



Ocena stanu zagrożenia pożarowego w odniesieniu do rozrzedzenia gazów wydzielających się podczas utleniania węgla w zrobach ściany

The fire hazard assessment in relation to the dilution of gases emitted during coal oxidation in the longwall goafs

Stanisław Słowik*)

Treść: W artykule przedstawiono jak na interpretację stanu zagrożenia pożarowego, opierającą się o skład chemiczny próbki gazowej wpływa mieszanie się gazów wydzielanych z zagrzanego węgla z gazami wypełniającymi przestrzeń zawałową ściany, czyli tzw. gazami zrobowymi. W rozważaniach uwzględniono stopień zgrzania węgla i wydzielane w danej temperaturze gazy. Wzięto przy tym pod uwagę odległość miejsca zgrzania od miejsca pobierania próbki kontrolnej, określając ją przez wielkość rozcieńczenia gazów pochodzących z zagrzanego węgla. W analizie wykorzystano wyniki uzyskane z badań niskotemperaturowego wygrzewania próbek węgla oraz wyniki badań chromatograficznych próbek gazowych pobieranych ze zrobów ścian. Przeprowadzona analiza wykazała, że ognisko zgrzania węgla o niższej temperaturze, ale usytuowane bliżej miejsca poboru próbki oraz ognisko usytuowane w głębi zrobów, ale o wyższej temperaturze, sygnalizują podobny stan zagrożenia pożarowego. W związku z tym zaproponowano, aby interpretacja stanu zagrożenia pożarowego w oparciu o temperaturę zagrzanego węgla podawała wyznaczoną temperaturę jako wartość pozorną (quasi-temperaturę), określającą wypadkowy stan tego zagrożenia.

Abstract: The article presents how the interpretation of the fire hazard, based on the chemical composition of the gas sample, is influenced by the mixing of gases emitted from the heated coal with the gases filling the longwall collapse space i.e. so-called goaf gases. The considerations take into account the temperature of heating of the coal and the gases emitted at a given temperature. The distance between the place of heating the coal and the control sample collection point was also taken into consideration and determined by the amount of dilution of gases from the heated coal. In the analysis, the results obtained from low-temperature heating of coal samples and the results of chromatographic tests of gas samples taken from the longwall goafs were used. The analysis showed that that the source of heating coal with a lower temperature, but located closer to the sampling point, and the source of heating coal located deep in the longwall goaf, but with a higher temperature, indicate a similar state of fire hazard. Therefore, it was proposed that the interpretation of the fire hazard state based on the temperature of the heated coal should give the determined temperature as an apparent value, defining the resultant state of this hazard.

Słowa kluczowe:

zagrożenie pożarowe, skład gazów zrobowych, mieszanie się gazów, temperatura zagrzanego węgla

Keywords:

fire hazard, composition of goaf gases, mixing of gases, temperature of heated coal

1. Wprowadzenie

W zrobach ściany, kiedy dochodzi do samozagrania się węgla, powstające gazy migrują w kierunku niższego ciśnienia, czyli ujścia. Zazwyczaj jest to wylot powietrza ze ściany. W takich miejscach znajdują się stacje pomiarowe, gdzie pobiera się próbki powietrza w celu określenia jego składu. Stacje pomiarowe dla powietrza wypływającego ze zrobów lokalizuje się przy zrobach w chodniku wentylacyjnym (Rozporządzenie ...2016). Analiza składu pobieranych próbek gazowych jest podstawą do określenia stopnia samozagrania się węgla, czyli stanu zagrożenia pożarowego. Pomocne są w tym wskaźniki pożarowe. Podstawowym wskaźnikiem, który służy do interpretacji stanu zagrożenia pożarowego jest wskaźnik Grahama (Rozporządzenie ...2016). Jednak są też stosowane inne metody, jak metoda gazów istotnych Trenczka, Bystronia (*F*) (Trenczek 2003), metody wskaźników Younga (*Y*), metoda wskaźników Willetta (*W*), (Mackenzie-Wood,

Strang 1990, Strumiński 1987), czy metoda Słowika (*WSS*) (Słowik 2020).

Podstawą metod interpretacji stanu zagrożenia pożarowego są gazy powstające w wyniku procesu utleniania węgla (Cygankiewicz 2003). Gazy te mieszają się z gazami zrobowymi, dlatego należy przyjąć jako oczywiste, że wraz ze wzrostem odległości mierzzonej od miejsca zgrzania do punktu poboru próbki gazowej następuje coraz większe ich rozrzedzenie. Wpływa to na wielkość stężeń gazów w pobranej próbce powietrza. Przy czym stężenia gazów w takiej sytuacji zależą będą nie tylko od temperatury zagrzanego węgla, ale też od składu gazów zrobowych i odległości miejsca zgrzania od miejsca poboru próbki.

Ponieważ jest to problem ważny z punktu widzenia interpretacji zagrożenia pożarowego, dlatego przeprowadzono analizę wpływu mieszania się gazów pochodzących z zagrzanego węgla z gazami zrobowymi na skład próbki powietrza, na podstawie której określa się stan zagrożenia pożarowego. Na potrzeby analizy:

- wykonano model gazów wydzielanych z zagrzanego węgla w zrobach ściany;

*) Główny Instytut Górnictwa w Katowicach

- wykonano model gazów zrobowych uwzględniający zmianę stężeń gazów w zależności od odległości źródła zagrzanego od linii zawału ściany;
- określono warunki mieszania się gazów pochodzących z zagrzanego węgla z powietrzem zrobowym;
- określono model mieszania się gazów zagrzanego węgla z powietrzem zrobowym w przedziale temperatury 50 do 350 °C.

2. Model gazów wydzielających się z węgla w miejscu zagrzanego

Przy sporządzaniu modelu przyjęto założenie, że stężenia gazów w miejscu zagrzanego będą odpowiadać wynikom uzyskanym z niskotemperaturowego wygrzewania próbki węgla w warunkach laboratoryjnych. Wykorzystano osiem różnych przypadków wygrzewania węgla w temperaturze 50 do 350 °C z krokiem 25 lub 50 stopni. Sporządzono z nich model, który reprezentuje średnie wartości stężeń gazów dla danej temperatury (tabela 1).

3. Model gazów zrobowych uwzględniający zmianę stężeń w zależności od odległości do linii zawału ściany

Zagrzenie węgla w zrobach rozpoczyna się w momencie, gdy węgiel dostanie się do zawału. Z postępem ściany zagrzanego węgiel przesuwa się w głąb zrobów, wraz z tym zmienia się skład powietrza zrobowego.

Opracowując model gazów zrobowych posłużono się analizą statystyczną próbek gazowych pobranych ze zrobów bezpośrednio za ścianą jak i z głębokiego zawału. Wykorzystano też badania atmosfery zrobów ścian zawałowych (Arszczuk i in. 2013, Dziurzyński, Wasilewski 2012) i spostrzeżenia jakie nasunęły się podczas prowadzenia analizy wiarygodności wskaźnika Grahama (Słowik, Świerczek 2015).

