

# 28

## ZAGROŻENIE METANOWE – PRZEGLĄD LITERATURY

### 28.1 WSTĘP

Jednym z najbardziej rozpowszechnionych zagrożeń w górnictwie podziemnym węgla kamiennego jest zagrożenie metanowe [47, 61]. Metan występuje w złożach w polskich zagłębiach węglowych w trzech formach jako: metan wolny, znajdujący się w szczelinach, makroporach i mezoporach, gaz rozpuszczony w wodzie oraz gaz związany z węglem [34, 35, 36, 86]. W tym ostatnim przypadku metan może być połączony z węglem kamiennym na skutek sorpcji chemicznej (chemisorpcji) lub fizycznej. Sorpcja chemiczna polega na utworzeniu na powierzchni szkieletu węglowego monomolekularnej warstwy związku chemicznego, powstałego na skutek reakcji metanu ze składnikami węgla kamiennego [56, 86]. Chemisorpcja jest reakcją odwracalną, jednakże, aby zaszła taka reakcja, trzeba stworzyć specjalne warunki temperatury i ciśnienia. Przeważającą formą występowania metanu w pokładzie węglowym jest gaz sorbowany fizycznie. Rozróżnia się dwa rodzaje sorpcji fizycznej: adsorpcję i absorpcję. Adsorpcja polega na związaniu metanu z powierzchnią wewnętrzną węgla siłami międzycząsteczkowymi. Absorpcja metanu to przenikanie jego cząsteczek pomiędzy cząsteczki szkieletu węglowego w procesie dyfuzji [56, 86]. Metan połączony z węglem przez sorpcję nazywany jest często metanem sorbowanym. Całkowita ilość metanu zawarta w pokładzie węglowym nazywana jest metanonością.

W pokładach węgla kamiennego największa ilość metanu występuje w postaci sorbowanej [34, 35, 36]. Ponieważ zdolności sorpcyjne skał płonnych, tworzących zapopielenie węgla, są w porównaniu ze zdolnościami sorpcyjnymi węgla bardzo małe, metanoność przelicza się na tzw. czystą substancję węglową.

Sorpcja metanu na węglu jest uzależniona od właściwości węgla, jego temperatury i wilgotności, a także od ciśnienia metanu w złożu [18, 34, 35, 36, 86, 92]. Ponieważ węgiel tworzył się w długim okresie i w zmiennych warunkach geologicznych, występowanie metanu w złożu węglowym jest bardzo zmienne. Jak wykazały badania [64, 76], metanoność oraz ciśnienie metanu w złożu węglowym są uzależnione od zaburzeń ciągłych i nieciągłych w zaleganiu złoża, od grubości i

rodzaju nadkładu, litologii warstw karbońskich, typu węgla, prowadzonej i dokonanej eksploatacji górniczej oraz innych czynników.

W zależności od metanonośności, dla pokładów lub ich części zostały ustalone cztery kategorie zagrożenia metanowego [62]. Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 21 września 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych, w części dotyczącej zagrożenia metanowego w kopalniach wydobywających węgiel kamienny podtrzymuje dotychczasowy podział na cztery kategorie zagrożenia metanowego. Eksploatacja pokładów zaliczonych do kategorii od II do IV podlega szczególnym rygorom kontroli w zakresie składu atmosfery kopalnianej, eksploatacji maszyn i urządzeń, przewietrzania wyrobisk, wykonywania robót strzałowych i wiertniczych. Eksploatacja pokładów zaliczonych do IV kategorii, zgodnie z obowiązującymi przepisami górniczymi, wymaga stosowania odmetanowania górotworu. W pokładach metanowych zaostrzone są także wymagania odnośnie budowy maszyn i urządzeń, aby nie spowodowały wybuchu metanu w czasie ich wykorzystywania.

## 28.2 PRZEPISY GÓRNICZE

Przepisy górnicze [63] wymagają oznaczania metanonośności pokładów w trakcie wykonywania wyrobisk górniczych korytarzowych, szybów oraz otworów badawczych. W rejonach projektowanych ścian oznaczenia metanonośności wykonuje się w wyrobiskach przygotowawczych, w odległościach nie większych niż 200 m. W kopalniach Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A., kierownictwo Spółki zaostrzyło ten przepis ustalając odległość pomiędzy miejscami pobierania prób na 50 m. Znajomość rozkładu metanonośności [12, 34, 35, 36, 39] w polu wybierkowym projektowanej ściany jest podstawą do sporządzania prognoz metanowości ścian i planowania profilaktyki metanowej.

Drażąc wyrobiska korytarzowe w złożu lub eksploatując pokład węglowy narusza się panującą tam równowagę sorpcyjną, przede wszystkim przez zmianę ciśnienia metanu w złożu. Obniżenie ciśnienia metanu w szczelinach i porach powoduje wystąpienie zjawiska desorpcji, czyli przechodzenia metanu ze stanu sorbowanego do wolnego. Na ogół jest to zjawisko wolnozmiennie, co spowodowane jest właściwościami desorpcji i niską gazoprzepuszczalnością skał karbońskich, a przede wszystkim węgla. Jednak specyficzne układy metan-węgiel-górotwór mogą spowodować nagłe wypływy metanu lub wyrzuty gazów i skał.

Metan wolny wypływa do wyrobisk powodując zagrożenie wybuchowe, pożarowe oraz atmosferę beztlenową.

W zależności od maksymalnego stężenia metanu, jakie może wystąpić w wyrobisku, zalicza się je do stopnia „a”, „b” lub „c” niebezpieczeństwa wybuchu [62]. Zaliczenie wyrobiska do odpowiedniego stopnia niebezpieczeństwa wybuchu jest uzależnione od stwierdzonego stężenia metanu lub od potencjalnie możliwego stężenia metanu.

