

# 18

## OCENA POPRAWNOŚCI KONTROLI METANU NA SKRZYŻOWANIU ŚCIANY Z CHODNIKIEM WENTYLACYJNYM W ŚWIETLE WYNIKÓW SYMULACJI ROZKŁADU METANU NA MODELU GEOMETRYCZNYM

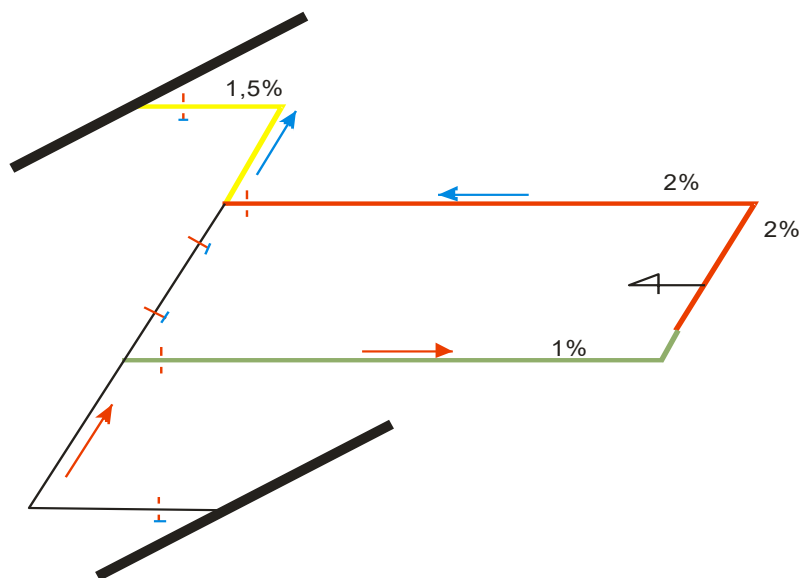
### WPROWADZENIE

Zwalczanie zagrożenia metanowego polega przede wszystkim na ograniczeniu możliwości powstawania niebezpiecznych nagromadzeń metanu, jak i na eliminacji źródeł zapłonu metanu poprzez stosowanie środków zabezpieczających przed jego zapłonem. Odpowiednio do występującego zagrożenia metanowego stosuje się różne środki profilaktyczne – od wymagań stawianych urządzeniom energomechanicznym, zabezpieczeniom metanometrycznym, do wymagań w zakresie odpowiednich warunków wentylacyjnych oraz odmetanowania włącznie [2, 4, 8, 9, 17]. W praktyce górniczej, stosuje się kilka sposobów przewietrzania ścian eksploatowanych w kopalniach węgla, w zależności od występujących zagrożeń naturalnych, jednak najprostszym i najczęściej stosowanym jest sposób na „U” po caliźnie węglowej.

Przewietrzanie ścian sposobem „U” po caliźnie węglowej jest optymalne przy zwalczaniu zagrożenia pożarowego, gdyż w warunkach likwidacji wyrobisk przyścianowych można znacznie ograniczyć migracje powietrza przez zroby, jednak przy zwalczaniu zagrożenia metanowego wymaga stosowania dodatkowych rygorystycznych środków profilaktycznych i nie jest korzystne. Stosowanie przewietrzania w układzie na „U” po caliźnie węglowej stwarza potencjalnie duże zagrożenie metanowe w rejonie skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym, co wymaga stosowania układu pomocniczych urządzeń wentylacyjnych dla rozrzedzenia metanu, jak i skutecznego monitoringu zawartości metanu dla zapewnienia bezpieczeństwa prowadzonych robót.

## METODYKA BADAWCZA

W kopalniach węgla, ocena zagrożenia metanowego jest oparta na analizie monitoringu koncentracji metanu w wyrobiskach oraz metanowości [4, 13, 14]. W zakresie zagrożenia metanowego, w polskim górnictwie węgla kamiennego obowiązują rygory wynikające zarówno z kategorii zagrożenia metanowego [15], dopuszczalnej zawartości metanu w powietrzu kopalnianym, jak i z metanowości, czyli objętości wydzielającego się metanu w jednostce czasu ( $\text{m}^3/\text{min}$ ) [16]. Dla przykładu na rysunku 1 przedstawiono typowy rozkład dopuszczalnych zawartości metanu w rejonie ściany przewietrzanej sposobem „U” po caliźnie węglowej.