Można przyjąć, że na wylocie ściany w odległości około 7–10 metrów w głąb zrobów, stężenie tlenu spada do poziomu

około 16% (Dziurzyński, Wasilewski 2012). Również można przyjąć, że zasadnicze zagrzenie węgla w zrobach umiejscawia się na głębokości powyżej 7–10 metrów, czyli gazy powstałe z zagrzanego węgla będą mieszać się głównie z powietrzem zrobowym będącym w głębszej strefie.

Analiza statystyki opisowej 251-elementowej próby gazów zrobowych pobranych z zawału bezpośrednio za wyrobiskiem ścianowym pozwoliła określić średnie stężenie tlenu w tej strefie jako równe 19,1% przy odchyleniu standardowym 2,3% i medianę równą 19,7%. Natomiast w przypadku próby gazów zrobowych pobranych z głębszej strefy zawału (o liczności 242 elementów) średnie stężenie tlenu wyniosło 16,3% przy odchyleniu standardowym 2,0%, zaś mediana wyniosła 16,8%. W oparciu o to sporządzono dwa graniczne profile składu gazów zrobowych. Pierwszy, dla strefy styku zawału z wyrobiskiem ścianowym i przyjęto, że w tym miejscu stężenie tlenu będzie najwyższe, zaś gazów istotnych najniższe oraz temperatura zagrzanego węgla nie będzie przekraczać 50 °C. Drugi profil sporządzono dla strefy głębokiego zawału i przyjęto, że powietrze z tej strefy będzie rozrzedzać większość gazów wydzielanych z zagrzanego węgla. Po analizie stężeń gazów, szczególnie tlenu, zawartych w gazach pobieranych podczas wygrzewania węgla (tabela 1) przyjęto, że będzie on dotyczyć zagrzanego węgla o temperaturze 175 °C i wyższej.

Ponieważ w modelu gazów wydzielanych z zagrzanego węgla pomiędzy temperaturą 50 °C a 175 °C występują temperatury pośrednie, tj. 75 °C, 100 °C, 125 °C, 150 °C, przyjęto, że skład gazów zrobowych użytych do rozrzedzenia gazów wydzielanych dla tych punktów temperatury będzie ustalony przez aproksymację liniową biorąc za podstawę stężenie tlenu.

W przedstawiony sposób opracowano model gazów zrobowych (tabela 2), który wykorzystano do mieszania z gazami powstającymi podczas wygrzewania węgla w danej temperaturze (tabela 1). Tabela 2 została tak skonstruowana, aby pozycja w modelu gazów zrobowych była powiązana z tą samą pozycją w modelu gazów wydzielanych z zagrzanego węgla.

Tabela 1. Model gazów wydzielanych z zagrzanego węgla
Table 1. Model of gases emitted from heated coal

l.p.	Temperatura wygrzewania węgla, t	Skład gazów wydzielanych podczas wygrzewania								
		C ₂ H ₄ Etylen	C ₃ H ₆ Propylen	C ₂ H ₂ Acetylen	CO	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	H ₂
-	°C	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	ppm
1	50	0,05	0,02	0,002	49	18,95	80,52	0,50	0,03	4
2	75	0,11	0,09	0,002	78	18,84	80,75	0,36	0,04	5
3	100	0,23	0,21	0,003	137	18,80	81,04	0,08	0,07	8
4	125	1,10	0,73	0,004	573	17,46	82,05	0,24	0,18	12
5	150	3,31	2,24	0,010	936	16,20	83,14	0,44	0,11	25
6	175	13,23	7,07	0,038	3697	12,33	85,73	1,45	0,10	53
7	200	28,25	19,51	0,083	8273	8,33	88,52	2,24	0,06	73
8	250	86,15	56,20	0,287	23029	1,94	89,81	5,86	0,05	79
9	300	126,09	75,61	0,504	36117	1,08	84,99	10,24	0,05	91
10	350	168,39	138,88	0,425	46546	0,90	79,86	14,34	0,14	161

Tabela 2. Model gazów zrobowych wykorzystany do mieszania z gazami wydzielającymi się podczas wygrzewania w danej temperaturze
Table 2. The model of goaf gases used for mixing with the gases emitted during heating at a given temperature

l.p.	C ₂ H ₄ Etylen	C ₃ H ₆ Propylen	C ₂ H ₂ Acetylen	CO	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	H ₂
-	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	ppm
1	0,05	0,04	0,004	17	19,41	78,11	0,52	1,95	3
2	0,05	0,04	0,004	18	19,37	78,12	0,54	1,96	3
3	0,06	0,04	0,004	21	19,10	78,19	0,65	2,06	4
4	0,10	0,07	0,004	35	18,05	78,44	1,06	2,44	6
5	0,14	0,09	0,004	50	16,92	78,71	1,51	2,84	8
6	0,15	0,10	0,005	54	16,55	78,81	1,65	2,98	8
7	0,15	0,10	0,005	54	16,55	78,81	1,65	2,98	8
8	0,15	0,10	0,005	54	16,55	78,81	1,65	2,98	8
9	0,15	0,10	0,005	54	16,55	78,81	1,65	2,98	8
10	0,15	0,10	0,005	54	16,55	78,81	1,65	2,98	8

4. Sposób mieszania się gazów wydzielanych z zagrzanego węgla z powietrzem zrobowym

W wyniku zagrzenia węgla w zrobach wydziela się strumień gazów, które migrują do miejsca ujścia. W tym samym kierunku migrują również gazy zrobowe. Miejscem ujścia w naszym przypadku jest miejsce pobrania próbki do badań pod kątem zagrożenia pożarowego i można przyjąć, że umiejscowione jest ono na linii zawału, na wylocie ściany (Rozporządzenie ... 2016).

Podczas przepływu gazów do punktu pomiarowego strumień gazów powstałych z zagrzanego węgla V_{zag} łączy się ze strumieniem gazów zrobowych V_{zr} , w wyniku tego następuje ich wymieszanie się. Przyjmując, że w objętości gazów zrobowych V_{zr} stężenie danego czynnika wynosi c_{zr} , zaś w objętości gazów pochodzących z zagrzanego węgla V_{zag} stężenie tego czynnika wynosi c_{zag} , to w wyniku zmieszania obu tych objętości otrzymamy sumaryczną objętość $V = (V_{zr} + V_{zag})$, w której stężenie danego czynnika jest równe c . Możemy więc napisać:

$$c_{zr} \cdot V_{zr} + c_{zag} \cdot V_{zag} = c(V_{zr} + V_{zag}) \quad (1)$$

Z powyższego możemy wyznaczyć stężenie interesującego nas czynnika po wymieszaniu się obu strumieni, będzie ono równe:

$$c = \frac{c_{zr} \cdot V_{zr} + c_{zag} \cdot V_{zag}}{V_{zr} + V_{zag}} \quad (2)$$

Można zauważyć, że jeżeli ilość gazów płynąca z miejsca zagrzenia zostanie wyrażona jako część gazów zrobowych, z którą się miesza ($V_{zag} = nV_{zr}$), to otrzymamy następującą zależność:

$$c = \frac{c_{zr} \cdot V_{zr} + c_{zag} \cdot nV_{zr}}{V_{zr} + nV_{zr}} \quad (3)$$

Upraszczając ją, otrzymamy wzór na stężenie gazu po wymieszaniu się obu strumieni, czyli na stężenie gazu w próbce powietrza pobieranej do analizy pod kątem zagrożenia pożarowego:

$$c = \frac{c_{zr} + nc_{zag}}{1 + n} \quad (4)$$

Wykorzystując zależność (4) przeprowadzono analizę wpływu mieszania się gazów zrobowych z gazami powstałymi z zagrzanego węgla na interpretację zagrożenia pożarowego. Do rozważań przyjęto model zagrzenia węgla w temperaturze 50 do 350 °C, czyli od początkowego etapu samozagrzenia do wystąpienia zapłonu węgla.