Kryteria zaliczenia wyrobiska do odpowiedniego stopnia niebezpieczeństwa wybuchu uwzględniają kategorię zagrożenia metanowego pokładu, kategorię pola metanowego, możliwość wystąpienia zagrożenia wyrzutami metanu i skał, sposób przewietrzania wyrobiska i rodzaj prądu powietrza, możliwość kontaktu przez szczeliny ze zrobami w pokładach zaliczonych do kategorii od II do IV zagrożenia metanowego, możliwość kontaktu wyrobiska z polem pożarowym, obecność w wyrobisku rurociągów lub otworów odmetanowania, występowanie zaburzeń geologicznych (szczególnie uskoków) oraz inne czynniki, które mogą stale lub okresowo zwiększyć metanowość wyrobiska.

Zaliczenie wyrobiska do odpowiedniej kategorii pola metanowego oraz stopnia niebezpieczeństwa wybuchu metanu dokonuje się już w trakcie projektowania nowych wyrobisk lub projektowania zmian w strukturze sieci wentylacyjnej. W czasie istnienia określonego wyrobiska może dochodzić do zmian kategorii lub stopnia, najczęściej ich podwyższenia.

Zwalczanie zagrożenia metanowego ma wieloletnią tradycję i jest realizowane wielokierunkowo.

Teoretyczne podstawy do obliczania wydzielania się metanu do wyrobisk korytarzowych podał już 1957 r. J. Tarnowski [77]. Były one systematycznie rozwijane w Kopalni Doświadczalnej „Barbara” [32, 36], w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, w Politechnice Śląskiej i Politechnice Wrocławskiej [57, 58, 60].

Wielu badaczy, w ośrodkach naukowych w Polsce i zagranicą, poruszało zagadnienia związane z metanowością rejonów ścian, a szczególnie ścian, w których likwidację przestrzeni wybranej prowadzono z zawalem stropu. Zagadnienia te są szczególnie ważne, gdyż eksploatacja pokładów ścianami jest w Polsce głównym sposobem pozyskiwania węgla, a jednocześnie wiąże się ona z największym wpływem metanu z górotworu do wyrobisk.

Na wielkość zagrożenia metanowego i rozkład stężenia metanu w wyrobiskach wpływ ma sposób przewietrzania rejonu ściany. Poglądy na ten temat można znaleźć w pracach [27, 28, 29, 30, 40, 45, 52, 54, 69].

Wysoka metanowość ścian przewietrzanych sposobem „U” wymaga stosowania pomocniczych urządzeń wentylacyjnych w rejonie skrzyżowania ściany z wyrobiskiem korytarzowym, odprowadzającym powietrze zużyte. Przepisy górnicze [63] ograniczają możliwość przewietrzania sposobem „U” do metanowości wentylacyjnej nieprzekraczającej  $20 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{min}$ . W przypadku gdy metanowość bezwzględna rejonu ściany przekracza  $25 \text{ m}^3/\text{min}$ , należy stosować odmetanowanie o efektywności minimum 50%.

Z uwagi na zagrożenie metanowe preferowane są niektóre odmiany sposobów przewietrzania „Y” lub „Z”. Mają one jednak ograniczenia w stosowaniu w postaci zwiększonych kosztów wykonania i utrzymania wyrobisk przyścianowych oraz niekorzystnego wpływu na zagrożenie pożarami zrobowymi.

Ze sposobem przewietrzania wiąże się bezpośrednio rozkład stężenia metanu w zrobach ścian z zawałem stropu [53, 65, 68, 70, 71, 72, 74]. Jest to zagadnienie istotne zarówno ze względu na zagrożenie wybuchem metanu, jak i jego zapaleniem. Sytuacja metanowa wpływa także na rozkład stężenia metanu w ścianie i w wyrobisku przyścianowym, odprowadzającym powietrza zużyte ze ściany.

Jednym z czynników, uważanym za bardzo istotny w procesie wydzielania się metanu do ścian, jest wartość wydobywania dobowego lub zmiany wydobywania. Najczęściej wyrażany jest pogląd o istnieniu zależności liniowej pomiędzy metanowością a wydobywaniem [4, 5, 9, 10, 14, 17, 20, 27, 30, 39, 41, 44, 43, 50, 73] lub o pierwiastkowej zależności metanowości od wydobywania.

Nie bez znaczenia dla ilości wydzielonego do wyrobisk metanu i rozkładu stężenia metanu w wyrobiskach jest prędkość i natężenie przepływu powietrza w wyrobiskach, na co zwrócono uwagę m.in. w pracach [49, 84].

Zagrożenie metanowe nie jest zagrożeniem odosobnionym w kopalniach. Występowanie metanu może mieć bezpośredni wpływ na zagrożenie pożarami. Jako gaz palny może ulec zapłonowi, powodując dalsze rozszerzanie się pożaru na inne materiały palne.

Jego obecność w wysokich stężeniach w zrobach wypiera tlen, dzięki czemu obniża się zagrożenie pożarami endogenicznymi. Jednak występowanie mieszaniny palnej metanu z powietrzem w zrobach, a jednocześnie wystąpienie pożaru endogenicznego węgla w zborach może spowodować zapalenie się metanu i powstanie pożaru otwartego, a nawet wybuchu metanu, który może przerodzić się w wybuch pyłu węglowego [79, 80, 82].

