

Stanisław TRENCZEK

Centrum Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa EMAG, Katowice

ROZPOZNAWANIE AKTYWNE RZECZYWISTEGO POZIOMU ZAGROŻEŃ AEROLOGICZNYCH W GÓRNICTWIE WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie. W artykule omówiono znaczenie *rozpoznawania aktywnego* rzeczywistego poziomu zagrożeń aerologicznych. Określono czynniki, parametry i wskaźniki, których kontrola szczególnie wpływa na ocenę poziomu zagrożenia. Przedstawiono też zakres stałej, zdalnej i automatycznej kontroli niektórych parametrów gazów oraz powietrza wymagany przepisami. Podkreślono znaczenie dokładności i częstotliwości kontroli parametrów w warunkach normalnych – *faza statyczna* – eksploatacji oraz w przypadku wzrostu zagrożenia – *faza dynamiczna*. Podano możliwości stałego monitorowania zagrożeń aerologicznych, jakie daje stosowanie automatycznej aerometrii górniczej. Zaakcentowano jej znaczenie w *fazie dynamicznej*, szczególnie przy podejmowaniu decyzji o dalszych działaniach profilaktycznych lub akcyjnych. Na koniec podkreślono znaczenie systemowego monitorowania zagrożeń dla zagadnień bezpieczeństwa pracy.

ACTIVE RECONNAISSANCE FOR ACTUAL LEVEL OF AEROLOGIC HAZARD HARD COAL MINING INDUSTRY

Summary. The present paper deals with importance of *active reconnaissance* for the actual level of aerologic hazard. A number of factors, parameters and indices are determined that are crucial and must be thoroughly checked in order to evaluate the real degree of hazard. The scope of permanent, remote and automatic monitoring of some parameters of gases and air is presented in context of standards and regulations in force. Importance of accuracy and scheduled frequency of checking the crucial parameters under normal conditions of exploitation, i.e. the *static phase* is stressed out whereas even more attention is paid to the case of increased hazard - the *dynamic phase*. The paper presents also the opportunities to permanent monitoring of aerologic hazard that are offered by application of automatic aerometry in the mining industry. Significance of such monitoring is considered to be extremely high during the *dynamic phase* so it should be taken into account when decisions are made about further prophylactic measures or rescue actions. Finally the importance of systematic monitoring of hazards for the issues related to health and safety of work is stressed out.

1. Wprowadzenie

Pierwszym etapem na drodze do bezpiecznej eksploatacji jest *rozpoznanie pasywne* potencjalnego poziomu zagrożeń aerologicznych [8]. Natomiast *rozpoznawanie aktywne* tych zagrożeń, które omawia niniejszy artykuł, ma bezpośredni wpływ na ocenę ich poziomu niebezpieczeństwa. Uwzględniając jeszcze inne, nie mniej ważne czynniki, można wyróżnić kilka podstawowych grup zagadnień, od których zależy bezpieczeństwo załogi i ruchu zakładu górniczego. Do nich należą:

- warunki naturalne (np. zalegania górotworu, pokładu węgla),
- *rozpoznanie pasywne* potencjalnego poziomu występujących zagrożeń (np. w pokładzie, jego sąsiedztwie) oraz wykonanie prognoz kształtowania się tych zagrożeń w czasie eksploatacji,
- wpływ człowieka na obniżenie poziomu zagrożeń (np. na etapie rozpoznawania i prognozowania poziomu zagrożeń, projektowania eksploatacji i prac profilaktycznych),
- poziom techniczno-technologiczny prowadzenia robót (np. nowoczesność i jakość maszyn i urządzeń oraz obudowy wyrobisk, system eksploatacji),
- *rozpoznawanie aktywne* rzeczywistego poziomu występujących zagrożeń (np. sposób kontroli i systemowego monitorowania rejonu eksploatacji pod względem parametrów pracy urządzeń i parametrów niebezpiecznych czynników),
- przewidywalność niebezpiecznych zdarzeń (np. wstrząsu górotworu, tąpnięcia, samozapalenia, wybuchu),
- procedury postępowania w *fazie statycznej* i *fazie dynamicznej* (np. stopień ich rozpowszechnienia wśród załogi oraz możliwości jej szybkiego informowania i alarmowania),
- zdolność decydentów (kierownictwa kopalni, dyspozytora bezpieczeństwa, dozoru górniczego itp.) do zachowania procedur postępowania dla *fazy dynamicznej* (np. w przypadku wzrostu jednego lub kilku jednocześnie zagrożeń naturalnych lub technicznych).

Złożoność tych zagadnień ujęta jest (m.in.) w obowiązujących przepisach [10, 4, 5, 12]. Jest to też jedną z zasadniczych przyczyn stałego rozwoju aerologii [7], pomiaroznawstwa [3, 9], techniki i technologii, dzięki czemu powstała m.in. automatyczna aerometria górnicza [6].