Gazy wydzielane z zagrzanego węgla rozprzeczają się w przestrzeni pod pewnym kątem, który jest kątem bryłowym. Najprostszym przypadkiem kąta bryłowego jest kąt ograniczony powierzchnią stożkową. Promień podstawy stożka zmienia się proporcjonalnie do odległości wierzchołka od podstawy, natomiast pole podstawy jest zależne od kwadratu tego promienia. Jeżeli więc odległość wierzchołka od podstawy zwiększy się n -krotnie, to pole podstawy zwiększy się w kwadracie, czyli ta sama ilość gazów będzie przepływać przez powierzchnię (n -krotnie)² większą, np. zwiększając odległość 10-krotnie, ilość gazów przepływających przez jednostkę powierzchni zmniejszy się 100-krotnie.

Przy ustalaniu jakie wielkości rozrzedzenia przyjąć w prowadzonej analizie kierowano się m.in. powyższymi uwagami oraz tym, że przebieg procesu utleniania węgla jest nieliniowy, podlegający zależnościom opisującym takie przebiegi (np. ciąg Fibonacciego, funkcja wykładnicza).

W oparciu o przeprowadzone rozważanie przyjęto do prowadzonej analizy, że gazy wydzielane z zagrzanego węgla będą rozrzedzać się i łączyć się z powietrzem zrobowym w stosunku: 1:100, 1:50, 1:25, 1:12; 1:6; 1:3; 1:1 oraz 2:1.

5. Rezultat mieszania się gazów zagrzanego węgla z powietrzem zrobowym

Jak wcześniej napisano, tabela 2 z modelem gazów zrobowych została tak sporządzona w stosunku do tabeli 1, aby z obu tabel mieszano widma gazowe z tych samych pozycji, np. gazy wydzielające się w trakcie wygrzewania węgla w temperaturze 50 °C – tabela 1, pozycja 1 – będą rozrzedzone powietrzem zrobowym, którego profil został wyliczony dla tego zagrzenia – tabela 2, pozycja 1, itd. Mieszanie przeprowadzono w stosunku, który wyrażał odległość miejsca zagrzenia

od linii zawalu ściany. Jeżeli zagrzany węgiel znajdował się w dużej odległości od linii zawalu, która odpowiadała rozrzedzaniu gazów np. w stosunku $V_{zag}:V_{zr} = 1:100$, to gazy mieszano w takim właśnie stosunku.

Należy tu podkreślić, że w prowadzonej analizie interesują nas głównie stężenia gazów istotnych, a nie np. stężenie tlenu, ponieważ właśnie w oparciu o stężenia gazów istotnych i ich stosunki określa się temperaturę zagrzanego węgla

(Rozporządzenie ...2016). Można też zauważyć, że przyjęte do analizy wielkości stężeń istotnych gazów są stosunkowo niskie jak na powietrze zrobowe, np. etylen od 0,05 do max 0,15ppm, propylen od 0,04 do max 0,10ppm, acetylen od 0,004 do max 0,005ppm (tabela 2).

Wyniki przeprowadzonych symulacji przedstawiono w tabelach 3 do 10.

Tabela 3. Gazy dopływające do punktu poboru po wymieszeniu się w stosunku $n = (V_{zag}:V_{zr}) = 1:100 = 0,01$

Table 3: Gases flowing into the sampling point after mixing at a ratio of $n = (V_{zag}:V_{zr}) = 1:100 = 0,01$

Temp. zagrzenia	Skład gazów po wymieszeniu się w stosunku $V_{zag}:V_{zr} = 1:100$									Mianownik wsk. Grahama	Graham	Stopień wsk. WSS
	C_2H_4 Etylen	C_3H_6 Propylen	C_2H_2 Acetylen	CO	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	H ₂			
°C	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	ppm	%	–	–
50	0,05	0,04	0,004	18	19,41	78,13	0,52	1,93	3	1,30	0,0014	1
75	0,05	0,04	0,004	18	19,36	78,15	0,54	1,94	3	1,35	0,0014	1
100	0,06	0,04	0,004	22	19,10	78,22	0,64	2,04	4	1,63	0,0014	2
125	0,11	0,07	0,004	40	18,04	78,48	1,06	2,42	6	2,76	0,0015	3
150	0,17	0,11	0,004	58	16,91	78,76	1,50	2,82	8	3,96	0,0015	3
175	0,28	0,17	0,005	90	16,51	78,87	1,65	2,95	9	4,39	0,0021	4
200	0,43	0,29	0,006	136	16,47	78,90	1,66	2,95	9	4,44	0,0031	5
250	1,00	0,66	0,008	282	16,41	78,91	1,70	2,95	9	4,50	0,0063	5
300	1,40	0,85	0,010	411	16,40	78,87	1,74	2,95	9	4,50	0,0091	5
350	1,81	1,47	0,009	515	16,40	78,82	1,78	2,95	10	4,49	0,0115	6

Tabela 4. Gazy dopływające do punktu poboru po wymieszeniu się w stosunku $n = (V_{zag}:V_{zr}) = 1:50 = 0,02$

Table 4: Gases flowing into the sampling point after mixing at a ratio of $n = (V_{zag}:V_{zr}) = 1:50 = 0,02$

Temp. zagrzenia	Skład gazów po wymieszeniu się w stosunku $V_{zag}:V_{zr} = 1:50$									Mianownik wsk. Grahama	Graham	Stopień wsk. WSS
	C_2H_4 Etylen	C_3H_6 Propylen	C_2H_2 Acetylen	CO	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	H ₂			
°C	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	ppm	%	–	–
50	0,05	0,04	0,004	18	19,40	78,16	0,52	1,91	3	1,31	0,0014	1
75	0,05	0,04	0,004	19	19,36	78,17	0,54	1,93	3	1,36	0,0014	1
100	0,06	0,05	0,004	24	19,09	78,25	0,64	2,02	4	1,64	0,0014	2
125	0,12	0,08	0,004	46	18,03	78,51	1,05	2,39	6	2,77	0,0016	3
150	0,20	0,13	0,004	67	16,91	78,80	1,49	2,79	8	3,98	0,0017	4
175	0,41	0,24	0,006	126	16,47	78,94	1,65	2,92	9	4,45	0,0028	5
200	0,70	0,48	0,007	215	16,39	79,00	1,67	2,92	10	4,54	0,0047	5
250	1,84	1,20	0,011	505	16,27	79,02	1,74	2,92	10	4,68	0,0108	6
300	2,62	1,58	0,015	761	16,25	78,93	1,82	2,92	10	4,67	0,0163	6
350	3,45	2,82	0,013	966	16,25	78,83	1,90	2,92	11	4,64	0,0208	6