Innym zagrożeniem, które może wpływać, najczęściej krótkookresowo, na zagrożenie metanowe, jest zagrożenie wstrząsami sejsmicznymi i tąpnięciami. Znane są przypadki, że po wystąpieniu wstrząsu sejsmicznego indukowanego eksploatacją górniczą dochodziło do wzrostu stężenia metanu [23, 33, 66, 67], który trwał kilka lub kilkanaście minut. Zdarzały się również przypadki, że po tąpnięciu wystąpił wzrost stężenia metanu w rejonie ściany do kilkudziesięciu procent lub, na skutek zatrzymania wentylacji, wystąpiła atmosfera beztlenowa. Aby zapobiegać wypadkom na skutek wytworzenia się atmosfery beztlenowej, można stosować zastępcze układy przewietrzania [1]. Nagłe wzrosty stężenia metanu na skutek wstrząsów sejsmicznych wpływają również na zagrożenie wybuchem metanu [46].

Eksploatacja w warunkach zagrożenia pożarami endogenicznymi wymaga doprowadzenia możliwie mało powietrza do rejonu wentylacyjnego. Jeżeli jednak jednocześnie z zagrożeniem pożarowym występuje zagrożenie metanowe, to jedną z możliwości minimalizacji zagrożenia jest automatyczna regulacja strumienia objętości powietrza [17, 38].

Proces regulacji, spowodowany koniecznością dostosowania wentylacji do lokalnego zapotrzebowania na strumień powietrza w kopalni lub pracami naprawczymi, szczególne w szybach wentylacyjnych, jest związany z

przechodzeniem przez okres stanu nieustalonego wentylacji. Jest to okres szczególnie przede wszystkim w kopalniach metanowych, gdyż może spowodować powstawanie niebezpiecznych nagromadzeń metanu. Sytuacje takie mogą być zaskakujące dla służb wentylacyjnych w kopalniach. Nie może więc dziwić fakt, że zagadnienie stanów nieustalonych doczekało się wielu prac naukowych teoretycznych, badań laboratoryjnych oraz obserwacji w kopalniach [19, 25, 31, 83, 84, 85, 89, 91].

Wśród górników panuje przekonanie, że wzrost ciśnienia atmosferycznego powoduje zmniejszanie się natężenia wypływu metanu do wyrobisk, a spadek ciśnienia – wzrost natężenia wypływu metanu. Jest to przekonanie słuszne, jednak jedynie oddaje jakościowo charakter przedmiotowego zjawiska. Znacznie bardziej użyteczny dla praktyki górniczej jest oczywiście opis ilościowy. Zmiany ciśnienia atmosferycznego powodują zmiany ciśnienia w wyrobiskach, a te z kolei wywołują stany nieustalone warunków przewietrzania i wydzielania się metanu do wyrobisk. Zagadnienie wpływu ciśnienia w wyrobiskach na zagrożenie metanowe stało się przedmiotem dociekań wielu badaczy, a opublikowane prace dowodzą jego złożoności [37, 42, 48, 51, 74, 81].

### 28.3 ODMETANOWANIE

Nadmiar metanu, który wydzieliliby się do wyrobisk podziemnych, a który nie mógłby zostać rozcieńczony do stężeń dopuszczalnych w powietrzu, jest ujmowany systemem odmetanowania. Problemy związane z prowadzeniem odmetanowania były dostrzegane przez środowisko naukowe od momentu wprowadzania tej technologii ograniczania zagrożenia metanowego. Początkowo dotyczyły samej techniki odmetanowania, a w miarę jej rozwoju zaczęto pracować nad optymalizacją rozmieszczenia otworów drenażowych, obliczania i optymalizacji pracy systemu, poprawy efektywności odmetanowania, rozpoznania czynników oddziałujących na odmetanowanie [22, 26, 57, 59, 61]. Dostrzegany jest również problem oddziaływania odmetanowania na zagrożenia skojarzone [78].

Jeszcze obecnie, z uwagi na duży koszt wykonania otworów drenażowych oraz koszty budowy i utrzymania eksploatacji systemu odmetanowania, odmetanowanie jest traktowane jako zło konieczne. Jednak zmieniające się warunki ekonomiczne, polityczne oraz wzrastająca świadomość ekologiczna społeczeństwa sprawiają, że problem utylizacji pozyskanego metanu systemem odmetanowania, a także metanu wypływającego do atmosfery w powietrzu wentylacyjnym stają się coraz ważniejsze dla ekonomiki kopalń [54, 55].

### 28.4 SYSTEMY TELEMETRYCZNE

Rozwiązania teoretyczne problemów związanych z kształtowaniem się zagrożenia metanowego w wyrobiskach kopalń powinny bazować na dużej liczbie, możliwie najdokładniejszych pomiarów, wykonywanych jednocześnie w wielu punktach sieci

wentylacyjnej [21, 24]. Możliwości takie stwarzają telemetryczne systemy pomiarowe.

W polskim podziemnym górnictwie węglowym ostatnie dwudziestopięciolecie przyniosło bardzo duże zmiany w wyposażeniu kopalń w telemetryczne systemy pomiarowe parametrów fizycznych i chemicznych atmosfery kopalnianej [16, 87, 90]. Systemy te spełniają wiele funkcji:

- dokonują pomiarów stężeń niektórych gazów znajdujących się w atmosferze kopalnianej (metanu, tlenku węgla i innych) oraz parametrów fizycznych (prędkości powietrza, ciśnienia barometrycznego, temperatury),
- informują lokalnie o wartości mierzonego parametru oraz alarmują lokalnie o przekroczeniach nastaw progowych,
- wyłączają lokalnie lub centralnie zasilanie w energię elektryczną urządzeń i maszyn,
- transmitują wyniki pomiarów na powierzchnię,
- wizualizują, rejestrują i archiwizują dane pomiarowe,
- generują alarmy w dyspozytorni telemetrycznej, w przypadku przekroczenia dopuszczalnych wartości parametrów,
- sygnalizują uszkodzenia niektórych elementów systemu.

