

Stanisław TRENCZEK

Centrum Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa EMAG, Katowice

KONTROLA BEZPIECZNYCH WARUNKÓW STOSOWANIA INERTYZACJI W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie. Przedstawiono krótki zarys zmian jakie dokonały się w sposobach inertyzacji. Omówiono zagrożenia mogące wystąpić podczas stanów awaryjnych i krytycznych inertyzacji. Wskazano znaczenie kontroli warunków inertyzacji w przypadku jej stosowania podczas robót górniczych. Na koniec przedstawiono możliwości kontroli parametrów bezpieczeństwa za pomocą automatycznej aerometrii górniczej.

SAFE CONDITIONS CONTROL OF USING INERTIZATION IN COLLIERIES

Summary. In this paper was presented a short changes outline of inertization methods. Those hazards, which may happens in accident conditions and critical inertizations, are discussed. The meaning of inertization conditions control are indicated in case of using her during the mining. Finally the opportunities of automatic aerometry for the mining industry are presented in safe condition controls.

1. Wprowadzenie

Inertyzacja należy do jednego z najskuteczniejszych rodzajów działań profilaktycznych zarówno przy zagrożeniu wybuchem metanu, jak i przy zagrożeniu pożarowym. Pierwsze skuteczne zastosowanie gazów inertnych przy gaszeniu pożaru miało miejsce w latach pięćdziesiątych XIX wieku, co opisuje m.in. Walters [11], a ich szerokie zastosowanie w Polsce ma miejsce szczególnie w ostatnich latach.

W polskim górnictwie inertyzacja początkowo oparta była na gazach spalinowych, których zastosowanie wymagało odpowiednich uwarunkowań (m.in. wysoce efektywna

wentylacja, intensywne chłodzenie urządzenia wytwarzającego spaliny itp.). Wykorzystywanie inertyzacji azotem w pracach profilaktycznych zapoczątkowano w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku [1, 4], lecz do połowy 1998 roku inertyzacja prowadzona była zasadniczo podczas akcji.

Do rozszerzenia zakresu stosowania inertyzacji na prace profilaktyczne przyczyniła się głównie restrukturyzacja górnictwa, która powoli, ale skutecznie wyeliminowała z kopalń tzw. ściany rezerwowe. Przez to każdy postój ściany czynnej jest źródłem strat trudnych do odrobienia. Rozpoczęcie prac profilaktycznych na wczesnym etapie zagrożenia pożarem endogenicznym bardzo często pozwalało utrzymać prawie normalny poziom wydobywania, a straty minimalizować.

Zakupienie w 1998 roku przez Centralną Stację Ratownictwa Górniczego urządzenia do wytwarzania azotu z powietrza atmosferycznego typu HPLC [3] rozpoczęło powszechne stosowanie inertyzacji azotem do prac profilaktycznych. Początek temu dały kopalnia „Bielszowice” ówczesnej Rudzkiej Spółki Węglowej SA oraz kopalnie „Mysłowice” i „Śląsk” (aktualnie KWK „Wujek” Ruch „Śląsk”) Katowickiego Holdingu Węglowego SA. Dla porządku należy też dodać, że począwszy od 2002 r. do prac profilaktycznych zaczęto coraz powszechniej stosować inertyzację z wykorzystaniem dwutlenku węgla. Początek tego typu inertyzacji dała Jastrzębska Spółka Węglowa SA w kopalniach „Borynia”, „Zofiówka” i „Jas-Mos” [6]. Wcześniej dwutlenek węgla – sprężony w butlach – wykorzystywano tylko w sporadycznych przypadkach [8].

