

Propozycja nowych wskaźników oceny występowania gazów palnych w otworach badawczych w polskich kopalniach rud miedzi

Maciej Nowysz¹⁾, Wojciech Kulik¹⁾

¹⁾ KGHM CUPRUM sp. z o.o. – Centrum Badawczo-Rozwojowe, Wrocław
m.nowysz@cuprum.wroc.pl, w.kulik@cuprum.wroc.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono propozycję oceny stopnia zagrożenia wybuchowego, związanego z obecnością gazów palnych w niektórych otworach badawczych i badawczo wyprzedzających, wierconych w wyrobiskach kopalń rud miedzi LGOM. Do oceny przedmiotowego zagrożenia wykorzystano nowe wskaźniki, charakteryzujące poziom zagrożenia gazami palnymi w danym otworze lub w sąsiedztwie tego otworu oraz uśredniony poziom występień gazów palnych w otworach wykonanych w danym obszarze (sekcji) kopalni. Zamiarem autorów było opracowanie prostej metody wskaźnikowej, umożliwiającej szybką ocenę rozpatrywanego zagrożenia w praktyce kopalnianej.

Słowa kluczowe: gazy palne, otwory badawcze i badawczo wyprzedzające, zagrożenie wybuchowe, metoda wskaźnikowa

The proposal of new evaluation indexes of inflammable gases occurrence in research drill holes in Polish copper mines

Abstract

The proposal of explosive hazard evaluation connected with occurrence of inflammable gases in some research and protection drill holes in Polish copper mines is presented in the paper. New evaluation indexes which describe the level of explosive hazard in particular drill hole or drilling cavity and averaged level of occurrence of inflammable gases in drill holes in given area (section) of mine were used. Authors' aim was to develop a simply method based on index analysis which enables quick explosive hazard evaluation.

Key words: inflammable gases, research and protection drill holes, explosive hazard, index analysis

Wprowadzenie

Na podstawie dotychczas przeprowadzonych badań można mówić o nieregularnym i lokalnym występowaniu gazów w górotworze kopalń rud miedzi LGOM. Objawy gazowe, stwierdzone w dołowych otworach badawczych i badawczo wyprzedzających, są z reguły trudne do przewidzenia. Obecność gazu w górotworze zależy od odpowiednich czynników strukturalnych, własności kolektorsko-filtracyjnych skał, a także warunków hydrochemicznych. Istotnym elementem, sprzyjającym ewentual-

nym nagromadzeniem gazu, jest zaleganie, w przeważającej części Obszaru Górniczego „Sieroszowice”, a także w północno-zachodniej części OG „Rudna”, w stropie utworów węglanowych, nieprzepuszczalnego dla gazów, pokładu soli kamiennej. Jego powierzchnia spągowa jest bardzo nieregularna, pofałdowana i zdeformowana miejscami przez uskoki. Wypiętrzenia powierzchni spągowej pokładu soli w postaci przegubów antyklinarnych mogą stanowić uprzywilejowane strefy (niekiedy określane mianem pułapek) dla koncentracji gazów migrujących w górotworze.

Do najczęściej stwierdzanych gazów w otworach dołowych kopalń LGOM, a także w wyniku analizy degazacji rdzeni skalnych, pobranych w trakcie wiercenia tych otworów, należą: metan (CH_4) i inne węglowodory nasycone z grupy parafin, takie jak: etan (C_2H_6), propan (C_3H_8), butan (C_4H_{10}), pentan (C_5H_{12}) oraz wodór (H_2), siarkowodór (H_2S), niepalne i niewybuchowe: azot (N_2), tlen (O_2) oraz dwutlenek węgla (CO_2) – zazwyczaj w stężeniach niestanowiących zagrożenia dla zdrowia. Sporadycznie, w śladowych ilościach mogą występować również: dwutlenek siarki (SO_2), tlenek węgla (CO), tlenki azotu (NO) oraz inne gazy (np. merkaptany).

Wśród gazów palnych odnotowanych w otworach przeważa metan, którego zawartości w niektórych otworach wynosiły nawet do kilkudziesięciu procent udziału objętościowego. Najczęściej jednak, stężenia CH_4 wraz z innymi węglowodorami kształtują się w zakresie poniżej 1 procenta.