Doskonalenie *rozpoznawania aktywnego* poziomu zagrożeń aerologicznych i uzyskiwana przez to poprawa bezpieczeństwa pracy sprzyjają dalszemu doskonaleniu systemów

kontrolnych pod względem dokładności pomiaru, szybkości transmisji sygnału, czasu reakcji oraz rozwijaniu ich możliwości funkcjonalnych. Dzięki temu istnieją możliwości dokładniejszej oceny poziomu zagrożeń i precyzyjniejszego ustalenia procedur dla *fazy statycznej* i *fazy dynamicznej* procesu eksploatacji.

2. Czynniki charakteryzujące rzeczywisty poziom zagrożeń aerologicznych

Zagrożenia aerologiczne [7] mają bezpośredni lub pośredni związek z procesem przewietrzania kopalń. Należą do nich zagrożenia: wentylacyjno-gazowe, klimatyczne, metanowe, pożarem endogenicznym, działaniem pyłów szkodliwych dla zdrowia, wybuchem pyłu węglowego, radiacyjnego naturalnymi substancjami promieniotwórczymi. W czasie prowadzonej eksploatacji rzeczywisty ich poziom kształtowany jest dodatkowo przez wiele różnych czynników. Bezpośredni wpływ na wzrost zagrożenia mają takie czynniki naturalne, jak:

- temperatura pierwotna górotworu – wzrastająca wraz z głębokością – wpływająca na warunki klimatyczne na stanowiskach pracy oraz wzrost temperatury w zrobach i w szczelinach pokładu węgla, co sprzyja procesowi samozagrzewania i samozapalenia węgla,
- metanonośność pokładu węgla – w przeważającej większości występująca i wzrastająca z głębokością zalegania,
- skłonność górotworu do tapan – potęgowana wzrastającą masą nadkładu górotworu (wzrastającym ciśnieniem) – mogąca przyczynić się do zaburzeń wentylacji, zapłonu lub wybuchu metanu, wybuchu pyłu węglowego, a także sprzyjająca samozapalności węgla (rozszczelinowanie pokładu węgla spowodowane wstrząsami górotworu),
- emisja izotopów radu lub promieniowanie gamma – występujące (choć stosunkowo rzadko) zazwyczaj na głębokościach poniżej 800 m,

oraz niektóre czynniki techniczne, związane z procesami mającymi zapewnić właściwe przewietrzanie i warunki mikroklimatu, do których należą:

- odpowiednia depresja wentylatora głównego przewietrzania,
- stosowanie urządzeń klimatycznych,
- stabilizacja kierunków prądów powietrza przy przewietrzaniu podpoziomowym.

Natomiast pośredni wpływ dotyczy zarówno pozostałych czynników naturalnych, jak i niektórych czynników górniczych, wynikających z tzw. zaszości eksploatacyjnych – np. sąsiedztwo zrobów (wypełnionych metanem lub z występującym samozagrzewaniem resztek pozostawionego węgla).

Rozpoznawanie aktywne jest co najmniej tak samo ważnym elementem bezpieczeństwa ruchu zakładu jak *rozpoznanie pasywne*. Jednak w przypadku współwystępowania różnych zagrożeń znaczenie jego jest zdecydowanie większe, gdyż na nim oparta jest ocena rzeczywistego poziomu występujących zagrożeń.

Zróznicowany wpływ poziomu zagrożeń aerologicznych na poziom bezpieczeństwa pracy powoduje, że w *rozpoznawaniu aktywnym* częstotliwość kontroli parametrów bezpieczeństwa należy optymalizować. Dlatego też kontrola takich zagrożeń aerologicznych, jak metanowego i pożarem endogenicznym, powinna być prowadzona w sposób ustawiczny (quasi-ciągły), wentylacyjno-gazowego i klimatycznego – cykliczny i jak najczęstszy, a zagrożeń pyłami szkodliwymi dla zdrowia, wybuchem pyłu węglowego i radiacyjnego naturalnymi substancjami promieniotwórczymi – okresowo.

Zasadniczym celem rozpoznawania aktywnego jest rozgraniczenie *fazy statycznej*, obejmującej warunki normalne (przeciętne, bezpieczne) od *fazy dynamicznej*, obejmującej pogarszające się warunki bezpieczeństwa pracowników i prowadzenia ruchu zakładu górniczego. Wartości graniczne poszczególnych wskaźników są zazwyczaj wypadkową nauki oraz doświadczeń z praktyki górniczej i są różne w poszczególnych państwach.

O **zagrożeniu wentylacyjno-gazowym** decyduje przekroczenie ustalonych [4, 12] granicznych parametrów ilościowych i jakościowych powietrza kopalnianego (tabl. 1, 2).