Rys. 1 Rozkład dopuszczalnych zawartości metanu w rejonie ściany przewietrzanej sposobem „U” po caliźnie węglowej

Profilaktyka w rejonach ścian eksploatowanych w warunkach zagrożenia metanowego powinna być stosowana zgodnie z zasadami określonymi w Instrukcji GIG nr 17 [5]. W celu poprawy bezpieczeństwa załogi górniczej, niezbędne jest opracowanie, wprowadzenie i wdrożenie do praktyki górniczej zintegrowanego systemu anemometryczno-gazometrycznego.

W latach 2012-2015 w Głównym Instytucie Górnictwa realizowany był projekt o tytule „Zaawansowane narzędzia do kontroli wentylacji i wydzielania metanu” (akronim AVENTO), finansowany z Funduszu Badawczego Węgla i Stali (RFCS). Ze strony polskiej, projekt był realizowany przez GIG wspólnie z Instytutem Technik Innowacyjnych EMAG oraz Kompanią Węglową S.A. (poligon doświadczalny). Jednym z celów projektu było opracowanie nowatorskiej metodologii monitoringu i oceny zagrożenia metanowego w kopalni, przy uwzględnieniu głównych miejsc

wydzielania się metanu i jego przepływu: w ścianach, zrobach i na drogach wentylacyjnych.

W ramach realizacji jednego z zadań przedmiotowego projektu prowadzono prace badawcze związane z opracowaniem koncepcji systemu pomiarowego z naciskiem na optymalną lokalizację stacji pomiarowych dla prawidłowej oceny występujących zagrożeń gazowych i wentylacyjnych.

Wyniki badań kształtowania się rozkładu koncentracji metanu w rejonie prowadzonej eksploatacji w kopalniach węgla kamiennego uzależnione są od poprawności przyjęcia założeń dotyczących doboru odpowiedniego modelu środowiska ściany, uwzględniającego zarówno jego geometrię, jak i mechanizmy przepływów gazowych [3, 6, 7, 10, 11, 12].

Dla realizacji celów projektu zbudowano szereg modeli geometrycznych (ściany, chodnika wentylacyjnego, zrobów) z wykorzystaniem metod CFD dla obliczeń numerycznych parametrów wentylacyjnych i zawartości metanu w strumieniach powietrza wentylacyjnego w określonych miejscach pomiarowych, różniących się głównie wielkością rozpatrywanego obszaru przepływu oraz stopniem uszczegółowienia geometrii (elementów) wyrobisk. Do określenia w analizowanych obszarach przepływu (zaprojektowanych modelach geometrycznych 3D) między innymi takich parametrów jak przestrzenne pole prędkości płynu, rozkład stężeń metanu w powietrzu – zastosowano model matematyczny oparty na układzie równań złożonym z równania stanu, równania dyfuzji oraz równań do opisu procesów transportu w przepływie burzliwym w oparciu model turbulencji k-epsilon. Wybrany model k-epsilon należy do tzw. obliczeniowych metod RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) i oparty został na hipotezie Reynoldsa tj. na rozwiązaniu uśrednionych w czasie równań ciągłości Naviera-Stokesa opisujących zasadę zachowania masy i pędu oraz dwóch dodatkowych równań domykających (równań transportu k-epsilon).

Do rozwiązania układu w/w równań wykorzystano komercyjne oprogramowanie ANSYS CFX 12.0 [1]. Oprogramowanie to dyskretyzuje ww. równania za pomocą metody objętości skończonych – FVM (ang.: Finite Volume Method).