Z uwagi na zagrożenie wybuchem metanu, najistotniejszą funkcją systemu telemetrycznego jest wyłączenie energii elektrycznej w przypadku przekroczenia dopuszczalnych stężeń metanu. Dzięki niej unika się inicjału zapalenia lub wybuchu metanu, wynikającego z pracy maszyn i urządzeń elektrycznych.

Z uwagi na dalsze, głębsze poznanie zjawiska wydzielania się metanu do wyrobisk, podstawową rolę odgrywa funkcja rejestracji i archiwizacji danych pomiarowych. Dostępne dane pomiarowe mogą być analizowane i przetwarzane poza systemem telemetrycznym, co daje możliwość ich szerokiego i różnorodnego wykorzystania [2, 3, 6, 7, 11, 13, 15, 21, 66, 74, 75, 88, 89].

Pomiary automatyczne są uzupełniane pomiarami indywidualnymi, które mają za zadanie wykrycie zagrożenia metanowego w miejscach nieobjętych metanometrią automatyczną. Przepisy [63] formułują kto, kiedy i gdzie jest obowiązany do wykonania takich pomiarów, a także określają sposób postępowania po wykryciu niebezpiecznych stężeń, np. stężenia 5% metanu ponad obudową wyrobiska lub 2% metanu w przekroju poprzecznym wyrobiska.

Bieżące pomiary stężenia metanu pozwalają na natychmiastowe stosowanie doraźnych środków profilaktycznych w celu usunięcia nawet chwilowego, nieakceptowalnego zagrożenia. Natomiast profilaktyka, której przygotowanie wymaga dłuższego okresu (np. zmiana liczby lub częstości wiercenia otworów odmetanowania, znaczące zmiany w rozplywie powietrza w sieci wentylacyjnej) planowana jest przede wszystkim na podstawie zmiany trendu w kształtowaniu się średnich dobowych wartości stężenia metanu. Pomocniczo wykorzystywane są wartości maksymalne stężenia metanu.

Kierownik ruchu zakładu górniczego powołuje zespoły opiniodawcze w sprawach rozpoznania i zwalczania zagrożeń występujących w zakładzie górniczym. W kopalniach metanowych jeden z zespołów jest powołany ds. zagrożeń związanych z obecnością metanu w kopalni. W większości kopalń zespół ds. zagrożenia metanowego, oprócz cyklicznych posiedzeń, zbiera się po wystąpieniu przekroczenia dopuszczalnego stężenia metanu, aby ocenić dotychczasową profilaktykę i ustalić zakres dalszych prac profilaktycznych.

Z przedstawionej powyżej analizy zagadnień związanych z zagrożeniem metanowym wynika, że na jego intensywność wpływa bardzo wiele czynników naturalnych i technicznych. O środkach profilaktyki metanowej decyduje się w fazie projektowania eksploatacji oraz w fazie jej prowadzenia. Trafność oceny rzeczywistego zagrożenia metanowego, które wystąpi w czasie prowadzenia robót górniczych jest w dużej mierze uzależniona od możliwych do zastosowania miar zagrożenia. Stosowanymi miarami są: metanonośność, metanowość oraz stężenie metanu.

Stężenie metanu jest wykorzystywane do bieżącej oceny zagrożenia metanowego. Najczęściej wykorzystywane są takie kategorie statystyczne, jak stężenie chwilowe, średnie i maksymalne stężenie metanu w danej dobie.

W pracy [8] zaproponowano, aby jako miarę zagrożenia metanowego stosować również sumaryczny czas występowania w określonej dobie stężenia metanu nie mniejszego niż pewna, ustalona wartość. Miarę tę oznaczono przez WZM-x,y. Przykładowo, WZM-1,2 oznacza sumaryczny czas w określonej dobie występowania stężenia metanu o wartości 1,2% i wyższej. Wartość tej miary pozwala na zobiektywizowanie oceny prawdopodobieństwa wystąpienia przekroczenia stężenia dopuszczalnego lub na lepszą ocenę skuteczności zmian profilaktyki metanowej.

## 28.5 WNIOSKI

W obecnej sytuacji ekonomicznej polskiego górnictwa konieczne staje się prowadzenie badań nad analizą ryzyka zaistnienia wybuchu metanu i pyłu węglowego w ścianach o wysokiej koncentracji wydobywania.

Przygotowanie środków profilaktyki metanowej wymaga czasu, a rodzaj stosowanych środków i zakres profilaktyki powinny być dostosowane do wielkości zagrożenia. Środkiem pomocniczym w tym względzie są prognozy zagrożenia metanowego.

Prognozy takie powinno się przeprowadzać tuż przed podjęciem pracy w określonym dniu roboczym. Na ich podstawie można podjąć doraźne środki profilaktyki metanowej jak przykładowo zwiększenie lub zmniejszenie liczby pracujących strumienic powietrza, zmianę strumienia objętości powietrza przepływającego przez ścianę, wyłączanie energii elektrycznej na wylotowym odcinku ściany w trakcie prowadzenia urabiania tego odcinka i przesuwania obudowy, zaprzestanie urabiania w trakcie przesuwania obudowy w górnym

odcinku ściany, korektę stanu technicznego przegrody wentylacyjnej w chodniku, ograniczenie lub zwiększenie intensywności wydobywania.