Stwierdzenie niewłaściwych parametrów ilościowych (tabl. 1) wymaga czasowego zatrzymania robót i doprowadzenia ich do stanu wymaganego przepisami. Natomiast w przypadku, gdy skład powietrza kopalnianego nie spełnia warunków jakościowych (tabl. 2) wszystkie roboty w danym miejscu (wyrobisku, rejonie) zatrzymuje się, wycofuje się załogę, a wejście do zagrożonego rejonu zagradza się. W miejscach takich mogą być wykonywane wyłącznie prace z zakresu ratownictwa górniczego i przeciwpożarowego. Natomiast w przypadku przekroczenia 2 % metanu dodatkowo w rejonie wyłącza się prąd elektryczny oraz unieruchamia się maszyny i urządzenia.

Na zagrożenie związane z zapewnieniem właściwych prędkości i wydatków powietrza istotny wpływ ma także stabilność prądów powietrza. Najczęściej jest ona zaburzona przez tzw. krótkie spięcie wentylacyjne spowodowane otwarciem tam wentylacyjnych. Kontrola

stanu zamknięcia tam jest więc ważnym elementem prawidłowego funkcjonowania wentylacji rejonu eksploatacyjnego.

Tablica 1

Dopuszczalne prędkości powietrza w polskich kopalniach węgla kamiennego

Rodzaj wentylacji	Prędkości powietrza			
	Minimalna		Maksymalna	
	m/s	Rodzaj wyrobiska	m/s	Rodzaj wyrobiska
Opływowa	nie określona w polach niemietanowych	wybiekowe, korytarzowe, inne: musi zapewnić odpowiedni skład powietrza	5	wybiekowe
	0,3 – w polu metanowym	wybiekowe, korytarzowe, z wyjątkiem: – wyrobiska z zabudowaną służą wentylacyjną (pod warunkiem zapewnienia wymaganego składu powietrza), – komór	8	korytarzowe
	1,0 – w polu metanowym	wyrobiska z trakcją elektryczną	10	korytarzowe, w których nie odbywa się regularny ruch ludzi
	> 0,5 – w polach metanowych i niemietanowych	przy sprowadzaniu powietrza na upad w wyrobiskach nachylonych od -5° do -10°	12	szyby i szybiki podczas jazdy ludzi
Odrębna	0,15 – w polach niemietanowych i I kzm*; 0,30 – w polach II, III i IV kzm*	– korytarzowe (za wyjątkiem wyrobiska o przekroju poprzecznym w wyłomie ponad 20 m^2 , jeżeli zapewnione są właściwy skład gazów i właściwe warunki klimatyczne); – w części szybu (szybiku) przewietrzanej z użyciem lutniociągu;	-	-

* - kzm – kategoria zagrożenia metanowego

Tablica 2

Dopuszczalne zawartości (średnioważone) gazów w powietrzu kopalnianym

Dopuszczalne zawartości gazów			
Ze względu na szkodliwość dla zdrowia		Ze względu na bezpieczeństwo załogi i ruch zakładu górniczego	
Gaz	Zawartość	Gaz	Zawartość
tlen – O_2	minimum 19,0 %	metan – CH_4	maksimum 2,0 %
dwutlenek węgla – CO_2	maksimum 1,0 %		
tlenek węgla – CO	maksimum 0,002 6 % (26 ppm)		
tlenek azotu – NO	maksimum 0,000 26 % (2,6 ppm)		
dwutlenek siarki – SO_2	maksimum 0,000 075 % (75 ppb)		
siarkowodór – H_2S	maksimum 0,000 7 % (7 ppm)		

Wyniki pomiarów prędkości powietrza wykorzystywane są głównie do obliczania wydatku powietrza w danym punkcie pomiarowym, a także przy wyznaczaniu potencjału

aerodynamicznego. Natomiast obliczone wydatki powietrza i wyniki pomiarów zawartości gazów pozwalają na obliczenie wskaźnika ilości CO i metanowości wentylacyjnej oraz umożliwiają określenie intensywności osadzania pyłu kopalnianego i obliczenie wskaźników radiacyjnych.

Na poziom **zagrożenia klimatycznego** wpływają występujące źródła ciepła (górotwór, moc zainstalowanych urządzeń energetycznych), wilgotność powietrza oraz intensywność przewietrzania. Poziom rzeczywistego zagrożenia charakteryzują temperatura i wilgotność względna powietrza oraz natężenie (intensywność) chłodzenia. Bezpośrednie pomiary obejmują temperaturę powietrza (t_p), wilgotność powietrza (W), czas (τ) obniżania się temperatury z 38 °C do 35 °C na katatermometrze o wyznaczonej stałej katatermometru (F), a natężenie chłodzenia (K_w) oblicza się. Można też dokonać pomiaru temperatury tzw. „termometrem suchym” (t_s) i „termometrem wilgotnym” (t_w), a wilgotność względną (W_w) wyznaczyć na podstawie tablic psychrometrycznych. Niekorzystny wpływ warunków cieplnych i mikroklimatu na zdrowie wymaga [4] zastosowania się do określonych rygorów (tabl. 3).