## WYNIKI PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

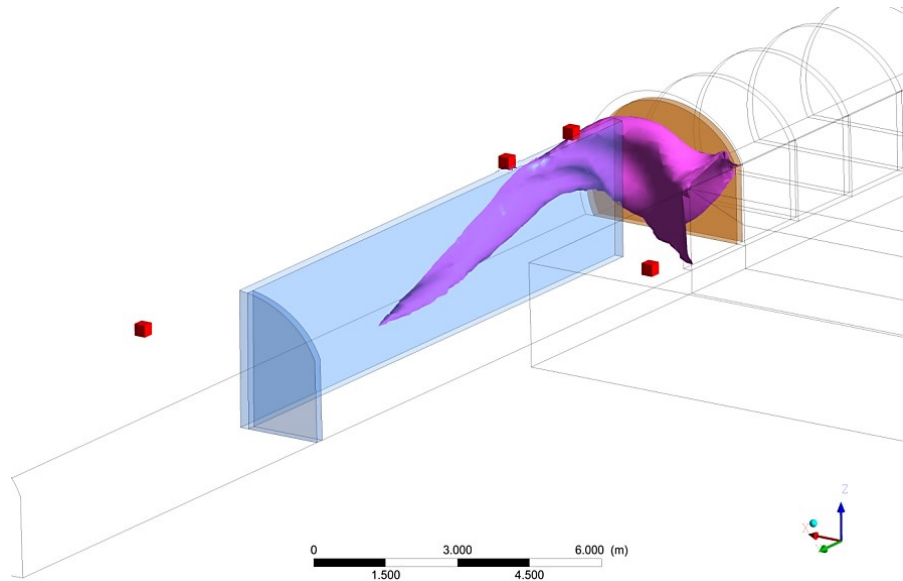
Opracowane modele geometryczne rejonów wentylacyjnych można sprowadzić do trzech podstawowych typów modeli: Model 3D nr 1, Model 3D nr 2, Model 3D nr 3. Model 3D nr 1 to model ogólny pola ścianowego uwzględnia układ wyrobisk przyścianowych, obszar zrobów oraz ścianę. Model wykorzystywany został do symulacji rozkładu stężeń metanu w zrobach, ścianie oraz wyrobiskach przyścianowych zależnie od sposobu przewietrzania „U” lub „Y”. Model 3D nr 2 to

model szczegółowy stanowiący obszar przepływu ograniczony do części przestrzeni zrobów, odcinka wylotu ze ściany oraz części chodnika odprowadzającego powietrze ze ściany. Model dotyczył ściany przewietrzanej sposobem „U” i nie uwzględniał pomocniczych urządzeń wentylacyjnych dla zwalczania zagrożenia metanowego. Model 3D nr 3 to model, który podobnie jak Model 3D nr 2, stanowił ograniczony obszar przepływu dla ściany przewietrzanej sposobem „U” po caliznie węglowej. Model złożony został ze zrobów oraz elementów wyrobisk tj. końcowego odcinka ściany połączonego z chodnikiem wentylacyjnym, w którym dodatkowo w geometrii wyrobisk uwzględniono przegrodę wentylacyjną ze śluzą.

W celu oceny poprawności identyfikacji zagrożenia metanowego przez system metanometryczny przeprowadzono wstępną analizę rozmieszczenia metanomierzy stacjonarnych względem strefy maksymalnych stężeń metanu uzyskanej metodą obliczeń numerycznych.