## LITERATURA

1. Badura H., Kołodziejczyk P.: Zastępcze układy przewietrzania w pokładach tąpniętych z zagrożeniem metanowym. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* nr 12, 1999.
2. Badura H.: Zastosowanie teorii szeregów czasowych do prognoz krótkoterminowych metanowości. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo*, z. 250, Gliwice 2001.
3. Badura H.: Podstawy krótkoterminowej prognozy metanowości w oparciu o teorię szeregów czasowych. *Materiały XVII Sympozjum NOT SITG na temat „Zwalczanie zagrożenia metanowego w kopalniach – teoria i praktyka”*. Wydawca Instytutu Geotechnologii, Geofizyki, i Ekologii Terenów Przemysłowych, Politechnika Śląska. Rybnik 2001.
4. Badura H.: Analiza metanowości ściany 24 w kopalni "Jas-Mos". Międzynarodowa Konferencja „Aerodynamika v honictvi”, Ostrava, grudzień 2003.
5. Badura H.: Wpływ wydobywania na wydzielanie się metanu do rejonu ściany. *Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej*. Wydawnictwo Centrum Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa EMAG w Katowicach. Zakopane, 12-15 października 2004.
6. Badura H.: Simulación de la emisión de metano en un tajo de carbón mediante un modelo matemático. *Ingeopres*, 2004 NOV; (132),
7. Badura H.: Badanie własności szeregów czasowych średniej metanowości dobowej ścian. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo*, z. 270. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
8. Badura H.: Propozycja nowych miar wielkości zagrożenia metanowego. *Materiały konferencyjne XXXII Dni Techniki ROP'2006, XXIII seminarium na temat: „Zwalczanie zagrożenia metanowego oraz wyrzutami gazów i skał – teoria i praktyka”*. Wydawca Instytut Eksploatacji Złóż, Politechnika Śląska. Rybnik 26.10 2006.
9. Badura H.: Analiza wpływu niektórych czynników na metanowość rejonu ściany D-2 w pokładzie 409/4 w KWK „R”. *Przegląd Górniczy* nr 4, Katowice 2007.
10. Badura H.: Analiza średnich stężeń metanu na wylocie z rejonu ściany P-4 w KWK „R”. *Górnictwo i Geologia*. Kwartalnik, t. 2, z. 2. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
11. Badura H.: Wykorzystanie uogólnionej metody najmniejszych kwadratów Aitkena do estymacji parametrów modelu metanowości rejonu ściany. *Asociace Technických Diagnostiku Ceske Republiky o.s. Technická Diagnostika*, z. 1, rocznik XX, 2011.
12. Badura H., Zawadzki J., Fabiańczyk P.: Kriging blokowy oraz metody GIS w geostatystycznym oszacowaniu metanowości w kopalniach węgla kamiennego. *Roczniki Geomatyki* 2012, t. X, z. 3(53). Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej. Warszawa 2012.
13. Bojko B.: Analiza rejestracji stężeń metanu w wyrobiskach górniczych – wybrane przykłady. *Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej*. Wydawnictwo Centrum Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa EMAG w Katowicach. Zakopane, 12-15 października 2004.
14. Borowski J.: *Zależność gazowości ścian od wydobywania*. Prace GIG, Katowice 1969.
15. Borowski M., Szlązak N., Obracaj D.: Prognozowanie zagrożenia metanowego w rejonie ścian eksploatacyjnych prowadzonych w kopalniach węgla kamiennego. *Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej*. Instytut Gospodarki Surowcami



- Mineralnymi i Energią PAN, Katedra Górnictwa Podziemnego AGH. Szczyrk 2007.
16. Cierpisz S., Miśkiewicz K., Musioł K., Wojaczek A.: *Systemy gazometryczne w górnictwie*. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
  17. Cybulski W., Myszor H.: Próba określenia zależności wydzielania metanu od wielkości wydobywania. PAN. *Archiwum Górnictwa*, t. 27, z. 2, 1974.
  18. Czapliński A.: *Węgiel kamienny*. Wydawnictwo Naukowe AGH, Kraków 1994.
  19. Czyczuła L.: Rozkład czasoprzestrzenny stężenia metanu w wyrobisku kopalnianym przy zmiennych warunkach przewietrzania. PAN. *Zeszyty Problemowe Górnictwa*, t. 17, z. 2, 1973.
  20. Dubiński J. i inni: *Koncentracja wydobywania a zagrożenia górnicze*. Wydawnictwo GIG, Katowice 1999.
  21. Dziurzyński W., Pałka T., Tracz J., Trutwin W.: Zastosowanie programów komputerowych do analizy stanu kopalnianej sieci wentylacyjnej. *Górotwór jako ośrodek wielofazowy*, t. 3. AGH, Kraków 1991.
  22. Dziurzyński W., Nawrat S.: Wpływ przewietrzania na odmetanowanie w ścianie eksploatacyjnej. PAN. *Archiwum Górnictwa*, t. 38, z. 2, 1993.
  23. Dziurzyński W.: Niestacjonarne rozkłady stężenia metanu w sieci wentylacyjnej po zaistniałym wstrząsie lub tąpnięciu. *Przegląd Górniczy* nr 3, 2001.
  24. Dziurzyński W., Krach A., Pałka T.: Metoda wyznaczania rozkładu stężenia metanu w sieci wentylacyjnej z uwzględnieniem systemu monitoringu. *Materiały 2 Szkoły Aerologii Górniczej*. Wydawnictwo Sekcja Aerologii Górniczej Komitetu Górnictwa PAN. Zakopane 2002.
  25. Dziurzyński W., Niezgodna F.: Badania eksperymentalne rozkładu stężenia metanu w rejonach eksploatacji w czasie okresowego zatrzymania wentylatora głównego przewietrzania. *Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej*. Wydawnictwo Centrum Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa EMAG w Katowicach. Zakopane, 12-15 październik 2004.
  26. Flüge G.: Die Anwendung der Trogtheorie auf den Raum der Zusatzausgasung. *Glückauf Forschungshefte*, No. 32, 1971.
  27. Frączek R.: *Zwalczanie zagrożenia metanowego w kopalniach węgla kamiennego*. Gliwice 2005.
  28. Frycz A., Szlązak J.: Wpływ rozczinki złoża w pokładach metanowych na występowanie metanu w rejonie ściany. *Przegląd Górniczy*, nr 2, 1977.
  29. Frycz A., Szlązak J.: Wentylacyjne sposoby zwalczania zagrożenia metanowego. *Bezpieczeństwo i Higiena Pracy* nr 1, WUG, Katowice 1978.
  30. Grubengasbekaempfung im Hohleleistungstreb. Praca zbiorowa pod redakcją K. Noacka. Steinkohlenbergbauverein, Essen 1977.
  31. Gumuła S., Trutwin W.: Zmiany koncentracji metanu w wyrobiskach kopalnianych zawierających źródła metanu w świetle badań laboratoryjnych. PAN. *Archiwum Górnictwa* t. XXII, z. 1, 1977.
  32. Kalisz J., Kozłowski B., Niesobski W.: Maksymalne wydzielanie się metanu w chodnikach i ścianach oraz metody jego prognozowania. *Komunikat GIG* nr 515. Katowice 1971
  33. Konopko W., Kabiesz J., Cygankiewicz J.: Wstrząsy i tąpnięcia jako inicjatory zagrożenia metanowego. *Przegląd Górniczy* nr 3, 1992.
  34. Kozłowski B.: *Nowa metoda prognozowania zagrożenia metanowego*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1969.
  35. Kozłowski B., Grębski Z.: *Odmetanowanie górotworu w kopalniach*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1982.
  36. Kozłowski B.: *Prognozowanie zagrożeń metanowych w kopalniach głębinowych*. Politechnika Śląska. Skrypt, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1986.
  37. Krach A.: Wpływ zmian ciśnienia barometrycznego na stężenie metanu w prądzie powietrza wypływającym z rejonu ściany z przyległymi zrobami – model