Tablica 3

Zależność rodzaju prac od warunków cieplnych

Warunki cieplne	Zakres prac	Rygory
$t_s \leq 28 \text{ }^\circ\text{C}$	bez ograniczeń	-
$28 \text{ }^\circ\text{C} < t_s \leq 33 \text{ }^\circ\text{C}$	bez ograniczeń	czas pracy skrócony do 6 godzin (razem ze zjazdem i wyjazdem na powierzchnię)
$K_w = F \cdot \tau \text{ [mcal/cm}^2 \cdot \text{s]} < 11$	bez ograniczeń	
$t_s > 33 \text{ }^\circ\text{C}$	tylko akcja ratownicza	czas pracy ratownika w aparacie ograniczany w zależności od trudnych warunków mikroklimatu

Zagrożenie metanowe wynika z możliwości zapłonu lub wybuchu metanu (niska dolna granica wybuchowości metanu – 4,5 %), a poziom rzeczywistego zagrożenia odzwierciedla przede wszystkim jego zawartość w powietrzu kopalnianym lub w gazach zrobowych (szczególnie przy eksploatacji zawałowej). W polskich kopalniach zakres prac możliwych do wykonywania zależy jest [4] od zawartości metanu w powietrzu kopalnianym (tabl. 4).

Tablica 4

Zestawienie dopuszczalnych zawartości metanu w powietrzu kopalnianym

Dopuszczalne zawartości metanu			
Ze względu na miejsce występowania		Ze względu na prace	
Lokalizacja miejsca	CH ₄ [%]	Rodzaj prac	CH ₄ [%]
Grupa przodków przewietrzana jednym prądem powietrza: – w powietrzu doprowadzonym do każdego przodka – bez stosowania metanometrii automatycznej, – w powietrzu doprowadzonym do każdego przodka – przy stosowaniu metanometrii automatycznej	≤ 0,5 ≤ 1,0	Urabianie kombajnami: – chodnikowymi i ścianowymi zwięzłych skał o dużej i średniej skłonności do iskrzenia (w rejonie urabiania). – chodnikowymi pokładu węgla: – w strefie przodkowej, – w rejonie wysięgnika kombajnu, – ścianowymi pokładu węgla: – w powietrzu dopływającym do ściany, – w powietrzu wypływającym ze ściany	≤ 0,5 ≤ 1,0 ≤ 2,0 ≤ 1,0 ≤ 2,0
Przewietrzanie jednym prądem powietrza grupy przodków drażonych kombajnami z zastosowaniem wentylacji lutniowej kombinowanej z ssącym lutniociągiem wyposażonym w urządzenie odpylające – w powietrzu doprowadzonym do każdego przodka	≤ 0,5	Urabianie materiałem wybuchowym (MW): – MW węglowe i skalne – bez blokady metanometrycznej, – MW węglowe i skalne – z blokadą metanometryczną, – MW metanowe, – MW metanowe specjalne	≤ 0,5 ≤ 1,0 ≤ 1,0 ≤ 1,5
Wzrobisko ścianowe: – prąd wlotowy powietrza, – prąd wylotowy powietrza	≤ 1,0 ≤ 2,0	Urabianie metodami bezogniowymi	> 1,5
Wylot rejonowego prądu powietrza: – bez stosowania metanometrii automatycznej, – przy stosowaniu metanometrii automatycznej	≤ 1,0 ≤ 1,5	Inne prace (poza urabianiem)	≤ 2,0
Szyb wydechowy – prąd powietrza wylotowy całkowity	≤ 0,75	Prace ratownicze	> 2,0

Ponadto, w przypadku stosowania odmetanowania górotworu prowadzona musi być jego kontrola. Ma ona na celu – m.in. poprzez pomiary zawartości metanu w ujmowanym gazie – uniemożliwienie występowanie metanu o zawartości poniżej 30 % (w zbiorczym rurociągu odmetanowania) lub poniżej 20 % (w gazie ujmowanym do rurociągu). Oblicza się też ilość ujmowanego metanu (na podstawie doraźnych pomiarów zawartości metanu w ujmowanym gazie, jego temperatury, różnicy ciśnień na kryzie pomiarowej, ciśnienia barometrycznego).

Poziom rzeczywistego zagrożenia pożarem endogenicznym kontrolowany jest wskaźnikami pożarowymi, określającymi wskaźnik Grahama (G) [1] – na podstawie oznaczonej zawartości gazów zrobowych – oraz przyrost tlenku węgla (ΔCO) i ilość tlenku węgla (\dot{V}_{CO}) obliczane na podstawie oznaczonej zawartości tlenku węgla (w prądach powietrza wlotowego – CO^x , [%], i wylotowego: CO , [%]; q'_{CO} , [%]; q''_{CO} , [ppm]), a także obliczonego wydatku powietrza (\dot{V} , [m^3/min]). Przekroczenie wartości kryterialnych [12] wymusza określone działania (tabl. 5).