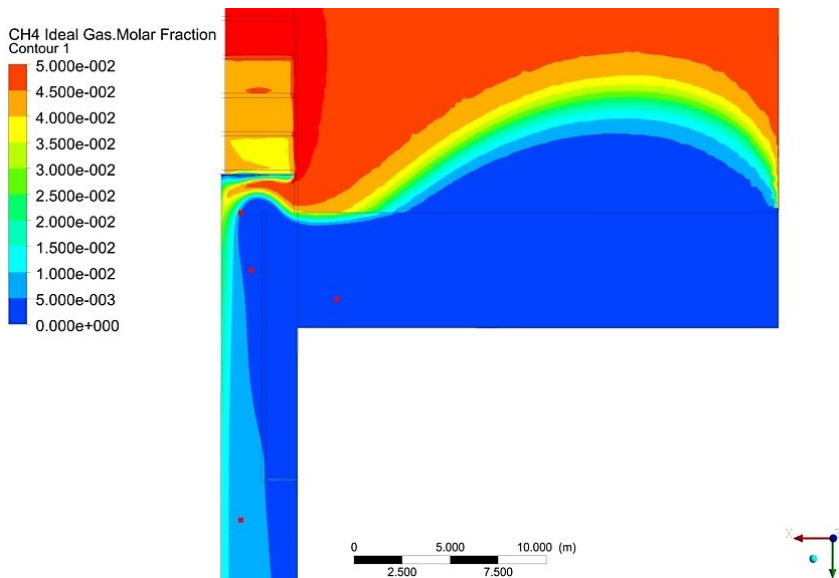
Wyniki przeprowadzonych badań w zakresie pomiarów i analiz rzeczywistego kształtowania się zagrożenia w rejonach wytypowanych ścian w KW S.A. w 2013 roku w połączeniu z wynikami badań symulacyjnych na modelach geometrycznych (modele 3D nr 1, 2 i 3) oraz z uwzględnieniem stosowanych w praktyce układów zabudowy czujników metanu oraz obowiązujących w Polsce przepisów w przedmiotowym zakresie, pozwalają na wskazanie optymalnego układu dla monitoringu zagrożenia metanowo – wentylacyjnego w czasie eksploatacji ścian zawałowych. W warunkach przewietrzania ścian sposobem „U” po caliznie węglowej strefa wysoko-metanowa w zrobach za ścianą występuje w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska ścianowego, szczególnie w rejonie skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym. Dlatego też, ilość i lokalizacja czujników metanu w rejonie tego skrzyżowania jest szczególnie ważna. Wyniki przeprowadzonych symulacji komputerowych, zgodnych z wynikami pomiarów dołowych wskazują na poprawność stosowanego w Polsce układu czujników (w warunkach III i IV kategorii zagrożenia metanowego): czujnik metanu zabudowany w odległości do 10 m od wylotu ze ściany, w wyrobisku przyścianowym pod stropem – w odległości do 2 m od linii likwidacji wyrobiska, po ociosie przeciwległym do wyrobiska ścianowego – na wysokości okna ściany (wymagane przepisami) oraz dodatkowy czujnik zabudowany pod stropnicą obudowy zmechanizowanej na wylocie ze ściany nad napędem przenośnika ścianowego.

W związku z tym taki układ czujników przy eksploatacji ścian przewietrzanych sposobem „U” po caliznie węglowej należy uznać za optymalny. Na poniższych rysunkach (2÷4), przedstawiono proponowaną lokalizację czujników metanu w rejonie skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym przy przewietrzaniu ściany sposobem „U” po caliznie węglowej na modelach geometrycznych przy założonych warunkach gazowo-wentylacyjnych w układzie 3D i 2D oraz na schemacie graficznym przedmiotowego skrzyżowania.



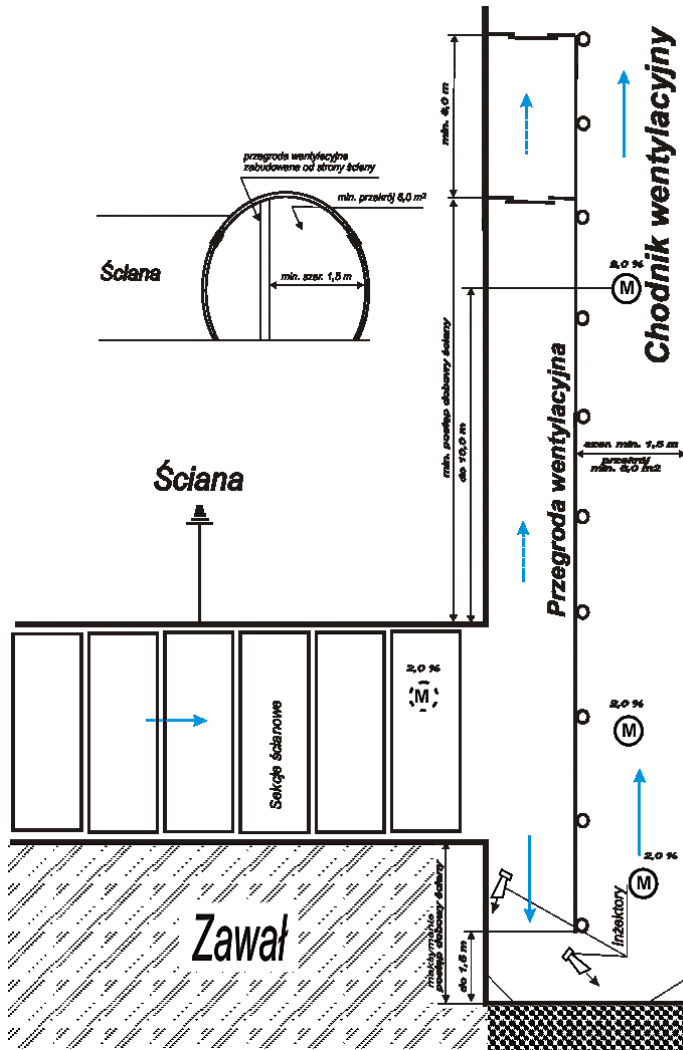
Rys. 2 Lokalizacja czujników metanu na skrzyżowaniu ściany przewietrzanej sposobem „U” na skrzyżowaniu z chodnikiem wentylacyjnym likwidowanym tamami izolacyjnymi o długości części ślepej 2 m, przy warunkach wentylacyjno-metanowych  $Q = 10 \text{ m}^3/\text{min}$ ,  $\dot{V}_{va} = 1000 \text{ m}^3/\text{min}$ .