2. Stany awaryjne i krytyczne inertyzacji, jako przyczyna zagrożenia wentylacyjno-gazowego

Normalny stan procesu wentylacji – *faza statyczna* – to przewietrzanie, zachowujące wymagania przepisów, a przez to zapewniające bezpieczeństwo załogi i ruchu zakładu górnictwa. Zaburzenie tego procesu – *faza dynamiczna* – może doprowadzić do wystąpienia zagrożeń. Bezpieczne stosowanie inertyzacji wymaga zachowania pewnych zasad, które między innymi muszą zapewnić dotrzymanie składu gazów w powietrzu kopalnianym zgodnego z przepisami [5] (tabl. 1). Potencjalne niebezpieczeństwo wystąpienia zagrożenia wentylacyjno-gazowego może zaistnieć w stanie awaryjnym inertyzacji, spowodowanym na przykład rozerwaniem instalacji (rurociąg lub wąż pożarniczy) transportującej gaz inertny.

Tablica 1

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 0,0026 % (26 ppm)		
Tlenek azotu – NO	maksimum 0,00026 % (2,6 ppm)		
Dwutlenek siarki – SO ₂	maksimum 0,000075 % (75 ppb)		
Siarkowodór – H ₂ S	maksimum 0,0007 % (7 ppm)		

Przy stosowaniu inertyzacji azotem stan awaryjny inertyzacji spowodować może zmniejszenie zawartości tlenu w wyrobisku, natomiast w przypadku inertyzacji dwutlenkiem węgla może doprowadzić zarówno do obniżenia zawartości tlenu w wyrobisku, jak i do wzrostu zawartości dwutlenku węgla.

Niedopuszczalne zmniejszenie prędkości przepływu powietrza (tabl. 2) lub zmniejszenie wymaganego wydatku powietrza dla robót wybierkowych lub przygotowawczych może dodatkowo wystąpić w stanie krytycznym inertyzacji.

Tablica 2

Wymagane prędkości powietrza w kopalniach węgla kamiennego

Rodzaj wentylacji	Minimalne prędkości powietrza	
	Rodzaj wyrobiska	v [m/s]
Opływowa	wyberkowe, korytarzowe, inne	nieokreślona w polach niemetalicznych - musi zapewnić w nich odpowiedni skład powietrza
	wyberkowe, korytarzowe, z wyjątkiem: - wyrobiska z zabudowaną śluzą wentylacyjną (pod warunkiem zapewnienia wymaganego składu powietrza); - komór	0,3 – w polu metanowym
	wyrobiska z trakcją elektryczną	1,0 – w polu metanowym
	w wyrobiskach nachylonych od –5° do –10° przy sprowadzaniu powietrza na upad	> 0,5 – w polach metanowych i niemetalicznych

cd. tablicy 2

Odrębna	- korytarzowe (z wyjątkiem wyrobiska o przekroju poprzecznym w wylomie ponad 20 m, jeżeli zapewnione są właściwy skład gazów i właściwe warunki klimatyczne); - w części szybu (szybiku) przewietrzanej z użyciem lutniociągu.	0,15 – w polach niemietanowych i I kategorii zagrożenia metanowego, 0,30 – w polach II, III i IV kategorii zagrożenia metanowego.
---------	---	--

Stan taki może wystąpić przy jednoczesnym wystąpieniu stanu awaryjnego inertyzacji i stanu awaryjnego przewietrzania, powodującego drastyczne zmniejszenie wydatku powietrza w wyrobisku (np. na skutek: obwału, tzw. „krótkiego spięcia wentylacyjnego” itp.).

3. Bezpieczeństwo inertyzacji

Świadomość wszystkich istotnych cech, jakie posiadają gazy inertne, jest warunkiem niezbędnym do bezpiecznego i skutecznego stosowania inertyzacji.