W większości przypadków, wobec braku wypływu lub przy małym wypływie gazu z otworu, objawy gazowe nie stwarzają bezpośredniego zagrożenia dla wyrobisk górniczych. W razie występowania gazu w otworze pod zwiększonym ciśnieniem odpowiednie służby kopalniane przeprowadzają kontrolowane odgazowanie otworu, a miejsce jego odwiercenia (najczęściej wnętrza wiertnicza) jest intensywniej przewietrzane. W związku z tym, w wolnych przekrojach wyrobisk stwierdzane były co najwyżej śladowe, najczęściej nieprzekraczające tysięcznych części procenta stężenia metanu [1, 2, 4].

1. Wskaźniki

Dla ułatwienia jednoznacznej identyfikacji otworów dołowych, obszary górnicze kopalń LGOM podzielono umownie na tzw. sekcje. Nazwa danej sekcji występuje w oznaczeniu otworów odwierconych z tej sekcji. Dla przykładu, oznaczenia: G-1(Jm-20) oraz G-1(Ra-10) określają dwa różne otwory G-1, z których pierwszy odwiercono w sekcji Jm-20, zaś drugi w sekcji Ra-10.

Zazwyczaj, zarówno ilość wszystkich odwierconych otworów dołowych, jak i liczba otworów ze stwierdzonymi gazami palnymi są różne w poszczególnych sekcjach kopalni. Ponadto, mieszaniny gazów w otworach mogą być bardzo zróżnicowane zarówno co do składu chemicznego, jak i stężeń poszczególnych składników wybuchowych. W tej sytuacji, dla dokonywania bieżącej oceny stanu zagrożenia wybuchowego, jak również porównania poszczególnych sekcji w aspekcie wystąpień gazów palnych, a także w celu uchwycenia ewentualnych trendów, umożliwiających predykcję zagrożenia dla projektowanych robót górniczych, wygodnie jest operować odpowiednimi wskaźnikami. Uwzględniając powyższe, proponuje się niżej wymienione wskaźniki, wspomagające dokonywanie oceny aktualnego stanu i prognozę zagrożenia gazami wybuchowymi, w odniesieniu do pojedynczych otworów, jak i do wszystkich otworów w danym rejonie (np. sekcji) kopalni.

1. Wskaźnik WG_1 , charakteryzujący poziom zagrożenia gazami palnymi w danym otworze lub w sąsiedztwie otworu (np. we wnętrzu wiertniczej), wyznaczany z zależności:

$$WG_1 = \sum_i C_i \cdot w_i \quad (1)$$

w której:

C_i – stężenie objętościowe i-tego palnego składnika mieszaniny gazów w otworze, %
 w_i – miara (waga) określająca stopień zagrożenia gazowego, związanego z obecnością w mieszaninie i-tego składnika palnego, wyznaczona na podstawie wartości dolnej granicy wybuchowości tego składnika.

Wartość w_i oblicza się z zależności:

$$w_i = \frac{\frac{1}{DGW_i}}{\sum_i \frac{1}{DGW_i}} \quad (2)$$

w której:

DGW_i – oznacza dolną granicę wybuchowości i-tego palnego składnika mieszaniny, %.

Z zależności (2) wynika, że:

$$\sum_i w_i = 1 \quad (3)$$

2. Wskaźnik WG_2 , charakteryzujący uśredniony poziom występowania gazów palnych w otworach danej sekcji, wyznaczany z zależności:

$$WG_2 = \overline{WG_1} \cdot n \quad (4)$$

w której:

$\overline{WG_1}$ – wartość średnia wskaźnika WG_1 dla wszystkich otworów w danej sekcji kopalni, %

n – częstość występowania gazów palnych w otworach dołowych w danej sekcji kopalni:

$$n = \frac{n_G}{N} \quad (5)$$

gdzie:

n_G – liczba otworów, w których stwierdzono gazy palne,

N – liczba wszystkich badanych otworów w danej sekcji.