Tablica 5

Zestawienie kryterialnych wartości zagrożenia pożarowego

Miejsce pomiaru	Wskaźnik pożarowy	Kryteria	Sposób postępowania
Zroby, otamowane wytrobiska	$G = \frac{CO}{0,265N_2 - O_2}$	$0,0025 < G \leq 0,0070$	Wzmoczona obserwacja atmosfery, zwiększona częstotliwość pobierania prób gazów
		$0,0070 < G \leq 0,0300$	Prace profilaktyczne
		$G > 0,0300$	Akcja przeciwpożarowa
Wytrobiska z dopływowym i odpływowym prądem powietrza do ścian;	$\Delta CO = CO - CO^x$ [%] $\dot{V}_{CO} = 10 \dot{V} \cdot q'_{CO}$ [l/min]	$0 < \dot{V}_{CO} \leq 10$ przy $0,0010 < \Delta CO \leq 0,0026$	Wzmoczona obserwacja atmosfery, zwiększona częstotliwość pobierania prób gazów
Wytrobiska z wentylacją odrębną	$\dot{V}_{CO} = (\dot{V} \cdot q''_{CO}) \cdot 0,001$ [l/min]	$10 < \dot{V}_{CO} \leq 20$ przy $\Delta CO \leq 0,0026$ $\Delta CO > 0,0026$	Prace profilaktyczne Akcja przeciwpożarowa

Pełniejsza analiza zagrożenia pożarem endogenicznym obejmuje także ocenę czynników naturalnych, górniczych i technicznych. Spośród nich największe znaczenie ma kontrola rozkładu pola potencjałów aerodynamicznych w rejonie znaczącego sąsiedztwa zrobów. Wielkość potencjału można wyznaczyć znając wysokość względną danego punktu pomiarowego oraz parametry związane z ciśnieniem atmosferycznym (w punkcie pomiarowym i na zrębie szybu wdechowego), temperaturą i wilgotnością powietrza oraz prędkością jego przepływu. Parametry te można pomierzyć w sposób doraźny, za pomocą wielu przyrządów lub mierzyć w sposób ciągły (w wybranych punktach) odpowiednimi przyrządami pomiarowymi. Podobnie jak pomiary zawartości tlenku węgla i niektórych innych gazów, które również można przeprowadzić doraźnie – przyrządami przenośnymi lub stacjonarnymi, albo można je uzyskać w wyniku laboratoryjnych analiz chemicznych.

Kontrolę zagrożenia pożarowego lub pożaru można też prowadzić opierając się na obecności dymów w powietrzu kopalnianym za pomocą czujników dymu.

Jak już wyżej wspomniano, pozostałe zagrożenia aerologiczne, tj. zagrożenia pyłami szkodliwymi dla zdrowia, wybuchem pyłu węglowego i radiacyjne naturalnymi substancjami promieniotwórczymi, różnią się swym charakterem od pozostałych. Parametry określające poziom ich rzeczywistego zagrożenia kontrolowane są [4, 12] znacznie rzadziej i w inny sposób (tabl. 6).

Tablica 6
Zestawienie parametrów i wartości kryterialnych zagrożeń aerologicznych kontrolowanych okresowo

Klasyfikacja kontrolowanego czynnika	Parametry zagrożenia aerologicznego	Kryteria	Rygory	Częstotliwość kontroli
Kategoria zagrożenia działaniem pyłów szkodliwych dla zdrowia (kzp)	Stężenie pyłu w powietrzu kopalnianym na stanowisku pracy – SP [mg/m^3]	$Kr_{NDS} \leq 1$	brak	1 raz/rok
		kzp A $1 < Kr_{NDS} \leq 4$	Stosowanie sprzętu filtrującego (układ oddechowy) klasy 1	Pomiary kontrolne po wystąpieniu warunków powodujących zmiany (zmniejszenie lub zwiększenie) stężenia pyłu
	kzp B $4 < Kr_{NDS} \leq 10$	Stosowanie sprzętu filtrującego (układ oddechowy) klasy 2		
	kzp C $10 < Kr_{NDS} \leq 20$	Stosowanie sprzętu filtrującego (układ oddechowy) klasy 3		
	Krotność przekroczenia NDS [mg/m^3] – Kr_{NDS} $Kr_{NDS} = SP / NDS$	$Kr_{NDS} > 20$	Zakaz przebywania pracowników	Po usunięciu przyczyny przekroczenia
Ocena zagrożenia wybuchem pyłu węglowego w wyznaczonych strefach zabezpieczających przed przeniesieniem wybuchu	Zawartość w pyłe kopalnianym: – części niepalnych stałych – n [%], – wody przemijającej – W [%],	Pokłady niemetanowe	$n \geq 70$ $0,9 W$	W zależności od intensywności osiadania pyłu (minimum co 30 dni)
		Pokłady metanowe - w strefach zabezpieczających	$n \geq 80$ $1,0 W$	
		Pokłady metanowe - poza strefami zabezpieczającymi	$n \geq 50$ $0,6 W$	
Klasy zagrożenia radiacyjnego naturalnymi substancjami promieniotwórczymi: - krótkożyciowe produkty rozpadu radonu, - promieniowanie gamma, - wody radowe, - osady	Stężenie energii potencjalnej $\alpha - C_\alpha$ [$\mu J/m^3$]	Poziom inspekcyjny	$C_\alpha \leq 0,8$	1 raz/kwartał
		Klasa A	$0,8 < C_\alpha \leq 1,4$	1 raz/miesiąc
		Klasa B	$C_\alpha > 1,4$	3 razy/miesiąc
	Moc dawki pochłoniętej w powietrzu – D [$\mu Gy/h$]	Poziom inspekcyjny	$D \leq 1,0$	1 raz/rok
		Klasa A	$1,0 < D \leq 1,75$	1 raz/kwartał
	Klasa B	$1,75 < D \leq 3,0$	1 raz/miesiąc	
	Stężenie izotopów radu – C_{Raw} [kBq/kg]	Poziom inspekcyjny	$C_{Raw} \leq 300$	1 raz/rok
		Klasa A	$300 < C_{Raw} \leq 525$	1 raz/kwartał
		Klasa B	$525 < C_{Raw} \leq 900$	1 raz/kwartał
	Aktywność właściwa izotopów radu – C_{Rao} [kBq/kg]	Poziom inspekcyjny	$C_{Rao} \leq 60$	1 raz/rok
		Klasa A	$60 < C_{Rao} \leq 105$	1 raz/kwartał
		Klasa B	$105 < C_{Rao} \leq 180$	1 raz/kwartał