Aby uniknąć wymienionych wyżej zagrożeń, niezbędne jest zapewnienie odpowiedniego wydatku powietrza w wyrobiskach, w których znajdują się rurociągi wykorzystywane do inertyzacji. Zgodnie z zasadami prowadzenia akcji ratowniczych [14] wydatek taki musi być co najmniej równy wydatkowi granicznemu – V_{grW} – obliczonemu ze wzoru

$$V_{grW} = \frac{V_A \cdot S_{O_2C} - 100Q_{O_2A}}{S_{O_2W} - S_{O_2C}} \quad (1)$$

gdzie:

V_A - wydajność, z jaką podawany jest gaz inertny, m³/min,

S_{O_2C} - minimalne stężenie tlenu w powietrzu w wyrobisku (po wymieszaniu się z gazami wyphywającymi z instalacji inertyzacyjnej), $S_{O_2C} = 19\%$,

Q_{O_2A} - ilość tlenu wyphywająca (wraz z azotem) z instalacji, m³/min,

S_{O_2W} - przeciętne (średnie) stężenie tlenu w powietrzu (w wyrobisku) przed stanem awaryjnym, %.

Drugim ewentualnym niebezpieczeństwem może być obecność gazu inertnego związana z jego ewentualnym przemieszczaniem się od miejsca przeznaczenia do sąsiednich wyrobisk. Zwracają na to uwagę wspomniane zasady [14], które wymagają *określenia miejsca i ilości gazu inertnego, jaka może być wynoszona z przestrzeni wyrobisk lub zrobów*

poeksploatacyjnych, do których podawany będzie gaz inertny przez powietrze przepływające przez tę przestrzeń do czynnych wyrobisk.

Jednak częściej może wystąpić zagrożenie spowodowane „wypychaniem” gazów zrobowych, zawierających zazwyczaj tlenek węgla, dwutlenek węgla oraz nierzadko metan – przez podawane do nich medium – do wyrobisk sąsiednich. Wielkość tego wypychania zależy przede wszystkim od rozszerzalności danego gazu inertnego, co jest tzw. niekorzystnym efektem ubocznym inertyzacji, i konkretnych uwarunkowań jego zastosowania, związanych z lokalizacją miejsca zagrożenia oraz jego poziomem [10].

Innym niekorzystnym efektem ubocznym inertyzacji jest przyrost objętości gazu inertnego w kontakcie z wysoką temperaturą, np. w przypadku zwalczania pożaru węgla [10]. Przy inertyzacji dwutlenkiem węgla, gdy nie dojdzie do bezpośredniego kontaktu dwutlenku węgla z ogniem, wystąpi dużo większy przyrost objętości podawanej masy dwutlenku węgla, proporcjonalnie do dużo większej różnicy temperatur pomiędzy temperaturą podawanego dwutlenku węgla a otoczeniem miejsca pożaru. Wzrośnie przez to wielkość gazów „wypychanych” ze zrobów. Podobne wielkości wystąpią przy zastosowaniu azotu.

Kolejny niekorzystny efekt może wystąpić, jeśli (z jakichś względów) dojdzie do bezpośredniego kontaktu dwutlenku węgla z rozpalonym węglem [13]. Wystąpi wówczas niebezpieczna w skutkach reakcja



Redukcja dwutlenku węgla zależna jest od temperatury palącego się węgla i w wysokiej temperaturze stężenie tlenku węgla może przekroczyć wartość dolnej granicy wybuchowości, wynoszącej 12,5% CO. W konsekwencji może przyspieszyć proces tworzenia się mieszaniny wybuchowej gazów pożarowych, określanej współczynnikiem Le Chateliere’a [2] według wzoru

$$L = \frac{\text{CH}_4}{5} + \frac{\text{CO}}{13} + \frac{\text{H}_2 + \text{C}_m\text{H}_n}{4} \geq 0,6 \quad (3)$$

pod warunkiem występowania w mieszaninie tlenu w stężeniu określonym zależnością

$$\text{O}_2 \geq (\text{O}_2)_{\min} = \frac{12\text{CH}_4 + 6\text{CO} + (\text{H}_2 + \text{C}_m\text{H}_n)}{\text{CH}_4 + \text{CO} + \text{H}_2 + \text{C}_m\text{H}_n} \quad (4)$$