- matematyczny i algorytm obliczeniowy. PAN. *Archives of Mining Sciences* 49, 2004.
38. Krach A., Trutwin W.: Układ automatycznej regulacji stężenia metanu w boczniczy wentylacyjnej. PAN. *Zeszyty Problemowe Górnictwa*, t. 11, z. 2, 1973.
  39. Krause E., Cybulski K., Łukowicz K.: Wpływ koncentracji wydobywania na kształtowanie się zagrożenia metanowego w wyrobiskach środowiska ściany. *Materiały 1 Szkoły Aerologii Górniczej*. Wydawnictwo Centrum Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa EMAG w Katowicach. Zakopane 1999.
  40. Krause E., Łukowicz K., Gruszka A.: *Zasady przewietrzania wyrobisk górniczych w warunkach zagrożenia metanowego wraz z dobozem urządzeń wentylacyjnych dla jego zwalczania*. Wydawnictwo GIG Katowice-Mikołów 2000.
  41. Krause E.: Prognozowanie wydzielania metanu do ścian przy urabianiu kombajnem. *Przegląd Górniczy*, nr 3-4, 2009.
  42. Krause E.: Czynniki kształtujące wydzielanie metanu ze zrobów do wyrobisk górniczych w warunkach zmian ciśnienia barometrycznego. *Materiały 5 Szkoły Aerologii Górniczej*. Wydawnictwo KGHM CUPRUM sp. z o.o. Wrocław 13-16 października 2009.
  43. Kubaczka Cz.: Wpływ wielkości wydobywania na stan zagrożenia metanowego w rejonie ściany eksploatacyjnej. Praca doktorska, AGH, Kraków 2009.
  44. Kubaczka Cz., Szlązak N.: Zmiany wydzielania metanu w czasie prowadzenia eksploatacji ścian w pokładach metanowych. *Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej*. Kraków 2013.
  45. Matuszewski K.: Możliwości przeciwdziałania zapłonem metanu w polskich kopalniach węgla kamiennego. *Mat. XIX Seminarium „Zagrożenie wybuchem metanu i pyłu węglowego w kopalniach – teoria i praktyka”*. Wydawca Instytutu Geotechnologii, Geofizyki, i Ekologii Terenów Przemysłowych, Politechnika Śląska, Rybnik 2002.
  46. Matuszewski K.: Kryteria zagrożenia wybuchami metanu i pyłu węglowego w następstwie gwałtownych przemieszczeń górotworu. *Prace GIG*, Katowice 1979.
  47. Mirek A., Katan D.: Zagrożenie metanowe w polskim górnictwie węgla kamiennego w ostatnim dwudziestolecu i perspektywy kształtowania się poziomu tego zagrożenia w najbliższych latach. *Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej*. Kraków 2013.
  48. Myszor H.: Wpływ ciśnienia barometrycznego na wydzielanie metanu ze ściany. *Przegląd Górniczy* nr 10, 1969.
  49. Myszor H.: Badanie wpływu natężenia przepływu powietrza w prądzie przewietrzającym ścianę na wydzielanie się metanu. PAN. *Zeszyty Problemowe Górnictwa*, t. 11, z. 2, 1973.
  50. Myszor H.: Możliwość intensyfikacji wydobywania z uwagi na zagrożenia metanowe. *Prace GIG*. Seria dodatkowa. Katowice 1976.
  51. Myszor H., Gruszka A.: O zależności wydzielania metanu do kopalń od ciśnienia atmosferycznego. PAN. *Archiwum Górnictwa*, t. 41, z. 2, 1996.
  52. Nawrat S., Kuczera Z., Napieraj S.: Badania modelowe zwalczania zagrożenia metanowego na wylocie ściany przewietrzanej systemem „U”. *Materiały 4 Szkoły Aerologii Górniczej*. Wydawnictwo Centrum Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa EMAG w Katowicach. Kraków 10-13.10.2006.
  53. Nawrat S., Kuczera Z., Napieraj S., Syty J.: Badania eksperymentalne procesu przemieszczania gazów w zrobach kopalni węgla kamiennego. *Wiadomości Górnicze*, nr 4, 2006.
  54. Nawrat S., Napieraj S.: Analiza możliwości utylizacji metanu z powietrza wentylacyjnego z szybów polskich kopalń węgla kamiennego. WUG. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, nr 9, 2010.