Wartości wskaźnika WG_2 mogą być pomocne przy porównywaniu sekcji kopalni pod kątem zagrożenia gazami palnymi w otworach dołowych, jak również wyznaczania trendu i prognozy zagrożenia wybuchowego w nowych, udostępnianych robotami górniczymi, obszarach (sekcjach) kopalni.

Dolne granice wybuchowości oraz wyznaczone na ich podstawie wartości miary zagrożenia wybuchem dla gazów palnych, stwierdzanych w otworach kopalń LGOM, zestawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Gazy palne stwierdzane w otworach dołowych kopalń LGOM wraz z granicami wybuchowości i miarami zagrożenia wybuchem

GAZY PALNE		DOLNA GRANICA WYBUCHOWOŚCI DGW	MIARA ZAGROŻENIA WYBUCHEM W_i
		% gazu palnego	-
metan	CH ₄	5,00	0,070
etan	C ₂ H ₆	3,00	0,116
propan	C ₃ H ₈	2,12	0,164
butan	C ₄ H ₁₀	1,86	0,187
pentan	C ₅ H ₁₂	1,30	0,267
wodór	H ₂	4,00	0,087
tlenek węgla	CO	12,50	0,028
siarkowodór	H ₂ S	4,30	0,081

Po uwzględnieniu we wzorze (1) wartości miar w_i otrzymujemy:

$$WG_1 = 0,070 CH_4 + 0,116 C_2H_6 + 0,164 C_3H_8 + 0,187 C_4H_{10} + 0,267 C_5H_{12} + 0,087 H_2 + 0,028 CO + 0,081 H_2S, \% \quad (6)$$

Poszczególne składniki sumy we wzorze (6) przyjmują dla dolnej granicy wybuchowości odpowiedniego składnika wartości 0,35%. W przypadku obecności w otworze tylko jednego gazu palnego, w stężeniu odpowiadającym jego dolnej granicy wybuchowości, wskaźnik WG_1 będzie więc równy 0,35%.

Wobec powyższego, proponuje się następujące kategorie zagrożenia wybuchowego, odniesione do wartości wskaźnika WG_1 :

- kategoria A (istnieje realne zagrożenie wybuchem): $WG_1 \geq 0,3\%$,
- kategoria B (brak realnego zagrożenia wybuchem): $WG_1 < 0,3\%$.

Przy czym kategoria A (istnieje realne zagrożenie wybuchem) oznacza, że mieszanina gazów w otworze jest wybuchowa lub niebezpieczna, tzn. może stać się wybuchowa po zmieszaniu z powietrzem. Aby roztwór gazów palnych był wybuchowy, musi zawierać określoną, minimalną ilość tlenu. W przestrzeni wyrobiska górniczego dochodzi do wzbogacenia w tlen mieszaniny gazów wypływających z otworu, dlatego też roztwory gazów ubogie w tlen, lecz o wystarczającej zawartości składników palnych, również stwarzają realne zagrożenie wybuchowe.

Przykład 1

W sekcji X-01 przeprowadzono badania 34 otworów badawczo wyprzedzających, odwierconych z wyrobisk chodnikowych, m.in. w celu rozpoznania gazowego części górotworu przewidzianej do eksploatacji. Badania polegały na pobraniu co najmniej dwóch prób z każdego otworu oraz chromatograficznej analizie składu gazu w pobranych próbach. W próbach pobranych z trzech otworów: G-1 (X-01), G-2 (X-01), G-3 (X-01) stwierdzono występowanie gazów palnych. W tabeli 2 zestawiono stężenia gazów wybuchowych w próbach, dla których wartość wskaźnika WG_1 jest największa.

Tabela 2. Zawartości gazów palnych w próbach gazu pobranych z otworów G-1 (X-01), G-2 (X-01), G-3 (X-01)

OTWÓR	ZAWARTOŚĆ SKŁADNIKA w % obj.								WG_1 % obj.
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	H ₂	CO	H ₂ S	
G-1	10,500	1,105	0,750	0,250	0,100	2,200	0,000	0,000	1,251
G-2	4,000	0,215	0,095	0,075	0,000	0,097	0,000	0,000	0,343
G-3	0,400	0,200	0,090	0,070	0,000	0,050	0,000	0,000	0,086
Suma WG_1 =									1,680

Na podstawie wartości wskaźnika WG_1 , mieszaniny gazów stwierdzone w otworach G-1 (X-01) i G-2 (X-01) należy uznać za niebezpieczne, stwarzające realne zagrożenie wybuchem – $WG_1 > 0,3\%$.