4. Możliwości kontroli warunków inertyzacji

W przypadku wystąpienia stanu krytycznego inertyzacji może, jak wyżej wspomniano, dojść do znaczącego zmniejszenia zawartości tlenu, a przy inertyzacji dwutlenkiem węgla także do zwiększenia jego zawartości. I chociaż taki stan krytyczny wydaje się bardzo mało prawdopodobny, to nie jest on jednak niemożliwy do zaistnienia. Można sobie bowiem wyobrazić na przykład, że w wyrobisku, w którym znajduje się instalacja (rurociąg, lub wąż pożarniczy) do podawania dwutlenku węgla, dochodzi do opadu skał stropowych (np. na skutek wstrząsu lub obwał) powodującego uszkodzenie tej instalacji i zaburzenie przepływu powietrza (*faza dynamiczna przewietrzania*). Jeśli w prądzie powietrza wypływającego z takiego miejsca brak odpowiednich czujników, to kontrola zawartości tlenu i dwutlenku węgla, a także innych gazów, może być dokonana tylko przez pracownika dysponującego odpowiednimi przyrządami pomiarowymi. Przeprowadzenie pomiarów w takich warunkach może narazić pracownika na niebezpieczeństwo w przypadku, gdy zagrożenie osiągnie poziom nietolerowalny.

Największe (choć na pewno nieduże) prawdopodobieństwo wystąpienia takiego stanu krytycznego inertyzacji występuje w wyrobiskach wykonanych w pokładach zaliczonych do III stopnia zagrożenia tapaniami, w sąsiedztwie których dochodzi do wysokoenergetycznych wstrząsów. Do zapewnienia bezpiecznej kontroli stężeń gazów i wydatku powietrza w takich rejonach można wykorzystać niezbędne do tego celu elementy automatycznej aerometrii górniczej [7].

Automatyczna aerometria górnicza oparta jest na różnorodnych typach czujników i przyrządów pomiarowe oraz systemy monitorowania. Pozwala ona objąć stałą kontrolą zagrożenia metanowe, pożarowe, pyłami szkodliwymi dla zdrowia, klimatyczne (poza pomiarem dla określenia intensywności chłodzenia) oraz gazowo-wentylacyjne. Oznacza to, że z siedmiu zagrożeń aerologicznych automatyczną kontrolą nie są objęte tylko zagrożenia wybuchem pyłu węglowego i radiacyjne naturalnymi substancjami promieniotwórczymi. Pomiary związane z kontrolą tych dwóch zagrożeń oraz z intensywnością chłodzenia różnią się zdecydowanie pod względem metrologicznym od pomiarów pozostałych zagrożeń (m.in. częstotliwością oraz specyfiką ich wykonywania). Z tego też powodu nie znalazły się one dotychczas w polu zainteresowań twórców czujników i przyrządów do automatycznego prowadzenia pomiarów.

Dzięki istniejącym systemom monitorowania w metrologii górniczej uzyskano znaczne rozszerzenie zakresu pomiarów automatycznych, które obejmują:

- gazometrię – pomiar zawartości metanu, tlenku węgla, tlenu, dwutlenku węgla, pomiar ilości ujmowanego metanu, sygnalizację dymu,
- anemometrię – pomiar prędkości powietrza,
- termohigrometrię – pomiar temperatury powietrza i jego wilgotności, pomiar temperatury górotworu,
- barometrię – pomiar ciśnienia barometrycznego, pomiar różnicy ciśnień, pomiar naporu powietrza, pomiar potencjału aerodynamicznego,
- pyłometrię – pomiar zapylenia powietrza kopalnianego.

Dla kontroli bezpiecznych warunków inertyzacji należałoby wykorzystać typowe czujniki z zakresu anemometrii oraz odpowiednie czujniki z zakresu gazometrii, z dosyć licznego zestawu czujników o pomiarze ciągłym (tabl. 3).

