

Ryszard FRĄCZEK  
PBG „ORT-SERVICE” Sp.j. Gliwice

## WPLYW PARAMETRÓW FIZYCZNOCHEMICZNYCH WĘGLA NA WSKAŹNIK SAMOZAPALENIA WĘGLA W ZROBACH ŚCIAN KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO

**Streszczenie.** Przeprowadzono analizę wpływu: zawartości części lotnych i wody w węglu, metanonośności, temperatury pierwotnej, głębokości zalegania i kruszalności węgla na wartość wskaźnika samozapalenia węgla  $S_z^a$ , a także wpływ tego wskaźnika na ilość i stężenie wydzielonego CO do prądu opływowego w czynnych ścianach węglowych. Stwierdzono, że istotny wpływ na wartość tego wskaźnika ma współczynnik wyrównywania temperatury w węglu oraz typ węgla.

## INFLUENCE OF PHYSICAL AND CHEMICAL COAL PARAMETERS ON AN COEFFICIENT SPONTANEOUS COMBUSTION OF COAL IN GOAF OF LONGWALLS IN PIT-COAL MINES

**Summary.** This paper presents analysis of influence of content of volatile parts and water in the coal, content of methane in the coal, virgin temperature, depth of backlog of the coal grindability on an coefficient spontaneous combustion of coal. Performed analysis were also concerned with influence of the coefficient spontaneous combustion of the coal oxidation on quantity and concentration of separated carbon monoxide to streamlined current of active coal of longwalls. Statement of the essential influence of the type of coal and coefficient diffusion of temperature of coal on an coefficient spontaneous combustion of coal.

### 1. Wprowadzenie

Zastosowanie właściwej profilaktyki przeciwpożarowej przy eksploatacji pokładów węgla pozwala uniknąć pożarów spowodowanych samozagrzewaniem się węgla. Dlatego od dawno stosuje się różne metody oceny skłonności węgla do samozapalenia oraz klasyfikację pokładów węgla z uwagi na skłonność do samozapalenia [1, 3, 4, 5, 8, 11, 13].

W pracy [5] podano ocenę skłonności pokładów węgla do samozapalenia z uwagi na wskaźnik samozapalenia węgla  $Sz^a$  i energię aktywacji utleniania węgla  $A$ . Wyniki tej oceny zamieszczono w tablicy 1.

Tablica 1

## Ocena skłonności pokładów węgla do samozapalenia

Wskaźnik $Sz^a$ [K/min]	Energia aktywacji $A$ [kJ/mol]	Grupa samozapalności	Ocena skłonności węgla do samozapalenia
do 80	powyżej 67	I	węgle o bardzo małej skłonności do samozapalenia,
	46-67	II	węgle o małej skłonności do samozapalenia,
	poniżej 46	III	węgiel o średniej skłonności do samozapalenia,
80-100	powyżej 42		
80-100	poniżej 42	IV	węgiel o dużej skłonności do samozapalenia,
	100-120		
100-120	poniżej 34	V	węgiel o bardzo dużej skłonności do samozapalenia
	powyżej 120		

Oznaczenie wskaźnika samozapalenia węgla  $Sz^a$  dokonuje się zmodyfikowaną metodą Olpińskiego (PN-93/G-04558) [5]. Metoda ta polega na pomiarze przyrostu temperatury przygotowanej pastylki węgla w strumieniu powietrza o temperaturze 237 i 190 °C. Węgiel o masie 0,3 g, użyty do badań, podlega rozdrobniению do uziarnienia 0,065–0,075mm. Według Maciejasza [11], współczynnik ten nie charakteryzuje bezpośrednio samozapalności, ale często węgle o wysokim współczynniku reakcyjności w temperaturze 237 °C reagują energicznie z powietrzem również w niższych temperaturach.

Także autor pracy [4] stwierdza, że „przedstawione wskaźniki mają charakter orientacyjny i powinny znaleźć zastosowanie przede wszystkim przy wstępnej ocenie zagrożenia pożarowego”.