Wyniki obliczeń uzyskane z Modelu 3D nr 3  
(naniesiona powierzchnia graniczna stężenia metanu 3% CH<sub>4</sub>)



Rys. 3 Lokalizacja czujników metanu w rejonie ściany przewietrzanej sposobem „U” na skrzyżowaniu z chodnikiem wentylacyjnym likwidowanym tamami izolacyjnymi o długości części ślepej 2 m, przy warunkach wentylacyjno-metanowych  $Q = 10 \text{ m}^3/\text{min}$ ,  $\dot{V}_{va} = 1000 \text{ m}^3/\text{min}$ .

Rozkład 2D w poziomie na wysokości czujnika w ścianie



Rys. 4 Schemat skrzyżowania ściany przewietrzanej sposobem "U" z chodnikiem wentylacyjnym z lokalizacją czujników metanu i układem pomocniczych urządzeń wentylacyjnych dla rozrzedzenia metanu

Na rysunku 2 przedstawiono kształtowanie się powierzchni granicznej stężenia metanu 3% CH<sub>4</sub> w chodniku wentylacyjnym o długości 2 m likwidowanym tamami izolacyjnymi, przy następujących warunkach wentylacyjno-metanowych – metanowość wentylacyjna  $Q = 10\text{m}^3/\text{min}$ , wydatek prądu powietrza w ścianie  $\dot{V}_{va} = 1000\text{ m}^3/\text{min}$ . Wyniki obliczeń uzyskane z Modelu 3D nr 3.

Zgodnie z obowiązującymi w Polsce przepisami [16], zawartość metanu w wyrobisku przyścianowym z prądem powietrza świeżego (w tym także w wyrobisku z prądem doświeżającym prąd powietrza wypływający ze ściany), nie może być wyższa niż 1%. Zawartość metanu w ścianie na odcinku, co najmniej 10 m od wlotu

świeżego powietrza, nie może być wyższa niż 1%. Zawartość metanu w ścianie na jej pozostałej długości nie może być wyższa niż 2%. Zawartość metanu w tym wyrobisku na odcinku od wylotu ściany do skrzyżowania z najbliższym czynnym wentylacyjnie wyrobiskiem, nie może być wyższa niż 2%. Jeżeli wyrobisko przyścianowe z prądem powietrza zużytego łączy się bezpośrednio z grupowym prądem powietrza zużytego, to zawartość metanu w tym wyrobisku nie może być wyższa niż 1.5%.

Wyniki przeprowadzonych badań w zakresie pomiarów i analiz rzeczywistego kształtowania się zagrożenia w rejonach wytypowanych ścian w KW S.A., w połączeniu z wynikami badań symulacyjnych na modelach geometrycznych oraz z uwzględnieniem stosowanych w praktyce układów zabudowy czujników metanu oraz obowiązujących w Polsce przepisów w przedmiotowym zakresie, pozwalają na wskazanie optymalnego układu dla monitoringu zagrożenia metanowo-wentylacyjnego w czasie eksploatacji ścian zawałowych. W warunkach przewietrzania ścian sposobem „U” po caliznie węglowej strefa wysokometanowa w zrobach za ścianą występuje w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska ścianowego, szczególnie w rejonie skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym. Dlatego też, ilość i lokalizacja czujników metanu w rejonie tego skrzyżowania jest szczególnie ważna.