Tabela 5. Gazy dopływające do punktu poboru po wymieszaniu się w stosunku $n = (V_{zag} : V_{zr}) = 1:25 = 0,04$
 Table 5: Gases flowing into the sampling point after mixing at a ratio of $n = (V_{zag} : V_{zr}) = 1:25 = 0,04$

Temp. zagrzenia	Skład gazów po wymieszaniu się w stosunku $V_{zag} : V_{zr} = 1:25$									Mianownik wsk. Grahama	Graham	Stopień wsk. WSS
	C_2H_4 Etylen	C_3H_6 Propylen	C_2H_2 Acetylen	CO	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	H ₂			
°C	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	ppm	%	–	–
50	0,05	0,04	0,004	18	19,40	78,20	0,52	1,87	3	1,33	0,0014	1
75	0,05	0,04	0,004	20	19,35	78,22	0,53	1,89	3	1,38	0,0015	1
100	0,06	0,05	0,004	26	19,09	78,30	0,63	1,98	4	1,66	0,0015	2
125	0,13	0,09	0,004	56	18,02	78,58	1,03	2,35	6	2,80	0,0020	3
150	0,26	0,17	0,004	84	16,89	78,88	1,47	2,74	8	4,01	0,0021	4
175	0,65	0,37	0,006	194	16,39	79,07	1,65	2,87	10	4,56	0,0043	5
200	1,23	0,85	0,008	370	16,24	79,18	1,68	2,86	11	4,75	0,0078	5
250	3,46	2,26	0,016	938	15,99	79,23	1,82	2,86	11	5,01	0,0187	6
300	4,99	3,00	0,024	1441	15,96	79,04	1,98	2,86	11	4,99	0,0289	7
350	6,62	5,44	0,021	1842	15,95	78,85	2,14	2,87	14	4,94	0,0373	7

Tabela 6. Gazy dopływające do punktu poboru po wymieszaniu się w stosunku $n = (V_{zag} : V_{zr}) = 1:12 = 0,08$
 Table 6: Gases flowing into the sampling point after mixing at a ratio of $n = (V_{zag} : V_{zr}) = 1:12 = 0,08$

Temp. zagrzenia	Skład gazów po wymieszaniu się w stosunku $V_{zag} : V_{zr} = 1:12$									Mianownik wsk. Grahama	Graham	Stopień wsk. WSS
	C_2H_4 Etylen	C_3H_6 Propylen	C_2H_2 Acetylen	CO	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	H ₂			
°C	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	ppm	%	–	–
50	0,05	0,03	0,004	20	19,38	78,30	0,52	1,80	3	1,37	0,0014	1
75	0,05	0,04	0,004	22	19,33	78,32	0,53	1,82	3	1,43	0,0016	1
100	0,07	0,06	0,004	30	19,08	78,41	0,60	1,91	4	1,70	0,0018	2
125	0,17	0,12	0,004	76	18,00	78,72	1,00	2,27	6	2,86	0,0027	4
150	0,38	0,26	0,004	118	16,87	79,05	1,43	2,63	9	4,08	0,0029	5
175	1,16	0,64	0,008	335	16,23	79,34	1,64	2,76	12	4,80	0,0070	5
200	2,31	1,59	0,011	687	15,92	79,55	1,70	2,75	13	5,16	0,0133	6
250	6,76	4,42	0,027	1822	15,43	79,65	1,98	2,75	14	5,68	0,0321	7
300	9,84	5,91	0,043	2828	15,36	79,28	2,31	2,75	15	5,65	0,0501	7
350	13,09	10,77	0,037	3631	15,35	78,89	2,63	2,76	20	5,56	0,0653	7

Tabela 7. Gazy dopływające do punktu poboru po wymieszaniu się w stosunku $n = (V_{zag} : V_{zr}) = 1:6 = 0,17$
 Table 7: Gases flowing into the sampling point after mixing at a ratio of $n = (V_{zag} : V_{zr}) = 1:6 = 0,17$

Temp. zagrzenia	Skład gazów po wymieszaniu się w stosunku $V_{zag} : V_{zr} = 1:6$									Mianownik wsk. Grahama	Graham	Stopień wsk. WSS
	C_2H_4 Etylen	C_3H_6 Propylen	C_2H_2 Acetylen	CO	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	H ₂			
°C	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	ppm	%	–	–
50	0,05	0,03	0,004	22	19,35	78,45	0,52	1,67	3	1,44	0,0015	1
75	0,06	0,04	0,004	26	19,29	78,50	0,51	1,69	3	1,51	0,0018	2
100	0,08	0,07	0,004	38	19,06	78,60	0,57	1,78	4	1,77	0,0021	2
125	0,24	0,16	0,004	112	17,96	78,96	0,95	2,12	6	2,96	0,0038	4
150	0,59	0,40	0,005	176	16,82	79,35	1,36	2,45	10	4,21	0,0042	5
175	2,02	1,10	0,010	575	15,95	79,79	1,62	2,57	15	5,20	0,0111	6
200	4,16	2,87	0,016	1228	15,38	80,19	1,74	2,56	18	5,87	0,0209	7
250	12,43	8,11	0,045	3336	14,47	80,38	2,25	2,56	18	6,83	0,0488	7
300	18,14	10,89	0,076	5206	14,34	79,69	2,88	2,56	20	6,78	0,0768	7
350	24,18	19,92	0,065	6696	14,32	78,96	3,47	2,57	30	6,61	0,1014	7

Tabela 8. Gazy dopływające do punktu poboru po wymieszaniu się w stosunku $n = (V_{zag} : V_{zr}) = 1:3 = 0,33$ Table 8: Gases flowing into the sampling point after mixing at a ratio of $n = (V_{zag} : V_{zr}) = 1:3 = 0,33$

Temp. zagrzenia	Skład gazów po wymieszaniu się w stosunku $V_{zag} : V_{zr} = 1:3$									Mianownik wsk. Grahama	Graham	Stopień wsk. WSS
	C_2H_4 Etylen	C_3H_6 Propylen	C_2H_2 Acetylen	CO	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	H ₂			
°C	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	ppm	%	–	–
50	0,05	0,03	0,003	25	19,30	78,71	0,52	1,47	3	1,56	0,0016	1
75	0,06	0,05	0,004	33	19,24	78,78	0,50	1,48	4	1,64	0,0020	2
100	0,10	0,08	0,004	50	19,02	78,90	0,51	1,56	5	1,89	0,0027	3
125	0,35	0,23	0,004	170	17,90	79,34	0,86	1,87	7	3,13	0,0054	5
150	0,93	0,63	0,006	271	16,74	79,82	1,24	2,16	12	4,41	0,0061	5
175	3,42	1,84	0,013	965	15,50	80,54	1,60	2,26	19	5,85	0,0165	6
200	7,17	4,95	0,024	2109	14,50	81,23	1,80	2,25	25	7,03	0,0300	7
250	21,65	14,12	0,076	5798	12,90	81,56	2,71	2,25	26	8,71	0,0665	7
300	31,63	18,98	0,130	9070	12,68	80,35	3,80	2,24	29	8,61	0,1054	7
350	42,21	34,79	0,110	11677	12,64	79,07	4,83	2,27	47	8,31	0,1405	7