Okres inkubacji pożaru endogenicznego dla eksploatowanego pokładu węgla wyznacza się z zależności:

$$\tau_m = \frac{Sz_1^a \cdot A}{Sz^a \cdot A_1} \cdot \tau_z \cdot k_w \cdot k_t, \text{ dni} \quad (1)$$

gdzie:

$Sz^a$  – wskaźnik samozapalenia węgla, K/min,

$Sz_1^a$  – grupowy wskaźnik samozapalenia, K/min,

$A$  – wskaźnik energii aktywacji utleniania węgla, kJ/mol,

$A_i$  – grupowy wskaźnik energii utleniania węgla, kJ/mol,

$\tau_z$  – minimalny okres inkubacji pożaru endogenicznego wyznaczony w warunkach adiabatycznych dla rozdrobnionego węgla o temperaturze początkowej  $t_p=10$  °C,

$k_w$  – współczynnik weryfikujący minimalny okres inkubacji pożaru endogenicznego do warunków kopalnianych,

$k_t$  – współczynnik korekcyjny dla temperatury początkowej utleniania węgla.

W związku z tym, że minimalny okres inkubacji pożaru endogenicznego w laboratorium został wyznaczony dla początkowej temperatury  $t_g=10$  °C, dla innych temperatur górotworu należy korzystać ze współczynnika korekcyjnego, który wynosi:  $t_g=20$  °C –  $k_t=0,8$ ; dla  $t_g=30$  °C –  $k_t=0,6$ ; dla  $t_g=40$  °C –  $k_t=0,42$  [5]. Jak widać, ze wzrostem temperatury pierwotnej węgla zmniejsza się czas inkubacji.

Zdaniem autora pracy [5], „Wyjaśnia to obecność pożarów endogenicznych w pokładach o bardzo małej skłonności węgla do samozapalenia ( I i II grupa samozapalności), ale przy wysokiej temperaturze pierwotnej skał ( $t_g>35$  °C)”.

## 2. Wpływ parametrów fizycznochemicznych pokładów węgla na wskaźnik samozapalenia $S_z^a$

Ponieważ wskaźnik samozapalenia węgla  $S_z^a$  bezpośrednio nie obrazuje samozapalności węgla [11], ale ma wskazywać podobieństwo reakcji w niższych temperaturach, zachodzi pytanie jak to podobieństwo opisać.

Analiza przebiegu badań laboratoryjnych wskaźnika  $S_z^a$  wskazuje, że szybkość wzrostu temperatury pastylki węgla będzie uzależniona od:

- reakcji węgla z powietrzem w danej temperaturze,
- współczynnika wyrównywania temperatury w badanej próbce ,
- średnicy badanej próby.

Można założyć, że w pewnym stopniu przebieg wzrostu temperatury pastylki węgla opíše liczba Fouriera

$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{r^2} = \frac{a \cdot T_s}{S_z^a \cdot r^2}, \quad (2)$$

gdzie:

$a$  – współczynnik wyrównywania temperatury w węglu,  $m^2/s$ ,

$\tau$  – czas reakcji, s,

$r$  – promień pastylki węgla, m,

$T_s$  – średnia temperatura w której przeprowadzono badania, K.

Z prac [3, 4, 5, 7, 10, 12, 13, 15, 16] wynika, że na wartość wskaźnika  $Sz^a$  mogą mieć wpływ:

- wilgotność pokładu węgla –  $K_w$ , %/100
- zawartość części lotnych –  $K_c$ , %/100
- temperatura pierwotna węgla –  $\vartheta$ , °C
- głębokość zalegania pokładu –  $Z$ , m
- kruszalność węgla –  $R_c$  – współczynnik wytrzymałości węgla na ściskanie, Pa
- metanonośność pokładu –  $M_o$ , m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Mg<sub>csw</sub>.

Po wprowadzeniu oznaczenia  $Ks = \frac{Sz^a \cdot r^2}{a \cdot T_s} = Sz^a \cdot K$  oraz uwzględnieniu powyższych

czynników, przebieg zmian wskaźnika  $Sz^a$  można opisać zależnością

$$Ks = f(K_w, K_c, \vartheta, Z, M_o), \quad (3)$$

Jak wynika z prac [4, 11] można przyjąć:  $T_s=487,5$  K,  $r=0,0045$  m,  $a \approx 0,3 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s dla węgla nieskruszonego oraz  $K=1$ . Dla węgla zmielonych do granulacji wymaganej badaniami, brak danych dotyczących wartości współczynnika wyrównywania temperatury w węglu. Natomiast z pracy Chmury [6] wynika, że średnia wartość dla węgla wynosi  $a=(0,26-0,42) \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s. Natomiast uwzględniając wpływ temperatury górotworu uzyskamy [6]:

$$a = 11 \cdot 10^{-9} \cdot \vartheta, \text{ m}^2/\text{s} \quad (4)$$

Nieuwzględnienie wpływu wartości współczynnika wyrównywania temperatury w węglu może powodować, że wskaźniki  $Sz^a$  z tego względu mogą się różnić do 60 %.