Tablica 3

Zestawienie wybranych, najczęściej stosowanych czujników pomiarowych

Segment aerometrii	Mierzony parametr	Nazwa przyrządu	Jednostka pomiaru	Zakres pomiarowy	
G	CH ₄ – metan	CMM-1		0..5/5..100	
		CMW-1		0..5/5..100	
CMN-1		0..5			
A		CMD (M1)		0..5	
		CMD-2 (M2)		0..100	
Z		MCH (M1)		%	0..5
		MCH (M2)			0..100
O		MM-1/V1		0..100	
M		MM-2		0..100	
		MM-2A		0..100	
E	MM-2P	0..100			
	MM-2PW	0..100			
T	CM-10c	0..5/5..100			
	CMW-10c	0..100			
R	CO – tlenek węgla	ACO-4 (CON)	Ppm	0..200	
I		ACO-4B		od 0,02% obj. CO	
		MCO (CON)		0..200	
A		MCO (COW)		0..1000	
		CCO-10c		0..200	

cd. tablicy 3

	O ₂ – tlen	TS-2	%	0..25
		MO2		0..25
		CTL-10c		0..25
	CO ₂ – dwutlenek węgla	ADW-1	%	0..100
ANE- MO- ME- TRIA	Prędkość powietrza	AS-1 (V1)	m/s	-5..5
		AS-2 (V1)		-5..5
		AS-1 (V2)		-10..10
		AS-2 (V2)		-10..10
		AS-1 (V4)		-20..20
		AS-2 (V4)		-20..20
		AS-3 (V3)		0..10

Podkreślić jednak wypada, że systemowa kontrola prowadzonej inertyzacji, dając informację o powstałym zagrożeniu, nie spowoduje ani jego usunięcia, ani też wycofania zagrożonej załogi. Szczególnie ważne jest to, by ewentualne wycofanie załogi nastąpiło odpowiednio wcześniej.

Możliwości szybkiego alarmowania i wycofania załogi mają stale udoskonalane systemy zarządzania bezpieczeństwem zakładu górniczego [9]. Jednym z tego przykładów jest zintegrowany system kompleksowego monitorowania zagrożeń naturalnych SKMB [12], który zbudowano na bazie czterech, połączonych ze sobą sieciami komputerowymi, podsystemów:

- SMP-NT – ciągłego monitorowania stanu środowiska (atmosfery kopalnianej), z funkcjami automatycznych blokad (wyłączania energii) i sygnalizacji pożarowej,
- ARAMIS M – monitorowania zjawisk sejsmicznych, lokalizacji wstrząsów w obrębie kopalni oraz oceną ich energii.
- ARES 5 - kontroli zjawisk sejsmoakustycznych w obrębie wydzielonych małych rejonów (ściana, przodek).
- STAR – ogólnokopalnianej łączności telefonicznej, alarmowania i rozgłaszania komunikatów.

Tak kompleksowo prowadzone monitorowanie umożliwia nadzorowanie bezpieczeństwa ruchu zakładu górniczego, w tym również prowadzenia bezpiecznej inertyzacji, nawet w skrajnie niekorzystnych uwarunkowaniach. Daje bowiem możliwość szybkiego wycofania zagrożonej załogi.

5. Podsumowanie

Zastosowanie inertyzacji na odpowiednio wczesnym etapie rozwoju zagrożenia pożarem endogenicznym przyczynia się do spowolnienia tego procesu, jego zatrzymania, a następnie likwidacji, co pozwala uniknąć strat związanych z ponoszeniem kosztów prowadzenia akcji przeciwpożarowej lub izolacji rejonu i zatrzymania wydobywania.

W czasie inertyzacji azotem lub dwutlenkiem węgla może wystąpić stan awaryjny inertyzacji, powodujący wpływ gazu inertnego do opływowego prądu powietrza, którego skutkiem może być znaczące obniżenie zawartości tlenu i wzrost – przy inertyzacji dwutlenkiem węgla – zawartości CO₂ w wyrobisku (wyrobiskach).