55. Nawrat S.: Aktualny stan i perspektywy wykorzystania metanu z pokładów węgla kamiennego w Polsce. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2011.
56. Ościk J.: *Adsorpcja*. PWN. Warszawa 1973
57. Pawiński J., Roszkowski J., Strzemiński J.: *Przewietrzanie kopalń*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1979
58. Pawiński J., Roszkowski J., Szlązak N.: Zmiany koncentracji metanu w wyrobiskach korytarzowych. PAN. *Archiwum Górnictwa*, t. 40, z. 3 1995.
59. Roszkowski J., Szlązak N.: *Wybrane problemy odmetanowania kopalń węgla kamiennego*. Nauka i Technika Górnicza. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 1999.
60. Roszkowski J., Pawiński J., Mikołajczyk W., Roszczyniański W.: Prognozowanie gazowości wyrobisk udostępniających i przygotowawczych drażonych w kopalniach gazowych ROW. *Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo*, z. 36, 1972.
61. Roszkowski J., Szlązak J., Szlązak N.: Zagrożenie metanowe w kopalniach węgla kamiennego. Materiały 1 Szkoły Aerologii Górniczej. Wydawnictwo Centrum Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa EMAG w Katowicach. Zakopane 1999.
62. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 14 czerwca 2002 r. w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych. Dz.U. Nr 94, poz. 841, 2002 r., DZ. U. Nr 181, poz. 1777, 2003 r., DZ. U. Nr 219, poz. 2227 z 2004 r.)
63. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. (Dz.U. Nr 139 poz 1169 wraz z późniejszymi zmianami - ostatnia zmiana 25 czerwca 2010 r. Dz. U. Nr 126 poz. 855) w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych.
64. Sporysz G., Piątkowski S., Kulawik M.: Wpływ dyslokacji tektonicznych na stopień zagrożenia metanowego w południowej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego na przykładzie KWK „Brzeszcze-Silesia”. Materiały 4 Szkoły Aerologii Górniczej. Wydawnictwo Centrum Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa EMAG w Katowicach. Kraków 10-13.10.2006.
65. Sułkowski J., Ngujen H. Dieu: Lokalizacja stref o wybuchowej koncentracji metanu w zborach ściany zawałowej przewietrzanej przekątnie. Konferencja Naukowo-Techniczna „Zagrożenie metanowe w górnictwie”. Ustroń luty 1997.
66. Sułkowski J., Kutkowski J.: Analiza przypadków wzmożonego wydzielania metanu do wyrobisk korytarzowych w sąsiedztwie rejonów występowania wstrząsów górniczych. *Przegląd Górniczy* nr 4, 1999.
67. Sułkowski J., Ogiegło K., Lubryka M., Kutkowski J.: Wpływ wstrząsów górotworu indukowanych eksploatacją górnictwem na wydzielanie metanu do wyrobisk górniczych. VII Międzynarodowa Konferencja Instytutów Górnictwa, Szczyrk 2001.
68. Szlązak J., Szlązak N.: Filtracja powietrza w zrobach ścian zawałowych. *Górnictwo, Kwartalnik AGH*, r. 25, z. 4, Kraków 2001.
69. Szlązak J., Szlązak N.: Ocena systemów przewietrzania wyrobisk ścianowych w kopalniach węgla kamiennego w warunkach zagrożenia metanowego i pożarowego. Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej. Wydawnictwo Centrum Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa EMAG w Katowicach. Zakopane 2004.
70. Szlązak J., Szlązak N.: Numerical determination of methane concentration in goaf space. PAN. *Archives of Mining Sciences*, vol. 49, issue 4, 2004.
71. Szlązak J., Szlązak N.: Zagrożenie metanowe w zrobach ścian zawałowych. *Przegląd Górniczy*, nr 10, 2005.
72. Szlązak N., Borowski M.: Weryfikacja zmian stężenia metanu w zborach ścian zawałowych w oparciu o pomiary wykonane w wyrobiskach przyzrobowych. Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej. Wydawnictwo Centrum Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa EMAG w Katowicach. Zakopane 12-15 październik 2004.
73. Szlązak N., Tor A., Jakubów A.: Koncentracja wydobywania w warunkach zagrożenia