Na rys. 1 pokazano wpływ zawartości wody w węglu na wartość liczby  $Ks$  oraz podano także równanie regresji oraz współczynnik korelacji, które to dane zamieszczano na każdym następnym rysunku. Mając na uwadze że:  $T_s=\text{const}$ ,  $a=\text{const}$ ,  $r=\text{const}$ ,  $K=1$ , oznacza to, że przedstawione zależności dotyczą wskaźnika  $Sz^a$ .

Do analizy użyto wyniki badań przedstawionych w pracy [10], które obejmowały 40 ścian w 8 kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (Anna, Borynia, Chwałowice, Jankowice, Jas-Mos, Makoszowy, Sośnica i Zofiówka) w 24 pokładach węgla.

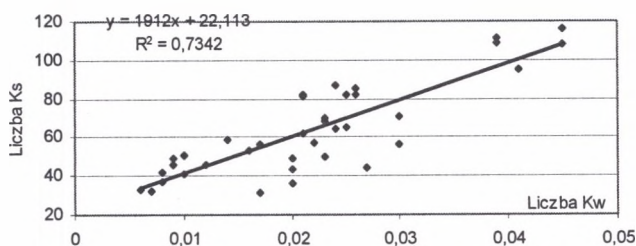
Rys. 1. Wpływ zawartości wody w węglu na wartość wskaźnika samozapalenia  $Sz^a$ 

Fig. 1. The influence of water content in the coal on an coefficient spontaneous combustion of coal

Z przedstawionego rysunku wynika, że wzrost zawartości wody w węglu powoduje wzrost wskaźnika  $Sz^a$ . Jeżeli uwzględnić że ciepło parowania wody wynosi  $c_p=40,7\text{kJ/mol}$ , natomiast ciepło wydzielone w czasie utleniania węgla wynosi  $c_{CO}=110,6\text{kJ/mol}$  w przypadku CO i  $c_{CO_2}=393,7\text{kJ/mol}$  w przypadku  $CO_2$ , to ponieważ ciepło parowania wody jest znacznie mniejsze od ciepła utleniania węgla, oczywistym się staje, że głównym mechanizmem wzrostu reakcji utleniania jest to, że wskutek parowania wody, następuje odsłanianie aktywnej powierzchni węgla, na których zachodzi proces utleniania i adsorpcji tlenu [15, 17].

Należy dodać, że w czasie przygotowania próby węgla do badań polegającej na mieleniu, wydziela się ciepło, a wzrost temperatury osiąga (5–7) K [17], powoduje to odparowanie znacznej ilości wody oraz odmetanowanie węgla.

Na rys. 2 przedstawiono wpływ zawartości części lotnych w badanym węglu (liczby Kc) na wartość liczby Ks. Z przedstawionego rysunku wynika, że wzrost zawartości części lotnych w badanym węglu powoduje wzrost wskaźnika  $Sz^a$ . W tym przypadku uwalnianie się części lotnych z badanego węgla powoduje także odsłanianie nowych powierzchni aktywnych.

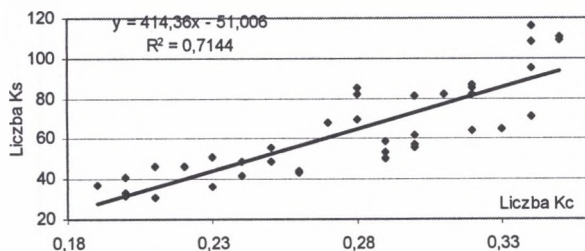
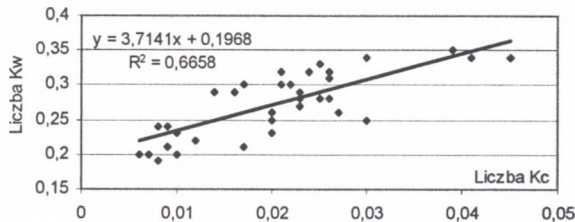
Rys. 2. Wpływ zawartości części lotnych w węglu na wartość wskaźnika samozapalenia  $Sz^a$ 

