchu wirowego powietrza wypływającego ze ściany, a w konsekwencji przesunięcie strefy niebezpiecznej metanu z ociosu przeciwległego wyrobiska – początkowo pod strop chodnika a następnie na ocios odzawałowy chodnika wentylacyjnego (rys. 11b).

Podsumowując, w odróżnieniu od małych przekrojów poprzecznych, gdzie strefa niebezpieczna znajduje się przy ociosie przeciwległym ( $4\text{--}6\text{ m}^2$ ), dla chodników o dużych przekrojach poprzecznych strefa niebezpiecznych stężeń metanu w chodniku wentylacyjnym zostaje odsunięta od ociosu przeciwległego wyrobiska do obszaru między stropem chodnika a stropem ściany zlokalizowanego w jego górnej części (pod stropem).

Wyniki badań przedstawione w artykule przeprowadzono w ramach projektu nr 3381/B/T02/2011/40. Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki.

## Literatura

- Ansys [Online] Dostępne w: <http://www.ansys.com/Products/Fluids/ANSYS-CFX> [Dostęp: 12.02.2011].
- Branny, M. 2006. Komputerowa symulacja przepływu mieszaniny powietrzno-metanowej w rejonie skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym. *Archiwum Górnictwa – Archives of Mining Sciences* 51(1), s. 133–145.
- Branny, M. i Filipek, W. 2008. Modelowanie procesu przewietrzania wyrobisk ślepych przy występujących zagrożeniach skojarzonych metodami CFD. *XXXIV Dni Techniki ROP' 2008, XXV Seminarium, Zagrożenia skojarzone – teoria i praktyka*. Rybnik, 23.10.2008 r. Gliwice Instytut Eksploatacji Złóż, Wydział Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej, s. 1–11.
- Dziurzyński, W. 2002. Symulacja numeryczna procesu przewietrzania sieci wentylacyjnej kopalni. *Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, seria: Rozprawy – monografie* 2. Kraków, 129 s.
- Krause i in 2008 – Krause, E., Cybulski, K. i Wierzbński, K. 2008. Modelowanie rozkładu koncentracji metanu w rejonie skrzyżowania chodnika wentylacyjnego ze ścianą. *XXI Światowy Kongres Górniczy*. Kraków–Katowice, 7–11 września 2008, s. 29–40.
- Krause, E. i Łukowicz, K. 2004. Zasady prowadzenia ścian w warunkach zagrożenia metanowego. seria: *Instrukcje* No 17. Katowice: Główny Instytut Górnictwa – Kopalnia Doświadczalna „Barbara” w Mikołowie, 39 s.
- Krawczyk, J. 2007. Jedno i wielowymiarowe modele niestacjonarnych przepływów powietrza i gazów w wyrobiskach kopalnianych. Przykłady zastosowań. *Archiwum Górnictwa – Archives of Mining Sciences*. Serie: *Monografie* Nr 2, Kraków, 198 s.
- Nawrat i in 2006 – Nawrat, S., Kuczera, Z. i Napieraj, S. 2006. Badania modelowe zwalczania zagrożenia metanowego na wylocie ściany przewietrzanej systemem „U”. *4 Szkoła Aerologii Górniczej*. Kraków, 10–13 października 2006. Katowice: Centrum Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa EMAG, s. 455–466.
- Wierzbński, K. 2009. Modelowanie komputerowe rozkładu parametrów powietrza oraz koncentracji metanu w rejonie skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym. *5 Szkoła Aerologii Górniczej*. Wrocław 13–16 października 2009. Wrocław: ZPU Cuprum, s. 111–118.
- Wierzbński, K. 2011. *Sprawozdanie merytoryczne z realizacji projektu badawczego pt. „Identyfikacja niebezpiecznych stref metanu w rejonach przewietrzanych w układzie na U po caliznie węglowej”*. Załącznik nr 4 do raportu końcowego z projektu nr N N524 3381 40. Katowice, Archiwum KD-1 (praca niepublikowana).
- Wierzbński, K. 2013. Wyniki badań rozkładu stężeń metanu w rejonie skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym w układzie przewietrzania ścian na „U” po caliznie. s. 275–285 [W:] Cygankiewicz J. i Prusek S. *Zagrożenia aerologiczne w kopalniach węgla kamiennego – profilaktyka, zwalczanie, modelowanie, monitoring*. Katowice, Główny Instytut Górnictwa, s. 285.
- Wierzbński, K. 2016a. Wykorzystanie metod CFD w prognozowaniu przestrzennym rozkładu koncentracji metanu w chodniku wentylacyjnym – opracowanie i walidacja modeli numerycznych 3D. *Przegląd Górniczy* 72(2), s. 44–55.
- Wierzbński, K. 2016b. Geometria skrzyżowań ścian z chodnikami wentylacyjnymi – konfiguracja pomocniczych urządzeń wentylacyjnych. *Przegląd Górniczy* 72(2), s. 66–79.