Tabela 9. Gazy dopływające do punktu poboru po wymieszaniu się w stosunku $n = (V_{zag} : V_{zr}) = 1:1 = 1$ Table 9: Gases flowing into the sampling point after mixing at a ratio of $n = (V_{zag} : V_{zr}) = 1:1 = 1$

Temp. zagrzenia	Skład gazów po wymieszaniu się w stosunku $V_{zag} : V_{zr} = 1:1$									Mianownik wsk. Grahama	Graham	Stopień wsk. WSS
	C_2H_4 Etylen	C_3H_6 Propylen	C_2H_2 Acetylen	CO	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	H ₂			
°C	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	ppm	%	–	–
50	0,05	0,03	0,003	33	19,18	79,32	0,51	0,99	4	1,84	0,0018	2
75	0,08	0,06	0,003	48	19,10	79,44	0,45	1,00	4	1,95	0,0025	2
100	0,14	0,12	0,004	79	18,95	79,61	0,36	1,07	6	2,15	0,0037	3
125	0,60	0,40	0,004	304	17,75	80,25	0,65	1,31	9	3,51	0,0087	5
150	1,72	1,16	0,007	493	16,56	80,93	0,97	1,48	16	4,88	0,0101	6
175	6,69	3,58	0,021	1875	14,44	82,27	1,55	1,54	30	7,36	0,0255	7
200	14,20	9,81	0,044	4164	12,44	83,66	1,95	1,52	41	9,73	0,0428	7
250	43,15	28,15	0,146	11542	9,25	84,31	3,76	1,51	44	13,09	0,0881	7
300	63,12	37,86	0,255	18085	8,82	81,90	5,95	1,51	50	12,89	0,1403	7
350	84,27	69,49	0,215	23300	8,73	79,33	8,00	1,56	85	12,30	0,1895	7

Tabela 10. Gazy dopływające do punktu poboru po wymieszaniu się w stosunku $n = (V_{zag} : V_{zr}) = 2:1 = 2$ Table 10: Gases flowing into the sampling point after mixing at a ratio of $n = (V_{zag} : V_{zr}) = 2:1 = 2$

Temp. zagrzenia	Skład gazów po wymieszaniu się w stosunku $V_{zag} : V_{zr} = 2:1$									Mianownik wsk. Grahama	Graham	Stopień wsk. WSS
	C_2H_4 Etylen	C_3H_6 Propylen	C_2H_2 Acetylen	CO	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	H ₂			
°C	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	ppm	%	–	–
50	0,05	0,03	0,002	38	19,10	79,72	0,50	0,67	4	2,02	0,0019	2
75	0,09	0,07	0,003	58	19,02	79,88	0,42	0,68	4	2,15	0,0027	3
100	0,17	0,15	0,003	99	18,90	80,09	0,27	0,73	7	2,33	0,0042	4
125	0,77	0,51	0,004	394	17,66	80,85	0,51	0,93	10	3,77	0,0104	5
150	2,25	1,52	0,008	640	16,44	81,67	0,79	1,02	19	5,20	0,0123	6
175	8,87	4,74	0,027	2483	13,74	83,42	1,52	1,06	38	8,37	0,0297	7
200	18,88	13,04	0,057	5534	11,07	85,28	2,05	1,03	52	11,53	0,0480	7
250	57,48	37,50	0,193	15371	6,81	86,14	4,46	1,03	55	16,01	0,0960	7
300	84,11	50,44	0,338	24096	6,24	82,93	7,38	1,02	63	15,74	0,1531	7
350	112,31	92,62	0,285	31049	6,12	79,51	10,11	1,08	110	14,95	0,2077	7

6. Analiza otrzymanych wyników

Z uzyskanych wyników symulacji mieszania się gazów, przedstawionych w tabelach 3 do 10, wybrano do analizy porównawczej dwa przypadki. Jeden z zakresu niskich, drugi z zakresu wysokich wartości stężeń istotnych gazów (CO, etylen, propylen, acetylen, wodór). Podstawowym kryterium, którym kierowano się przy poszukiwaniu podobieństwa było jak najbardziej zbliżone stężenie CO, przypadki te przedstawiono w tabeli 11 (niski poziom stężeń istotnych gazów) oraz w tabeli 12 (wysoki poziom stężeń istotnych gazów).

Analizując wybrane elementy, które pokazano w tabeli 11 i 12 można zauważyć, że porównywalne wyniki stężeń gazów istotnych uzyskujemy dla przypadków:

- węgla zagrzanego do wyższej temperatury i mocniej rozrzedzonych gazów;
- węgla zagrzanego do niższej temperatury i mniej rozrzedzonych gazów.

Oba ww. zjawiska zauważymy zarówno w tabeli 11 jak i szczególnie w tabeli 12. Jeżeli w przykładzie przedstawionym w Tabeli 11 pomiędzy próbką mocno i mało rozrzedzoną obserwuje się różnice stężeń dla niektórych gazów, to w drugim przypadku, dla wysokiego stężenia CO (około 500ppm) nie jest to już tak widoczne (tabela 12).

W pierwszym przypadku widać różnicę między stężeniem etylenu, propylenu i tlenu – gazy z mocniej zagrzanego węgla, ale bardziej rozrzedzone powietrzem zrobotowanym ($n = 1:100$) wykazują wyższe stężenie np. etylenu (0,17ppm vs. 0,10ppm) i niższe stężenie tlenu (16,9% vs. 19%), niż gazy mniej rozrzedzone i ze słabiej zagrzanego węgla (np. $n = 1:3$, $t=100^\circ\text{C}$).

W drugim przypadku (wysokie stężenie CO, tabela 12) trudno znaleźć czynnik, który pomoże nam w rozróżnieniu zagrzanego węgla w oparciu o analizę składu gazowego próbki powietrza. Tutaj w oparciu o przedstawione wyniki możemy powiedzieć, że węgiel zagrzany do niższej temperatury o mniej rozrzedzonych gazach (czyli blisko linii zawału) sygnalizuje podobny poziom stężeń gazów istotnych, co węgiel zagrzany do wyższej temperatury o mocno rozrzedzonych gazach, czyli znajdujący się w większej odległości od linii zawału.

Dla przykładów przedstawionych w tabeli 11 i tabeli 12 wskaźniki Grahama i WSS generalnie sygnalizują podobny stan zagrożenia pożarowego, za wyjątkiem przypadku wskaźnika Grahama dla zagrzanego węgla w temperaturze 150°C i wymieszaniu się gazów w stosunku $n=1:100$ (tabela 11).

Powyższe wnioski skłoniły do przeanalizowania nie tylko samych stężeń, ale także ich stosunków – dodatkowo analizę uzupełniono o odpowiadające im pozycje z modelu wygrzewania (tabela 1). Analizę przeprowadzono na przykładzie wybranych wskaźników złożonych z etylenu, propylenu, acetyleny, wodoru i CO (tabela 13).