Średnia wartość wskaźnika WG_1 dla sekcji X-01 wynosi:

$$\bar{WG}_1 = \frac{\sum WG_1}{34} = \frac{1,680}{34} = 0,049\%$$

Wartość wskaźnika WG_2 dla sekcji X-01 wynosi:

$$\bar{WG}_2 = 0,0494 \cdot \frac{3}{34} = 0,0044\%$$

Przykład 2

W sekcji X-02 przebadano pod kątem zawartości gazów 34 otwory badawcze. W próbach pobranych z 17 otworów stwierdzono występowanie gazów palnych. W tabeli 3 zestawiono stężenia gazów wybuchowych w próbach, dla których wartość wskaźnika WG_1 jest największa.

Tabela 3. Zawartości gazów palnych w próbach gazu pobranych z otworów sekcji X-02

OTWÓR	ZAWARTOŚĆ SKŁADNIKA w % obj.								WG ₁
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	H ₂	CO	H ₂ S	% obj.
H-1	3,250	0,170	0,105	0,076	0,004	0,380	0,000	0,000	0,313
H-2	4,000	0,215	0,121	0,095	0,009	0,400	0,000	0,000	0,380
H-3	3,020	0,145	0,100	0,060	0,003	0,370	0,000	0,000	0,289
H-4	1,849	0,132	0,084	0,027	0,002	0,043	0,000	0,000	0,168
H-5	1,594	0,124	0,076	0,015	0,001	0,066	0,000	0,000	0,147
H-6	1,203	0,080	0,057	0,011	0,001	0,052	0,000	0,000	0,110
H-7	0,945	0,024	0,013	0,002	0,000	0,038	0,000	0,000	0,075
H-8	0,840	0,022	0,006	0,002	0,000	0,028	0,000	0,000	0,065
H-9	0,656	0,013	0,002	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,049
H-10	0,400	0,010	0,002	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,030
H-11	0,329	0,002	0,001	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000	0,024
H-12	0,250	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018
H-13	0,145	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010
H-14	0,018	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
H-15	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
H-16	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H-17	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Suma WG₁ =								1,680	

Na podstawie wartości wskaźnika WG_1 , mieszaniny gazów stwierdzone w otworach H-1 (X-02) i H-2 (X-02) należy uznać za niebezpieczne, stwarzające realne zagrożenie wybuchem – $WG_1 > 0,3\%$. Z kolei, mieszaniny gazów stwierdzone w pozostałych otworach sekcji X-02 można uznać za nie wybuchowe – $WG_1 < 0,3\%$.

Średnia wartość wskaźnika WG_1 dla sekcji X-02 wynosi:

$$\overline{WG_1} = \frac{\sum WG_1}{34} = \frac{1,680}{34} = 0,049\%$$

Zatem wartość wskaźnika WG_2 dla sekcji X-02 wynosi:

$$\overline{WG_2} = 0,049 \cdot \frac{17}{34} = 0,0245\%$$

2. Analiza występowania gazów palnych w otworach, w aspekcie zagrożenia wybuchowego w rozpatrywanych, przykładowych sekcjach X-01 i X-02

W sekcji X-01 obecność gazów palnych stwierdzono w trzech otworach, przy czym realne zagrożenie wybuchem stanowiły mieszaniny gazów w dwóch otworach: G-1 ($WG_1 = 1,251\% > 0,3\%$) oraz G-2 ($WG_1 = 0,343\% > 0,3\%$). W otworze G-3 stężenia gazów palnych były za małe, by doszło do wybuchu (wskaźnik WG_1 dla otworu G-3 mniejszy od 0,3%). W pozostałych 31 otworach sekcji X-01 nie wystąpiły gazy palne.