Wyniki przeprowadzonych symulacji komputerowych, zgodnych z wynikami pomiarów dołowych wskazują na poprawność stosowanego w Polsce następującego układu czujników (w warunkach III i IV kategorii zagrożenia metanowego): czujnik metanu zabudowany w odległości do 10 m od wylotu ze ściany, w wyrobisku przyścianowym pod stropem – w odległości do 2 m od linii likwidacji wyrobiska, po stronie przeciwległej do wyrobiska ścianowego – na wysokości okna ściany (wymagane przepisami) oraz dodatkowy czujnik zabudowany pod stropnicą obudowy zmechanizowanej na wylocie ze ściany nad napędem przenośnika ścianowego. W związku z tym taki układ czujników przy eksploatacji ścian przewietrzanych sposobem „U” po caliznie węglowej należy uznać za optymalny.

## WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych, zgodne z wynikami pomiarów dołowych wskazują na poprawność stosowanego w Polsce układu czujników. W świetle doświadczeń uzyskanych w Polsce przy eksploatacji ścian w warunkach współwystępowania zagrożeń naturalnych, tj. przede wszystkim: metanowego, pożarowego, tąpnięć i temperaturowego, na wlocie i wylocie (wylotach) z rejonu eksploatacji proponuje się zabudowę stacji pomiarowych wyposażonych w czujniki: metanu, tlenku węgla, tlenu, prędkości powietrza, temperatury i ciśnienia. Wszystkie tamy wentylacyjne w rejonie ścian, jak i tamy poza rejonem mające wpływ na warunki przewietrzania danej ściany powinny być wyposażone w czujniki zamknięcia lub czujniki ciśnienia.

Oprócz stosowania czujników systemu gazometrii i anemometrii automatycznej, bardzo ważne są zasady indywidualnej kontroli parametrów gazowych i wentylacyjnych, które powinny być ustalone przez kierownika ruchu zakładu górniczego, uzależnione od rzeczywistego kształtowania się zagrożeń w kopalni.

### **Podziękowania**

*Przedmiotowe badania były wspierane przez Fundusz Badawczy Węgla i Stali (RFCR-CT-2012-00004) w ramach Umowy Nr 2730/FBWiS/2013/2*

### **LITERATURA**

1. ANSYS CFX (2009). Release 12.1: ANSYS CFX Tutorials. Canonsburg: ANSYS Inc.
2. Krause, E. (2003). Ocena poziomu zagrożenia metanowego w środowisku projektowanych i eksploatowanych ścian w pokładach metanowych. *Wiadomości Górnicze*, 54 (7-8), 366-372.
3. Krause, E. (2008). Wpływ przekroju wyrobisk przyścianowych na kształtowanie się zagrożenia wentylacyjno-metanowego w rejonach ścian. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, 1, 22-26.
4. Krause, E. 2009. Ocena i zwalczanie zagrożenia metanowego w kopalniach węgla kamiennego. *Prace Naukowe GIG* nr 878. Katowice 2009.
5. Krause, E., Łukowicz, K. (2004). Zasady prowadzenia ścian w warunkach zagrożenia metanowego. Instrukcja nr 17. Katowice, Mikołów: Główny Instytut Górnictwa.
6. Krause, E., Wierziński, K. (2008). Wpływ parametrów wentylacyjnych i metanowych na rozkład koncentracji metanu w chodniku wentylacyjnym ściany, w świetle obliczeń symulacyjnych. *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko*, Special edition 3, 103-113.
7. Krause, E., Wierziński, K. (2009). Wpływ usytuowania przegrody wentylacyjnej na zagrożenie metanowe w ścianach przewietrzanych w układzie na „U” po caliznie węglowej. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, 4, 31-38.
8. Krzystalik, P. A. (2000). Czujniki na potrzeby górnictwa. *Elektronizacja: podzespoły i zastosowania elektroniki*, 6, 5-8.
9. Lei Wang, Yuan-Ping Cheng (2012), Drainage and utilization of Chinese coal mine methane with a coal-methane co-exploitation model: Analysis and projections. *Resources Policy* Volume 37, Issue 3, Pages 315–321.
10. Lolon, S.A. Brune, J.F. Bogin, G.E., Grubb, J.W., Saki, S.A., Juganda, A. (2017). Computational fluid dynamics simulation on the longwall gob breathing. *International Journal of Mining Science and Technology* Volume 27, Issue 2, March 2017, Pages 185–189.
11. Lowndes, I.S., D.J. Reddish, T.X. Ren, D.N. Whittles, and D.M. Hargreaves. 2002. Improved modeling to support the prediction of gas migration and emission from active longwall panels. *Mine Ventilation*. eds. Euler De Souza, Balkema, 267-272.
12. Mishra, D.P., Kumar, P. & Panigrahi, D.C. (2016). Dispersion of methane in tailgate of a retreating longwall mine: a computational fluid dynamics study *Environmental Earth Sciences* (2016) 75: 475. doi:10.1007/s12665-016-5319-9
13. Noack, K., Hubig, P. (1976). Die Methanausgasung im bundesdeutschen Steinkohlenbergbau 1975 [Methane in the West German coal industry in 1975]. Glückauf. Zetschrift für Technik und Wirtschaft des Bergbaus, 112 (24), 1374-1380
14. Noack, K., 1998. Control of gas emissions in underground coal mines. *International Journal of Coal Geology* 35, 57-82.



15. Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 29 stycznia 2013 r. w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych (Dz. U. z 26 października 2015 r. poz. 1702, z późn. zm.
16. Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz. U. Nr 1118 z 9 czerwca 2017).
17. Taylor C.D., Chilton J. E., Martikainen A. L., 2008. Use of infrared sensors for monitoring methane in underground mines. Proceedings of 12th U.S./North American Mine Ventilation Symposium, June, 2008, Reno, Nevada, USA.

*Data przesłania artykułu do Redakcji: 03.2018*

*Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 04.2018*

**OCENA POPRAWNOŚCI KONTROLI METANU NA SKRZYŻOWANIU ŚCIANY  
Z CHODNIKIEM WENTYLACYJNYM W ŚWIELE WYNIKÓW SYMULACJI ROZKŁADU  
METANU NA MODELU GEOMETRYCZNYM**

**Streszczenie:** *W przypadku przewietrzania ścian sposobem na „U” po całej długości węglowej strefa wysokich koncentracji metanu w zrobach za ścianą znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska ścianowego, szczególnie w rejonie skrzyżowania ściany z chodnikiem wentylacyjnym. Dlatego też, monitoring zagrożenia metanowego w rejonie tego skrzyżowania ma wpływ na bezpieczeństwo robót. W referacie opisano wybrane wyniki badań przeprowadzonych w czasie realizacji w Głównym Instytucie Górnictwa w latach 2012-2015 projektu AVENTO, którego jednym z celów było opracowanie metodologii monitoringu i oceny zagrożenia metanowego w kopalni.*

**Słowa kluczowe:** *górnictwo, bezpieczeństwo, wentylacja, zagrożenie metanowe, cena*

**ASSESSMENT OF METHANE HAZARD CONTROL CORRECTNESS AT THE INTERSECTION  
OF LONGWALL WITH VENTILATION ROADWAY IN THE LIGHT OF RESULTS  
OF METHANE DISTRIBUTION SIMULATION ON THE GEOMETRIC MODEL**

**Abstract:** *When longwalls are ventilated using the "U" type system along body of coal, the zone with high methane concentration in gobs behind longwall is present directly near longwall working, in particular in the area of the intersection of the longwall with the ventilation roadway. Therefore, the monitoring of methane hazard in the area of this intersection has influence on the safety of works. This paper presents selected results of studies carried out within the framework of the project AVENTO that was implemented between 2012-2015 in the Central Mining Institute, and which one of the objectives was to develop a methodology for monitoring and assessment of methane hazard in a mine.*

**Key words:** *mining, safety, ventilation, methane hazard, assessment*

**dr inż. Henryk Kopton**

GIG – Kopalnia Doświadczalna „Barbara”  
ul. Podleska 72, 43-190 Mikołów, Polska  
e-mail: hkopton@gig.eu

**dr inż. Krystian Wierzbiński**

GIG – Kopalnia Doświadczalna „Barbara”  
ul. Podleska 72, 43-190 Mikołów, Polska