- metanowego i zagrożenia pożarowego na przykładzie kopalń Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej. Wydawnictwo Centrum Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa EMAG w Katowicach. Zakopane 12-15 październik 2004.
74. Szywacz J., Wasilewski S.: *Analiza parametrów powietrza kopalnianego*. Rozprawy i Monografie. Wydawnictwo Centrum Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa EMAG w Katowicach, Katowice 2003.
  75. Szywacz J.: *Modelowanie szeregów czasowych parametrów powietrza kopalnianego metodą filtrów formujących*. Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej. Wydawnictwo Centrum Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa EMAG w Katowicach. Zakopane 12-15.10.2004.
  76. Tarnowski J.: Geologiczne warunki występowania metanu w górnos Śląskiej niecce węglowej. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, z. 166, Gliwice 1989.
  77. Tarnowski J.: Teoretyczne podstawy wydzielania metanu do wyrobisk chodnikowych w węglu i wyrobisk przekopowych przebijających pokłady węgla o zmiennej gazowości. *Biuletyn Techniczno-Informacyjny Biura Projektów Górnictwa Węglowego*, nr 2, 1957.
  78. Trenczek S.: Odmetanowanie jako istotny czynnik zwalczania zagrożeń skojarzonych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, s. Górnictwo, z. 254, Gliwice 2002
  79. Trenczek S., Broja A.: Monitorowanie eksploatacji prowadzonej w warunkach współwystępowania zagrożeń metanowego i pożarami endogenicznymi. *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa*, nr 2, 2009.
  80. Trenczek S.: *Kilka uwag do oceny współwystępujących zagrożeń w kopalniach węgla kamiennego*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Górnictwo i Geologia. Kwartalnik, t. 4, z. 3, 2009.
  81. Trenczek S.: Rozszerzenie kontroli w rejonach ścian wydobywczych o pomiary ciśnienia w aspekcie zagrożenia wybuchowego. *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa*, nr 1, 2010.
  82. Trenczek S.: Zmienność występowania poziomów zagrożenia metanowego i zagrożenia pożarami endogenicznymi. Materiały XXIX Seminarium nt. „Zwalczanie zagrożenia metanowego i pożarowego w kopalniach węgla kamiennego – Teoria i praktyka”. XXXVIII Dni Techniki ROP '2012. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice. Rybnik 10.10.2012.
  83. Trutwin W.: Symulacja cyfrowa stanów nieustalonych procesu przewietrzania i regulacji kopalnianej sieci wentylacyjnej. PAN. *Zeszyty Problemowe Górnictwa*, z. 2, t. 10, 1972.
  84. Trutwin W., Czyczuła L., Kraj W., Kruszyński M.: Über den Einfluss der Wettergeschwindigkeit auf die Methankonzentration in Grubenwetter. *Archiwum Górnictwa* 1969.
  85. Trutwin W.: Wpływ warunków przewietrzania na stężenie metanu w wyrobiskach kopalnianych. PAN. *Zeszyty Problemowe Górnictwa*, t. 11, z. 2, 1973.
  86. Układ węgiel kamienny-metan w aspekcie desorpcji i odzyskiwania metanu z gazów kopalnianych. Praca zbior. pod redakcją M. Żyły. Nauka i Technika Górnicza. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2000.
  87. Wasilewski S.: Zintegrowany system kontroli zagrożeń metanowo-pożarowych. *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa*, nr 10, 1994.
  88. Wasilewski S.: Cyfrowa analiza sygnałów pomiarowych procesu wentylacji. PAN. *Archiwum Górnictwa*, t. 36, z. 3, 1997.
  89. Wasilewski S.: Stany nieustalone przepływu powietrza i stężenia metanu w wyrobiskach kopalnianych. Prace Naukowe-Badawcze-Wdrożeniowe EMAG, nr 1(9), Katowice 1998.

90. Wasilewski S., Wojtas P., Rej A.: Analiza funkcjonowania systemów metanometrycznych w kopalniach. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, nr 4, 2005.
91. Wasilewski S.: Obserwacja zaburzeń parametrów powietrza wywołanych pracą kombajnu w ścianie B-6 pokł. 358/1 w KWK „Budryk”. *Przegląd Górniczy*, nr 3-4, 2010.
92. Żyła M., Kreiner K., Bodek E.: The Problem of the Chemical Nature of Hard Coals Surface with Consideration Given to Their Sorptive properities. *Archives of Mining Scieces*, Vol. 36, No.3, 1991.

*Data przesłania artykułu do Redakcji: 03.2019*

*Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 04.2019*

## ZAGROŻENIE METANOWE – PRZEGLĄD LITERATURY

**Streszczenie:** Jednym z najgroźniejszych zjawisk towarzyszących wydobyciu węgla kamiennego jest występowanie w jego pokładach metanu. Pomimo ogromnego postępu w rozpoznaniu i zwalczaniu zagrożenia metanowego, obserwuje się jego narastanie w wielu obszarach górniczych kopalń co ma silny związek ze zwiększaniem głębokości prowadzonej eksploatacji, coraz większą metanonośnością pokładów oraz ciśnieniem złożowym gazów. Dla potrzeb skutecznego przeciwdziałania niebezpiecznym zjawiskom związanym z zagrożeniem metanowym, ukierunkowanym na poprawę bezpieczeństwa i higieny pracy w górnictwie, nieodzowne jest współdziałanie wszystkich środowisk z branżą górniczą w tym szczególnie z naukowcami oraz jednostkami badawczo-rozwojowymi. W niniejszym artykule przeprowadzono analizę dostępnej literatury w tym zakresie oraz przedstawiono rozwój metod i środków rozpoznania i prognozowania zagrożenia metanowego.

**Słowa kluczowe:** metanonośność, metanowość, prognoza jednodniowa, odmetanowanie, profilaktyka metanowa, systemy telemetryczne

## METHANE HAZARD – LITERATURE REVIEW

**Abstract:** One of the most dangerous phenomena associated with the extraction of hard coal is the occurrence of methane in its seams. Despite enormous progress in identifying and combating the methane hazard, its growth is observed in many mining areas of mines, which is strongly related to the increase in the depth of exploitation, the increasingly methane-free nature of deposits and the gas reservoir pressure. For the purpose of effectively counteracting dangerous phenomena related to methane hazard, aimed at improving occupational safety and health in mining, it is indispensable to cooperate with all mining industry, in particular with scientists and R & D units. This article analyzes the available literature in this area and presents the development of methods and means for the diagnosis and forecasting of methane hazard.

**Key words:** methane content, methane content, one-day forecast, methane drainage, methane prophylaxis, telemetric systems

**dr Zygmunt Łukaszczyk**  
Politechnika Śląska  
Wydział Organizacji i Zarządzania  
Instytut Zarządzania, Administracji i Logistyki  
ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze, Polska  
e-mail: zygmun.lukaszczyk@polsl.pl