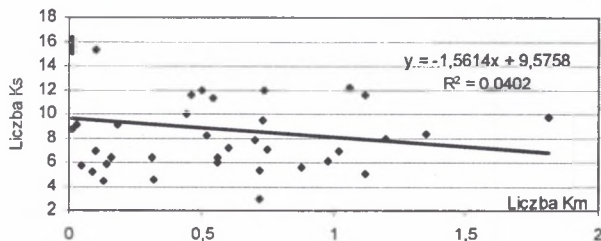
Fig. 2. The influence of volatile parts content in the coal on an coefficient spontaneous combustion of coal

Na rys. 3. pokazano zależność między zawartością części lotnych w węglu a zawartością wilgoci. Jak wynika z przedstawionego rysunku, między tymi parametrami zachodzi istotna zależność.



Rys. 3. Wpływ zawartości części lotnych na zawartość wody w węglu  
Fig. 3. The influence of volatile parts on water content in the coal

Na rys. 4 pokazano wpływ metanonośności pokładu węgla na wartość liczby Ks. Na tym rysunku wprowadzono oznaczenie  $Km = \frac{M_o}{M_j} = \frac{M_o}{5}$  – gdzie  $M_s$  oznacza pewną średnią wartość metanonośności pokładów węgla. Wynika to z faktu, że w niektórych badaniach nad skłonnością węgla metanowych do samozapalenia [12] stwierdzono, że gdy zachodzi zależność  $M_o > 5 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{Mg}_{\text{csw}}$ , wtedy węgle nie wykazują skłonności do samozapalenia.



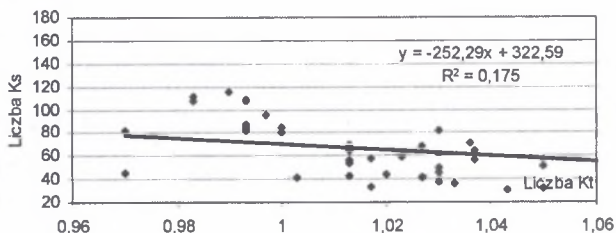
Rys. 4. Wpływ metanonośności pokładów węgla na wartość wskaźnika samozapalenia  $S_z^a$   
Fig.4. The influence of methane content in the coal on an coefficient spontaneous combustion of coal

Należy dodać, że ciepło parowania metanu wynosi  $c_m = 8,2 \text{ kJ/mol}$  [15]. W przypadku metanonośności węgla  $M_o = 5 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{Mg}_{\text{csw}}$ , metan stanowi zaledwie 0,5 % masy węgla, a więc jego masa jest kilkakrotnie mniejsza od udziału masowego wody czy części lotnych. Z uwagi na niskie ciepło parowania metanu w pierwszej kolejności nastąpi odmetanowanie węgla a następnie parowanie wody.

Z rysunku 4 wynika lekki spadek wskaźnika  $S_z^a$  wraz ze wzrostem metanonośności. Na tak mały wpływ zapewne ma fakt odmetanowania węgla w czasie jego transportu z miejsca pobrania do laboratorium, a także gwałtownego wydzielania się metanu w czasie mielenia węgla do wymaganej frakcji.



Wymienione procesy wydzielania się pary wodnej, metanu i części lotnych z węgla w warunkach badań laboratoryjnych mogą zachodzić w warunkach swobodnych. W warunkach rzeczywistych na węgiel, znajdujący się w ociosie chodnika lub leżący na spągu, działa ciśnienie górotworu, które utrudnia ruch gazów w węglu. Dopływ powietrza do powierzchni aktywnych węgla może być blokowany przez metan i parę wodną, zwłaszcza w początkowym okresie po wykonaniu wyrobiska. Dopiero po odprężeniu ociosów (przesunięciu się ciśnienia statycznego w głąb calizny) nastąpi udrożnienie makroszczelin i powstaną warunki do filtracji gazów.