W sekcji X-02 gazy palne wystąpiły w siedemnastu otworach. Podobnie jak w sekcji X-01, realne zagrożenie wybuchem stanowiły mieszaniny gazów w dwóch otworach: H-1 ($WG_1 = 0,313\% > 0,3\%$) oraz H-2 ($WG_1 = 0,380\% > 0,3\%$). W pozostałych 15 otworach sekcji X-02 stężenia gazów palnych były za małe, by doszło do wybuchu.

W przykładzie 2 zawartości gazów w otworach celowo dobrano tak, aby średnia wartość wskaźnika WG_1 dla otworów w sekcji X-02 była równa średniej wartości wskaźnika WG_1 dla otworów w sekcji X-01 ($\overline{WG_1} = 0,049\%$).

Porównując i oceniając objawy gazowe w obu sekcjach, można stwierdzić, że:

- zarówno w sekcji X-01, jak i X-02 realne zagrożenie wybuchem wystąpiło w przypadku dwóch otworów. Największe zawartości gazów palnych odnotowano w otworze G-1(X-01), dla którego $WG_1 = 1,251\%$;
- w sytuacji wydzielania się gazów z otworów, największe zagrożenie wybuchem w przestrzeni wyrobiska górniczego stwarzałaby, przy założeniu porównywalnych poziomów wypływu, najbogatsza w składniki palne, mieszanina gazów występująca w otworze G-1(X-01). Ewentualne rozrzedzenie w powietrzu kopalnianym tej mieszaniny, w celu pozbawienia jej własności wybuchowych, wymagałoby większych ilości powietrza niż w przypadku otworów gazów palnych stwierdzanych w pozostałych otworach obu rozpatrywanych sekcji;
- częstość objawów gazowych w sekcji X-02 była ponad pięciokrotnie większa niż w sekcji X-01, w związku z czym prawdopodobieństwo wystąpienia gazów palnych w otworach sekcji X-02 jest tyleż razy większe niż w otworach sekcji X-01. Przy równych wartościach średnich wskaźników WG_1 w obu sekcjach, powyższe przekłada się na ponad pięciokrotnie większą wartość wskaźnika WG_2 w sekcji X-02.

Podsumowanie

Zastosowanie proponowanych w niniejszym artykule wskaźników występowania gazów palnych w otworach badawczych kopalń rud miedzi może być pomocne przy bieżącej ocenie zagrożenia wybuchowego w otworach oraz w wyrobiskach, w których może dojść do gromadzenia się gazów z otworów (np. w słabo przewietrzanych wnękach wiertniczych). Przedmiotowe wskaźniki można również wykorzystać w celach analizy i porównywania wielkości objawów gazowych w poszczególnych obszarach (sekcjach) kopalni, a także wyznaczania tendencji rozwojowych, wspomagających prognozowanie zagrożenia gazowego, zwłaszcza „na przedpolu” prowadzonej eksploatacji górniczej.

Istotną zaletą zaproponowanej wskaźnikowej metody oceny zagrożenia wybuchowego jest prosty sposób obliczeń, co powinno ułatwić jej praktyczne zastosowanie przez odpowiednie służby kopalniane, zajmujące się rozpatrywaną problematyką.

Bibliografia

- [1] Gajosiński S., Nowysz M., Kulik W., Kondratowicz G., Fidos A., 2014, Badania stanu zagrożenia gazowego w kopalniach rud miedzi w kontekście parametrycznej oceny dynamiki zmian zagrożenia w czasie. KGHM CUPRUM sp. z o.o. – CBR, Wrocław.
- [2] Kondratowicz G. i inni, 2014, Coroczne sprawozdania z badań kontrolnych i oceny stanu zagrożenia metanowego w Oddziale ZG „Rudna”. Prace wykonane przez KGHM CUPRUM sp. z o.o. – CBR w latach 2008-2014, Wrocław.
- [3] Kozłowski B., 1982, Gazy kopalniane – kontrola, prognoza, zwalczanie, Wydawnictwo Śląsk, Katowice.
- [4] Nowysz M. i inni, 2014, Coroczne sprawozdania z badań kontrolnych i oceny stanu zagrożenia metanowego w Oddziale ZG „Polkowice-Sieroszowice”, prace wykonane przez KGHM CUPRUM sp. z o.o. – CBR w latach 2008-2014, Wrocław.