W szczególnie trudnych uwarunkowaniach prowadzenia inertyzacji może dojść do stanu krytycznego, spowodowanego stanem awaryjnym inertyzacji i stanem awaryjnym przewietrzania (znaczące obniżenie wydatku powietrza w wyrobisku) skutkujące nietolerowalnym poziomem zagrożenia wentylacyjno-gazowego.

Bezpieczeństwo prowadzenia inertyzacji zależy od wielu czynników, z których warunki przewietrzania, świadomość skutków ubocznych inertyzacji i przewidywanie możliwości ich wystąpienia są szczególnie ważne.

Pożądanym elementem bezpiecznego prowadzenia inertyzacji jest też kontrola wyrobisk i rejonu objętego profilaktyką systemowego monitorowania z zakresu automatycznej aerometrii górniczej umożliwiającym szybkie wycofanie zagrożonej załogi.

LITERATURA

1. Bradecki W., Matuszewski K., Nowak H.: Zastosowanie azotu w stanie gazowym do zwalczania somozapalności węgla w zrobach ścian w KWK „Sośnica”. *Przegląd Górniczy* 1987, nr 7-8.
2. Bystron H., Jaroń S., Kołodziejczyk B., Markefka P., Strumiński A.: *Požary podziemne. Poradnik Górnika T. 3, Dz. III. Wyd. „Śląsk”, Katowice 1974.*
3. Kajdasz Z., Buchwald P.: Inertyzacja z wykorzystaniem azotu. *Ratownictwo Górnicze* 1998, nr 3.
4. Matuszewski K.: Inertyzacja atmosfery kopalnianej azotem w profilaktyce przeciwpożarowej oraz przy zwalczaniu pożarów podziemnych. *Wiadomości Górnicze* 1991, nr 3.
5. Rozporządzenie Ministra Gospodarki 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.*

6. Tor A., Jakubów A., Ośliżło M., Szymik J., Zieleźnik J.: Doświadczenia w inertyzacji z zastosowaniem dwutlenku węgla do zwalczania zagrożenia pożarowego w kopalniach Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej Zakopane, 12-15 października 2004 r., Wyd. CEiAG EMAG, Katowice 2004.
7. Trenczek S.: Automatyczna aerometria górnicza dla kontroli zagrożeń aerologicznych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2005, nr 3.
8. Trenczek S., Bednarek M., Mazurek B.: Neutralizacja mieszaniny gazów wybuchowych dwutlenkiem węgla. Wiadomości Górnicze 1998, nr 10.
9. Trenczek S., Wojtas P.: Rozwój pomiaroznawstwa stosowanego od pomiarów wskaźnikowych do monitorowania i nadzorowania bezpieczeństwa. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Seria: Studia i Materiały – nr 32, Wrocław 2006.
10. Trenczek S.: Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa oraz skuteczności inertyzacji azotem i dwutlenkiem węgla. Przegląd Górniczy 2006, nr 9.
11. Walters S. F.: The Use of Carbon Dioxide. Mines and Minerals, June 1908. Za: [6].
12. Wasilewski S., Isakow Z., Krzystanek Z.: Monitorowanie zagrożeń naturalnych w polskich kopalniach głębinowych. Referat wygłoszony na I Seminarium Zintegrowanego Instytutu Naukowo-Technologicznego, Centrum EMAG, Katowice, 26 października 2005 r., niepublikowany.
13. Wilczkowski S.: Środki gaśnicze. Wyd. SAPSP, Kraków 1995.
14. Zasady prowadzenia akcji ratowniczych i prac profilaktycznych z wykorzystaniem gazów inertnych – wydane przez Centralną Stację Ratownictwa Górniczego. Bytom, lipiec 2002 r. (aktualizacja - lipiec 2003).

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