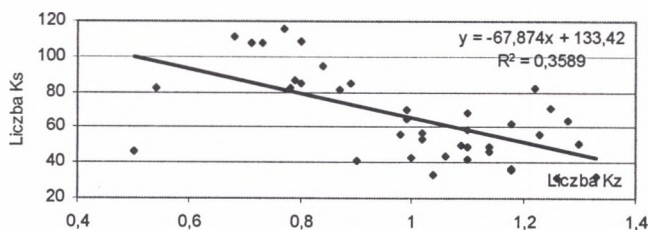
Rys. 5. Wpływ temperatury pokładu węgla na wartość wskaźnika samozapalenia węgla  $Sz^d$

Fig. 5. The influence of virgin temperature in the coal on an coefficient spontaneous combustion of coal

Na rys. 5 pokazano wpływ temperatury pierwotnej pokładów węgla (liczby  $Kt$ ) na wartość wskaźnika  $Sz^d$ . W tym przypadku wprowadzono  $Kt = \frac{g}{g_s} = \frac{g}{300}$  – gdzie  $g_s = 26,7^\circ\text{C} = 300\text{ K}$  oznacza średnią temperaturę pierwotną węgla w badanych ścianach.

Z przedstawionego rysunku wynika, że wzrost temperatury pierwotnej węgla powoduje spadek wskaźnika  $Sz^d$ , ale jednocześnie zauważa się, że współczynnik korelacji przyjmuje niewielką wartość. Stanowi to pewne zaprzeczenie wniosków i zasad podanych w pracach [4, 5, 6].

Na rys. 6 pokazano wpływ głębokości zalegania pokładów węgla na wartość wskaźnika  $Sz^d$ . W tym przypadku wprowadzono  $Kz = \frac{Z}{Z_s} = \frac{Z}{690}$  – gdzie  $Z_s = 690\text{ m}$  oznacza średnią głębokość zalegania eksploatowanych pokładów w badanych ścianach. Z przedstawionego rysunku wynika, że wzrost głębokości zalegania pokładów powoduje spadek wartości wskaźnika  $Sz^d$ , ale uzyskano przeszło 2 razy większy współczynnik korelacji dla identycznych danych, jak w przypadku rozpatrywania wpływu temperatury pierwotnej.



Rys. 6. Wpływ głębokości zalegania pokładów na wskaźnik samozapalenia  $S_z^a$

Fig. 6. The influence of depth of backlog of the coal on an coefficient spontaneous combustion of coal

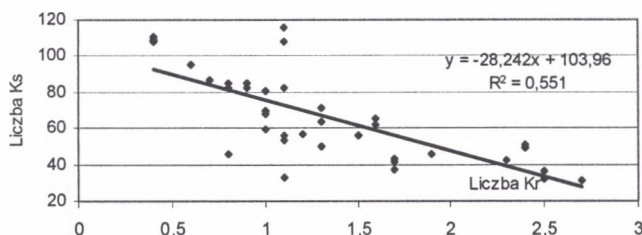
Na rysunku 7 pokazano wpływ kruszalności węgla (liczby  $Kr$ ) na wartość wskaźnika  $S_z^a$ . Przez kruszalność węgla autor w pracy [4] rozumie „rozdrobienie węgla w specjalnym moździerzu poprzez 20-krotne opuszczenie stalowego tłoka o masie 5 kg z wysokości 1 m na węgiel. Węgle charakteryzujące się większą kruszalnością zostaną bardziej rozdrobione, co sprzyja procesowi samozagrzewawania”. W pracy [5] „próbę węgla poddaje się rozdrobieniu w kruszarce ślimakowo-tarczowej. Węgiel o uziarnieniu mniejszym od 0,5mm w ilości 0,5 kg stanowi próbę do badań”.

Natomiast autor w pracy [10] przez kruszalność węgla rozumie stan pierwotny naprężeń w węglu. Liczba  $Kr = \frac{Z \cdot \rho_g \cdot g}{R_c}$  – gdzie:  $\rho_g$  – gęstość górotworu zalegającego nad eksploatowanym pokładem,  $\text{kg/m}^3$ ;  $g$  – przyspieszenie ziemskie,  $\text{m}^2/\text{s}$ .

Jeżeli  $Kr < 1$  oznacza to, że węgiel znajduje się w stanie naprężeń sprężystych. Taki węgiel po urobieniu ma postać kawałków i można założyć, że jego wilgotność i metanonośność przez pewien okres będzie stała. Natomiast, gdy  $Kr > 1$ , wtedy węgiel znajduje się w stanie plastycznym, zaś dalszy wzrost liczby  $Kr$  powoduje, że węgiel ulega zmiążdżeniu. Takie węgle po urobieniu rozsypują się, łatwo ulegają odgazowaniu i szybciej następuje z nich odparowanie wody.