Ze względu na konieczność dostosowania sposobu i częstotliwości kontroli do wagi konkretnego zagrożenia aerologicznego, ich parametry kontrolowane są – w znacznej części – doraźnie, za pomocą przenośnych przyrządów pomiarowych lub/i z wykorzystaniem przyrządów laboratoryjnych. Obowiązujące w Polsce przepisy [4, 12] wymagają stosowania kontroli zawartości metanu czujnikami stacjonarnymi. Należą do nich kontrola zawartości metanu w powietrzu – pola metanowe II, III i IV kategorii zagrożenia - oraz zabezpieczenie urządzeń elektrycznych za pomocą metanometrii automatycznej. Ma to m.in. umożliwić ciągły pomiar i rejestrację zawartości metanu oraz wyłączenie urządzeń elektrycznych (w czasie nie dłuższym niż 15 sekund) w przypadku przekroczenia zawartości ustalonych przepisami. Przepisy wskazują również [12] zakres zdalnej kontroli wczesnego wykrywania pożaru endogenicznego, która powinna obejmować pomiary zawartości tlenu węgla w powietrzu kopalnianym, prędkości powietrza i jego temperatury lub pomiary innych składników powietrza kopalnianego i gazów pożarowych oraz dymu. A zatem, wymuszają one stosowanie systemowego monitorowania tych najważniejszych zagrożeń.

4. Rozpoznawanie aktywne systemowym monitorowaniem poziomym zagrożeń

Rozpoznawanie aktywne poziomu zagrożeń aerologicznych pozwala na gromadzenie wyników i danych pomiarowych, co daje podstawę do przeprowadzania analiz i określania ich rzeczywistego poziomu. O szybkości tak przeprowadzanej oceny decyduje szybkość uzyskiwania wyników pomiarów. Ma to szczególne znaczenie w przypadku wzrastającego poziomu zagrożenia, czyli przejścia z *fazy statycznej* do jego *fazy dynamicznej*. Od tego bowiem zależy trafność, a przez to i skuteczność podejmowanych decyzji oraz zastosowania odpowiednich procedur. Można więc uznać, że od poziomu poszczególnych zagrożeń zależy poziom bezpieczeństwa prac, natomiast od dokładności ich *rozpoznawania aktywnego* zależy szybkość i prawidłowość podejmowanych działań w *fazie dynamicznej*. Zależności te przekładają się również na ekonomiczne skutki powstawania *stanów awaryjnych* (wymagających działań profilaktycznych) i *stanów krytycznych* (działania w ramach prac ratowniczo-akcyjnych).

Podkreślenia wymaga fakt, że funkcjonujące w polskich kopalniach systemy monitorowania dostosowane są do współpracy ze wszystkimi typami czujników pomiarowych, zarówno o działaniu cyklicznym i ciągłym, jak też z czujnikami

niepomiarowymi, a także z przyrządami wieloczujnikowymi. Aktualnie automatyczna aerometria górnicza obejmuje swym zakresem [6]:

- gazometrię – pomiar zawartości czterech podstawowych gazów (tlenu, dwutlenku węgla, tlenu węgla i metanu), pomiar i obliczanie ilości ujmowanego metanu, a także sygnalizację obecności dymu,
- anemometrię – pomiar prędkości powietrza,
- termohigrometrię – pomiar temperatury powietrza i jego wilgotności, pomiar temperatury górotworu,
- barometrię – pomiar ciśnienia barometrycznego (na powierzchni i na dole kopalni), pomiar różnicy ciśnień, pomiar naporu powietrza, pomiary i obliczenia potencjału aerodynamicznego,
- pyłometrię – pomiar i obliczanie średniego zapylenia powietrza kopalnianego.