W przypadku dwóch pierwszych wskaźników można zauważyć, że dla wysokiego stężenia CO (mocnego zagrzenia węgla lub gdy zagrzany węgiel znajduje się w bliskiej odległości od miejsca pobrania próbki) w oparciu o wyniki wygrzewania można z pewnym przybliżeniem oszacować temperaturę zagrzanego węgla (tabela 13, pozycja 4 vs pozycja 11). Natomiast dla przypadku gazów o niskiej temperaturze i mało rozrzedzonych zauważa się duże rozbieżności z modelem, np. pozycja 3 vs pozycja 6 vs pozycja 7. Ogólnie

Tabela 11. Wybrane przypadki gazu dopływającego do punktu poboru po wymieszaniu się w stosunku $n = \frac{V_{zag}}{V_{zr}}$ z przedziału niskiego stężenia CO

Table 11. Selected cases of gas flowing into the sampling point after mixing in the ratio $n = \frac{V_{zag}}{V_{zr}}$ from the low CO concentration range

Opis punktu	C_2H_4 Etylen	C_3H_6 Propylen	C_2H_2 Acetylen	CO	O_2	N_2	CO_2	CH_4	H_2	Mian. wsk. Grahama	Graham	Stopień wsk. WSS
	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	ppm	%	–	–
$n = 1:100$ (0,01) $t=150^\circ\text{C}$	0,17	0,11	0,005	58	16,91	78,76	1,50	2,82	8	3,96	0,0015	3
$n = 1:3$ (0,33) $t=100^\circ\text{C}$	0,10	0,08	0,005	50	19,02	78,90	0,51	1,56	5	1,89	0,0027	3
$n = 2:1$ (2) $t=75^\circ\text{C}$	0,09	0,07	0,003	58	19,02	79,88	0,42	0,68	4	2,15	0,0027	3

Tabela 12. Wybrane przypadki gazu dopływającego do punktu poboru po wymieszaniu się w stosunku $n = \frac{V_{zag}}{V_{zr}}$ z przedziału wysokiego stężenia CO

Table 12: Selected cases of gas flowing into the sampling point after mixing in the ratio $n = \frac{V_{zag}}{V_{zr}}$ from the high CO concentration range

Opis punktu	C_2H_4 Etylen	C_3H_6 Propylen	C_2H_2 Acetylen	CO	O_2	N_2	CO_2	CH_4	H_2	Mian. wsk. Grahama	Graham	Stopień wsk. WSS
	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	ppm	%	–	–
$n = 1:100$ (0,01) $t=350^\circ\text{C}$	1,81	1,47	0,009	515	16,40	78,82	1,78	2,95	10	4,49	0,0115	6
$n = 1:50$ (0,02) $t=250^\circ\text{C}$	1,84	1,20	0,011	505	16,27	79,02	1,74	2,92	10	4,68	0,0108	6
$n = 1:1$ (1) $t=150^\circ\text{C}$	1,72	1,16	0,008	493	16,56	80,93	0,97	1,48	16	4,88	0,0101	6

Tabela 13. Porównanie wskaźników gazowych wyznaczonych dla wybranych przypadków
Table 13. Comparison of gas indicators determined for selected cases

Lp.		C ₂ H ₄ /C ₃ H ₆ <i>Etylen</i> <i>/Propy.</i>	CO/C ₂ H ₄ <i>Tl. węgla</i> <i>/Etylen</i>	CO/H ₂ <i>Tl. węgla</i> <i>/Wodór</i>	(C ₂ H ₄ +C ₃ H ₆)/H ₂ <i>(Ety.+Propy.)</i> <i>/Wodór</i>	(C ₂ H ₄ +C ₃ H ₆)/C ₂ H ₂ <i>(Ety.+Propy.)</i> <i>/Acetylen</i>
dotyczy danych z tabeli 11:						
1	rozrzedzenie n = 1:100 (0,01); temp. zagrzania t=150 °C	1,55	341,2	7,3	0,035	56
2	rozrzedzenie n = 1:3 (0,33); temp. zagrzania t=100 °C	1,25	500,0	10,0	0,036	36
3	rozrzedzenie n = 2:1 (2); temp. zagrzania t=75 °C	1,29	644,4	14,5	0,040	53,3
dotyczy danych z tabeli 12:						
4	rozrzedzenie n = 1:100 (0,01); temp. zagrzania t=350 °C	1,23	284,5	51,5	0,328	364,4
5	rozrzedzenie n = 1:50 (0,02); temp. zagrzania t=250 °C	1,53	274,5	50,5	0,304	276,4
6	rozrzedzenie n = 1:1 (1); temp. zagrzania t=150 °C	1,48	286,6	30,8	0,180	360,0
dotyczy danych z tabeli 1:						
7	Wyrzwanie próbki węgla, temp. zagrzania t=75 °C	1,22	709,1	15,6	0,040	100,0
8	Wyrzwanie próbki węgla, temp. zagrzania t=100 °C	1,10	595,7	17,1	0,055	146,7
9	Wyrzwanie próbki węgla, temp. zagrzania t=150 °C	1,48	282,8	37,4	0,222	555,0
10	Wyrzwanie próbki węgla, temp. zagrzania t=250 °C	1,53	267,3	291,5	1,802	496,0
11	Wyrzwanie próbki węgla, temp. zagrzania t=350 °C	1,21	276,4	289,1	1,909	723,0

można zauważyć, że im mniej rozrzedzony gaz lub wyższa temperatura zagranego węgla (np. 250 °C lub n=2:1), to tym bardziej stosunek gazów istotnych zbliża się do wartości, którą otrzymano dla podobnej temperatury wygrzewania próbki węgla.

W związku z powyższymi spostrzeżeniami przeprowadzono dokładniejszą analizę tego problemu, rozpoznając jak będzie wyglądało mieszanie się gazów zagranego węgla z powietrzem zrownoważonym dla wybranego przypadku stężenia CO i każdego ich rozcieńczenia.

Wybrano w tym celu dwa przypadki – pierwszy z zakresu niskich wartości stężenia CO, oparto się na elemencie z tabeli

4: (CO = 67 ppm, $n = \frac{V_{zag}}{V_{zr}} = \frac{1}{50} = 0,02$). Drugi przypadek

z zakresu wysokich wartości stężenia CO, tu oparto się na

elemencie z tabeli 3: (CO = 515 ppm, $n = \frac{V_{zag}}{V_{zr}} = \frac{1}{100} = 0,01$).

Stężenia gazów oraz temperaturę dla wszystkich pozostałych rozcieńczeń otrzymano przez aproksymację liniową najbliższych punktów. Podstawą wyjściową do aproksymacji było stężenie CO. Otrzymane wyniki obliczeń zestawiono w tabelach (tabela 14, tabela 15).

Wyniki zawarte w tabeli 14 przeanalizowano pod kątem gazów istotnych z punktu widzenia stanu zagrożenia pożarowego biorąc pod uwagę stężenia etylenu, propylenu, wodoru, tlenu oraz acetyleny. Stężenia wymienionych gazów wykazują niewielką różnicę pomiędzy minimalną a maksymalną wartością, która wynosi dla: etylenu 0,09ppm, propylenu

0,04ppm, wodoru 3ppm, acetyleny 0,002ppm, tlenu 2,2%. Wraz ze wzrostem temperatury i odległości miejsca zagrania od miejsca pobrania próbki (co wyraża stopień rozrzedzenia gazów wydzielających się z zagranego węgla) stężenie etylenu i propylenu rośnie, a stężenie tlenu spada.

Wyniki zawarte w tabeli 14 możemy podzielić generalnie na dwie rozróżnialne grupy, których granica przebiega pomiędzy temperaturą 120 a 135 °C. W skład pierwszej grupy wchodzi trzy elementy: (n=1:100, t=157 °C); (n=1:50, t=150 °C); (n=1:25, t=135 °C). W skład drugiej grupy, wchodzi pozostałe elementy (z przedziału temperatury t=80 do 120 °C). Analizując stężenia istotnych gazów wymienionych grup, m.in. pod kątem statystyki podstawowej, można stwierdzić, że w pierwszej grupie występuje zbyt małe zróżnicowanie, aby powiedzieć czy próbka gazu została pobrana w warunkach temperatury 135 czy 157 °C. W przypadku drugiej grupy obserwujemy sytuację podobną, szczególnie gdy odrzucimy temperaturę 120 °C. Występuje zbyt małe zróżnicowanie stężeń, aby móc stwierdzić czy próbka gazu została pobrana w warunkach temperatury 80 czy 110 °C.

Można więc powiedzieć, że małe zróżnicowanie stężeń istotnych gazów nie pozwala na jednoznaczne określenie temperatury zagrania węgla, czy też stopnia rozrzedzenia gazów. Tym bardziej, że w prowadzonej analizie nie uwzględnia się dodatkowych czynników, które wpływają na skład próbki gazowej podczas laminarnego przepływu płynu, jak np. lepkość, gęstość składników gazowych.

Analiza statystyki podstawowej w przypadku wyników zawartych w tabeli 15 prowadzi do podobnego wniosku – występuje zbyt małe zróżnicowanie, aby stwierdzić czy próbka

Tabela 14. Przykład 1 – przypadek sporządzony dla niskiej wartości stężenia CO

Table 14: Example 1 - case prepared for low CO concentration value

Opis punktu: rozrzedzenie (n); temp. zagrzania (t)	C ₂ H ₄ Etylen	C ₃ H ₆ Propylen	C ₂ H ₂ Acetylen	CO	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	H ₂	Mian. wsk. Grahama	Graham	Stopień wsk. WSS
	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	ppm	%	–	–
n = 1:100 (0,01); t=157 °C	0,20	0,13	0,005	67	16,8	78,8	1,5	2,9	8	4,07	0,0016	4
n = 1:50 (0,02); t=150 °C	0,20	0,13	0,005	67	16,9	78,8	1,5	2,8	8	3,98	0,0017	4
n = 1:25 (0,04) t=135 °C	0,18	0,13	0,005	67	17,6	78,7	1,2	2,5	7	3,29	0,0020	4
n = 1:12 (0,08) t=120 °C	0,15	0,10	0,005	67	18,2	78,7	0,9	2,2	6	2,62	0,0026	3
n = 1:6 (0,17) t=110 °C	0,14	0,10	0,005	67	18,6	78,7	0,7	1,9	5	2,24	0,0030	3
n = 1:3 (0,33) t=103 °C	0,13	0,10	0,005	67	18,9	79,0	0,6	1,6	5	2,06	0,0033	3
n = 1:1 (1) t=90 °C	0,12	0,10	0,004	67	19,0	79,5	0,4	1,0	5	2,07	0,0032	3
n = 2:1 (2) t=80 °C	0,11	0,09	0,003	67	19,0	79,9	0,4	0,7	5	2,19	0,0031	3

Tabela 15. Przykład 2 – przypadek sporządzony dla wysokiej wartości stężenia CO

Table 15: Example 2 - case prepared for high CO concentration value

Opis punktu: rozrzedzenie (n); temp. zagrzania (t)	C ₂ H ₄ Etylen	C ₃ H ₆ Propylen	C ₂ H ₂ Acetylen	CO	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	H ₂	Mian. wsk. Grahama	Graham	Stopień wsk. WSS
	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	ppm	%	–	–
n = 1:100 (0,01); t=350 °C	1,81	1,47	0,009	515	16,40	78,82	1,78	2,95	10	4,49	0,0115	6
n = 1:50 (0,02); t=252 °C	1,87	1,21	0,011	515	16,26	79,02	1,74	2,92	10	4,67	0,0110	6
n = 1:25 (0,04) t=213 °C	1,80	1,21	0,010	515	16,17	79,19	1,71	2,86	11	4,81	0,0107	6
n = 1:12 (0,08) t=188 °C	1,75	1,13	0,009	515	16,07	79,45	1,67	2,75	13	4,98	0,0103	6
n = 1:6 (0,17) t=171 °C	1,80	0,99	0,009	515	16,08	79,73	1,58	2,55	14	5,05	0,0102	6
n = 1:3 (0,33) t=159 °C	1,80	1,05	0,009	515	16,30	80,07	1,37	2,20	15	4,92	0,0105	6
n = 1:1 (1) t=150 °C	1,80	1,20	0,008	515	16,53	80,95	0,98	1,48	17	4,92	0,0105	6
n = 2:1 (2) T=137 °C	1,49	1,01	0,006	515	17,06	81,25	0,65	0,98	14	4,47	0,0115	5

gazu pobrana została w warunkach niższej czy wyższej temperatury lub mniejszego czy większego rozrzedzenia próbki. Przykładem mogą być elementy odpowiadające temperaturze: 150 °C vs 188 °C, czy 150 °C vs 350 °C.

Interpretacja wskaźników przedstawionych w tabeli 16 potwierdza wcześniejszy wniosek, że nie można określić rzeczywistej temperatury zagranego węgla. Temperatura zagranego węgla oszacowana z pomocą wskaźników jest wartością pozorną, określającą stan zagrożenia pożarowego.

7. Podsumowanie

Z przeprowadzonej analizy wynika, że nie jest możliwe jednoznaczne określenie rzeczywistej temperatury zagranego węgla w zrobach ściany w oparciu o wynik składu próbki gazowej. Istotny wpływ na to mają takie czynniki jak: oddalenie miejsca zagrania od miejsca pobrania próbki, temperatura zagranego węgla, skład gazów zrobowych, które mieszają się z gazami wydzielanymi z zagranego węgla.