A zatem, pozwala już kontrolować parametry większości zagrożeń aerologicznych: wentylacyjno-gazowego, klimatycznego (poza pomiarem określającym intensywność chłodzenia), metanowego, pożarowego oraz działaniem pyłami szkodliwymi dla zdrowia. Przy czym, ze względu na częstotliwość i specyfikę kontroli zagrożenia wybuchem pyłu węglowego i zagrożenia radiacyjnego naturalnymi substancjami promieniotwórczymi, nie wymaga (jak dotychczas) poszukiwania rozwiązania systemowego ich monitorowania.

Wyniki bieżącej, prawidłowo prowadzonej kontroli zagrożeń aerologicznych są przeznaczone przede wszystkim dla służb dyspozytorskich, które stanowią początek łańcucha oddziaływań tzw. czynnika ludzkiego. W *fazie statycznej*, w przypadku uzyskania wyników pomiarów różniących się od wartości przeciętnych dla tej fazy, służby te – wraz z odpowiednimi innymi służbami (np. wentylacyjną) – zobowiązane są odpowiednimi procedurami do wyjaśnienia powodów takich zmian. Umożliwia to dokonanie analizy i oceny zaistniałej sytuacji oraz podjęcie szybkiej i właściwej decyzji. Może nią być np. zarządzanie dodatkowych pomiarów przyrządami przenośnymi, kalibracja, naprawa lub wymiana stacjonarnego przyrządu pomiarowego, itp. Natomiast przekroczenie wartości granicznych i przejście do *fazy dynamicznej* wymaga bezwzględnego zastosowania odpowiednich procedur związanych z bezpieczeństwem załogi i ruchu zakładu górniczego, stosownych do stanu zagrożenia. W *stanie awaryjnym* mogą to być np. wyłączenie energii elektrycznej w danym rejonie, wycofanie załogi, podjęcie prac profilaktycznych, a w *stanie krytycznym* – rozpoczęcie działań ratowniczo-akcyjnych. Nie da się więc przecenić znaczenia pomiarów

z zakresu aerometrii górniczej. Trzeba jednak podkreślić, że dla bezpieczeństwa pracowników równie istotna jest możliwość szybkiego informowania, alarmowania i lokalizowania załogi.

Z analiz przyczyn i okoliczności tragicznych zdarzeń – każdorazowo przeprowadzanych po zaistnieniu katastrof – wynika, że istotną rolę odgrywają w nich, czynnik przewidywalności zdarzenia (szczególnie, gdy występuje także zagrożenie tapaniami), właściwa lokalizacja i prawidłowe działanie przyrządów kontrolno-pomiarowo-zabezpieczających, a bardzo często decydujące znaczenie ma tzw. czynnik ludzki. Powodami nieprawidłowego działania człowieka (ludzi) mogą być m.in.: brak prawidłowego *rozpoznawania aktywnego*, tj. oceny rzeczywistego poziomu zagrożeń, niedostateczna świadomość niebezpieczeństwa *fazy dynamicznej*, świadome przekładanie efektów produkcyjno-ekonomicznych nad niebezpieczeństwo prowadzenia ruchu, błędy w organizacji pracy i nieprzestrzeganie procedur bezpieczeństwa.

Większą przewidywalność zdarzeń umożliwia zautomatyzowanie kontroli i pomiarów parametrów zagrożeń *rozpoznawania aktywnego* oraz zautomatyzowanie działań zabezpieczających. Zmniejsza to możliwość popełnienia błędu przez człowieka (ludzi) w *fazie dynamicznej* procesu eksploatacji, szczególnie w *stanie awaryjnym*.

Dla podniesienia poziomu bezpieczeństwa załogi pod koniec XX wieku rozpoczęto wykorzystywać możliwości poszczególnych systemów kontrolno-pomiarowo-zabezpieczających, wykorzystując je w procedurach bezpiecznego prowadzenia ruchu zakładu. Rozwój prac nad ich integracją [2, 11] przyspieszyły m.in. tragiczne w skutkach zdarzenia. Zintegrowano m.in. system monitorowania zagrożeń metanowo-pożarowych typu SMP z systemem alarmowo-zgłoszeniowym typu STAR-NT, system sejsmologiczny ARAMIS z systemem SMP-NT, a także system zbierania danych technologicznych typu μ HADES z systemem metanometrii (zarówno cyklicznej – np. typu SW μ P, jak i ciągłej – np. typu VENTURON). Najbardziej rozbudowanym i najnowocześniejszym jest system dyspozytorski SD2000, który jest nowoczesnym systemem monitorowania, kontroli i sterowania zarówno pojedynczymi urządzeniami, jak i urządzeniami powiązаныmi w złożone i współzależne struktury.

Doświadczenia wynikające z tragedii mających miejsce w polskich, jak i zagranicznych kopalniach pozwalają stwierdzić, że w przewidywalnej przyszłości o bezpieczeństwie podziemnej eksploatacji węgla kamiennego nadal decydować będą przede wszystkim jej warunki naturalne i czynnik ludzki. Jednak systemy dyspozytorskiego nadzoru pozwolą każdej kopalni na prowadzenie coraz szerszego zakresu *rozpoznawania aktywnego* warunków eksploatacji oraz śledzenie ich przebiegu w *fazie statycznej* i *fazie dynamicznej*. Dzięki temu

ocena poziomu kontrolowanych zagrożeń stanie się pełniejsza, co ma szczególne znaczenie w stanach awaryjnych i krytycznych. Dzięki temu decyzje można będzie podejmować właściwie i w odpowiednim czasie. Pozwoli to uniknąć zarówno zbyt wczesnego działania, mogącego przyczynić się do powstania kosztów (np. niepotrzebne postoje w produkcji węgla), jak i zbyt późnego podejmowania działań, które jest o wiele gorsze, gdyż może narazić pracowników na bezpośrednie niebezpieczeństwo, a zakład na poważne straty.

5. Podsumowanie

- 1) *Rozpoznawanie aktywne* zagrożeń aerologicznych umożliwia ocenę rzeczywistego ich poziomu w czasie prowadzenia eksploatacji.
- 2) Przestrzeganie granicznych wartości parametrów bezpieczeństwa, oddzielających *fazę statyczną* warunków eksploatacji od jej *fazy dynamicznej* oraz zachowanie odpowiednich procedur postępowania dla *stanu awaryjnego* i *stanu krytycznego* są podstawowymi zasadami bezpieczeństwa załogi i ruchu zakładu górniczego.
- 3) Rozwój aerologii górniczej, pomiaroznawstwa oraz techniki i elektroniki przyczyniły się do powstania automatycznej aerometrii górniczej umożliwiającej systemowe monitorowanie najistotniejszych zagrożeń aerologicznych.
- 4) *Rozpoznawanie aktywne* zagrożeń poprzez zintegrowane systemy monitorowania parametrów bezpieczeństwa oraz procesów produkcyjnych i technicznych z systemami alarmowo-rozgłoszeniowymi i lokalizacji załogi zwiększa bezpieczeństwo podziemnej eksploatacji węgla kamiennego.

LITERATURA

1. Graham J. I.: The Normal Production of Carbon Monoxide in Coal Mines. Transaction Institution of Minig Engineers, vol 60, 1920-21.
2. Mironowicz W.: Monitorowanie stanu bezpieczeństwa w kopalniach. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2003, nr 9.
3. Roszczyński W., Trutwin W., Waclawik J.: Kopalniane pomiary wentylacyjne. Wyd. „Śląsk”, Katowice 1992.
4. Rozporządzenie Ministra Gospodarki (Rzeczypospolitej Polski) z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego

- zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych. Dz.U. Nr 139 z 2002 r., poz. 1169.
5. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji (RP) z dnia 14 czerwca 2002 r. w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych. Dz.U. Nr 94 z 2002 r., poz. 841.
 6. Trenchek S.: Automatyczna aerometria górnicza dla kontroli zagrożeń aerologicznych. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2005*, nr 3.
 7. Trenchek S.: Rozpoznanie czynników termofizycznych, a poziom zagrożenia występujący przy eksploatacji zawałowej pokładów węgla kamiennego. Materiały 10. Sesji Międzynarodowego Biura Termofizyki Górniczej „IBMT 2005”. Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2005.
 8. Trenchek S.: Wykorzystanie rozpoznania pasywnego potencjalnego poziomu zagrożeń aerologicznych przy projektowaniu eksploatacji pokładów węgla kamiennego. Zgłoszony na Konferencję Naukową nt.: „Górnictwo Zrównoważonego Rozwoju 2005”, 24 listopad 2005 r., Pol. Śl. Gliwice.
 9. Trutwin W.: Pomiaroznawstwo i monitorowanie wentylacji kopalń. Materiały 1. Szkoły Aerologii Górniczej, Wyd. Centrum EMAG, Katowice 1999.
 10. Ustawa z dnia 27 lipca 2001 r. – Dz.U. Nr 110 z 2001 r. poz. 1190 – o zmianie ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. – Prawo geologiczne i górnicze (RP) (Dz.U. Nr 27, poz. 96 z 1996 r. z późniejszymi zmianami).
 11. Wasilewski S.: Kopalniane systemy dyspozytorskiego nadzoru. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2003*, nr 9.
 12. Załącznik nr 5 – Zwalczanie zagrożeń. Załączniki z dnia 2 września 2002 r. do Rozporządzenia Ministra Gospodarki (RP) z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych. Dz.U. Nr 139 z 2002 r., poz. 1169.

Recenzent: Dr hab. inż. Józef Sułkowski, prof. nzw. w Pol. Śl.