Tabela 16. Porównanie wskaźników dla przypadków opisanych w tabeli 14, tabeli 15 i tabeli 1
Table 16: Comparison of indicators for the cases described in Table 14, Table 15, and Table 1

Opis punktu	C_2H_4/C_3H_6 <i>Etylen /Propy.</i>	CO/C_2H_4 <i>Tl. węgla /Etylen</i>	CO/H_2 <i>Tl. węgla /Wodór</i>	$(C_2H_4+C_3H_6)/H_2$ <i>(Ety.+Propy.) /Wodór</i>	$(C_2H_4+C_3H_6)/C_2H_2$ <i>(Ety.+Propy.) /Acetylen</i>
dotyczy danych z tabeli 14 (Przykład 1 – przypadek sporządzony dla niskiej wartości stężenia CO):					
n = 1:100 (0,01); t=157 °C	1,5	335	8	0,04	66
n = 1:50 (0,02); t=150 °C	1,5	335	8	0,04	66
n = 1:25 (0,04); t=135 °C	1,4	372	10	0,04	62
n = 1:12 (0,08); t=120 °C	1,5	447	11	0,04	50
n = 1:6 (0,17); t=110 °C	1,4	479	13	0,05	48
n = 1:3 (0,33); t=103 °C	1,3	515	13	0,05	46
n = 1:1 (1); t=90 °C	1,2	558	13	0,04	55
n = 2:1 (2); t=80 °C	1,2	609	13	0,04	67
dotyczy danych z tabeli 15 (Przykład 2, sporządzony dla wysokiej wartości stężenia CO):					
n = 1:100 (0,01); t=350 °C	1,2	285	52	0,33	364
n = 1:50 (0,02); t=252 °C	1,5	275	52	0,31	280
n = 1:25 (0,04); t=213 °C	1,5	286	47	0,27	301
n = 1:12 (0,08); t=188 °C	1,5	294	40	0,22	320
n = 1:6 (0,17); t=171 °C	1,8	286	37	0,20	310
n = 1:3 (0,33); t=159 °C	1,7	286	34	0,19	317
n = 1:1 (1); t=150 °C	1,5	286	30	0,18	375
n = 2:1 (2); t=137 °C	1,5	346	37	0,18	417
dotyczy danych z tabeli 1 (Model gazów wydzielanych z zagranego węgla):					
temp. wygrze. węgla, t=50 °C	2,5	980	12	0,02	35
temp. wygrze. węgla, t=75 °C	1,2	709	16	0,04	100
temp. wygrze. węgla, t=100 °C	1,1	596	17	0,06	147
temp. wygrze. węgla, t=125 °C	1,5	521	48	0,15	458
temp. wygrze. węgla, t=150 °C	1,5	283	37	0,22	555
temp. wygrze. węgla, t=175 °C	1,9	279	70	0,38	534
temp. wygrze. węgla, t=200 °C	1,4	293	113	0,65	575
temp. wygrze. węgla, t=250 °C	1,5	267	292	1,80	496
temp. wygrze. węgla, t=300 °C	1,7	286	397	2,22	400
temp. wygrze. węgla, t=350 °C	1,2	276	289	1,91	723

Porównywalne stężenia istotnych gazów obserwujemy w pobranej próbce powietrza dla przypadku, gdy miejsce zagrania położone jest blisko miejsca poboru próbki, jak i przypadku, gdy miejsce zagrania jest w większej odległości, ale zagrzany węgiel ma wyższą temperaturę. Przykładem mogą tu być elementy Tabeli 15: (150 °C, n = 1:1) vs (188 °C, n = 1:12), czy (150 °C, n=1:1) vs (350 °C, n=1:100). Stężenia istotnych gazów dla tych przypadków są porównywalne, ale różnią się one temperaturą zagrania – ognisko zagrania usytuowane bliżej miejsca poboru próbki (n = 1:1) ma niższą temperaturę (150 °C), zaś usytuowane dalej (n = 1:100) – wyższą (350 °C). To, że przypadki takie sygnalizują podobny stan zagrożenia pożarowego należy uznać za uzasadnione, albowiem zagrożenie od mniej zagranego węgla znajduje się w bliskiej odległości od wyrobiska ścianowego, w warunkach większego stężenia tlenu i jest poddane dłuższej ekspozycji na jego wpływ. Stwarza to porównywalny stan zagrożenia pożarowego jak przypadek bardziej zagranego węgla, ale w

większej odległości od wyrobiska ścianowego, gdzie występują niższe stężenia tlenu. Dlatego wyznaczoną temperaturę zagranego węgla w zrobach ściany powinno się rozumieć nie jako rzeczywistą, ale jako pozorną (quasi-temperaturę), która wskazuje stopień zagranego węgla i należy to odnosić do miejsca zagrania w bezpośrednim sąsiedztwie z wyrobiskiem ścianowym, czyli bez uwzględnienia mieszania się z gazami zrobotowanymi.

Należy też spostrzec, że sytuacja komplikuje się, gdy ognisko zagrania węgla przesunie się w głąb zawału, a pomiędzy nim i linią zawału ściany powstanie nowe ognisko zagrania. Czyli pobierana próbka powietrza na stacji pomiarowej będzie zawierać wypadkową stężeń gazów pochodzących z obu ognisk zagrania. Pomimo tego skomplikowania, należy mieć na uwadze to, że proces utleniania węgla jest procesem nieliniowym, zmieniającym się wykładniczo i zagrożenie jest generowane przez węgiel o najwyższym zagraniu – czyli

o stanie zagrożenia pożarowego będzie decydować miejsce o najwyższej temperaturze. Stanowi to dodatkowy argument za przyjęciem interpretacji, że prognozowana temperatura zagranego węgla w zrobach nie jest rzeczywistą wartością, lecz jest to wartość pozorna, określająca wypadkowy stan zagrożenia pożarowego.

Literatura

- ARASZCZUK D., JAKUBÓW A., WASILEWSKI S. 2013 - Ciągły monitoring składu atmosfery w zrobach ściany F-1, pokład 406/1, KWK „Borynia-Zofiówka-Jastrzębie” Ruch Zofiówka JSW S.A. w systemie gazometrii automatycznej. *Górnictwo i Geologia*, t. 8, z. 4, s. str. 193-207.
- CYGANKIEWICZ J. 2003 - Ocena ryzyka pożaru endogenicznego w rejonach eksploatacyjnych kopalń. „*Wiadomości Górnicze*” nr 9.
- DZIURZYŃSKI W., WASILEWSKI S. 2012 - Ocena stanu atmosfery w rejonie ściany i jej zrobach na podstawie badań modelowych i danych z systemu monitoringu w kopalni. „*Górnictwo i Geologia*”, t. 7, z. 4, s. 15-30.
- MACKENZIE-WOOD P., STRANG J. 1990 - Fire gases and their interpretation. *The Mining Engineer*, June.
- SŁOWIK S. 2020 - Rozpoznanie stanu zagrożenia pożarowego w rejonach

eksploatowanych ścian zawałowych w oparciu o wskaźnik Grahama i WSS. „*Przeгляд Górniczy*” nr 8, s. 45-53.

- SŁOWIK S., ŚWIERCZEK L. 2014 - Ujemne i zawyżone wartości wskaźnika Grahama. „*Przeгляд Górniczy*”, nr 12, s. 98-105.
- SŁOWIK S., ŚWIERCZEK L. 2015 - Przedział wiarygodności wskaźnika Grahama. „*Przeгляд Górniczy*” nr 12, s. 49-61.
- STRUMIŃSKI A. 1987 - Zwalczanie pożarów podziemnych w kopalniach. Wydawnictwa PAN, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław.
- TRENCZEK S. 2003 - Ocena stanu zagrożenia pożarem endogenicznym, na podstawie temperatury zrobów wyznaczonej metodą gazów istotnych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo*, z. 258, s. 363-375.

Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych. Dz.U. 2017 poz. 1118

Artykuł wpłynął do redakcji w styczniu 2022 r.
Artykuł akceptowany do druku 28.03.2022 r.

Stanisław Słowik - mgr inż. górnik, zatrudniony w Zakładzie Aerologii Górniczej Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach na stanowisku starszego specjalisty, kontakt: sslowik@gig.eu.