Z pracy [6] wynika, że moduł sprężystości Younga dla węgla wynosi  $E = (1,5-6)$  GPa, a to oznacza, że po odjęciu ciśnienia pierwotnego, pobrany węgiel zwiększy swoją objętość o 0,6–1,6 %. Powoduje to zwiększenie ilości mikro- i makropor, wzrost procesu parowania wody oraz łatwiejszy dostęp powietrza do aktywnych powierzchni węgla w czasie pobierania próby węgla do badań.





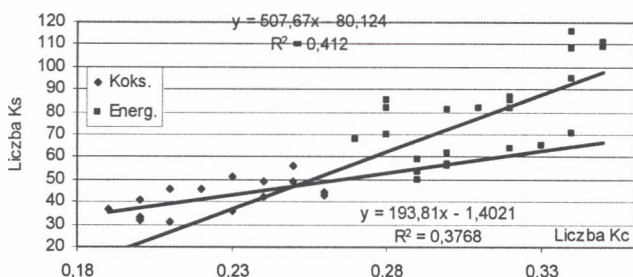
Rys. 7. Wpływ stanu skruszenia węgla na wartość współczynnika samozapalenia  $Sz^a$   
 Fig. 7. The influence grindability of the coal on an coefficient spontaneous combustion of coal

Z pracy [17] wynika, że proces adsorpcji fizycznej tlenu przez węgiel ma charakter gwałtowny i zawiera się w czasie  $10^{-9}$  s. Można przypuszczać, że większość aktywnych powierzchni, zwłaszcza węgla o dużej liczbie  $Kr$ , ulegnie utlenianiu w drodze do badań laboratoryjnych. Węgiel ulegnie częściowemu zwietrzeniu. Z rysunku 7 wynika, że wzrost liczby  $Kr$  powoduje spadek liczby wskaźnika  $Sz^a$ , co potwierdza wcześniejszy wywód.

### 3. Wpływ typu węgla na wskaźnik samozapalenia węgla $Sz^a$

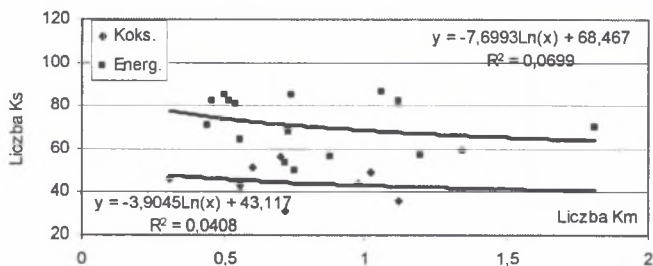
W dotychczasowych ocenach wskaźników ryzyka pożaru endogenicznego: PS, NPS, WPS [4, 11, 13], oraz przy określaniu wartości wskaźnika samozapalności [4, 5, 6, 11, 16] niewiele miejsca poświęca się wpływowi typu węgla: koksujący lub energetyczny. Jest to zagadnienie utrudnione z uwagi na fakt, że wiele kopalń reklamuje swoje węgle jako koksujące. Analiza ich wpływu na wskaźnik samozapalności wykazała, że tylko węgle z kopalń: Borynia, Jas-Mos i Zofiówka wykazują wspólną odmienną cechę od pozostałych węgla z analizowanych kopalń, co pozwala je zaliczyć do węgla koksujących.

Na rys. 8 pokazano wpływ zawartości części lotnych w węglu na wartość wskaźnika samozapalenia  $Sz^a$  oraz równania regresji i współczynniki korelacji dla węgla energetycznych, w górnej części rysunku, i dla węgla koksujących w dolnej części rysunku. Jak widać, wzrost zawartości części lotnych powoduje wzrost wskaźnika  $Sz^a$ . Typ węgla nie ma w tym przypadku istotnego wpływu na wskaźnik  $Sz^a$ . Podobne zachowania wskaźnika  $Sz^a$  zauważono także w przypadku zawartości wody.



Rys. 8. Wpływ zawartości części lotnych i typu węgla na wartość wskaźnika samozapalenia  $Sz^a$   
 Fig. 8. The influence of volatile parts content in the coal and type of the coal on an coefficient spontaneous combustion of coal

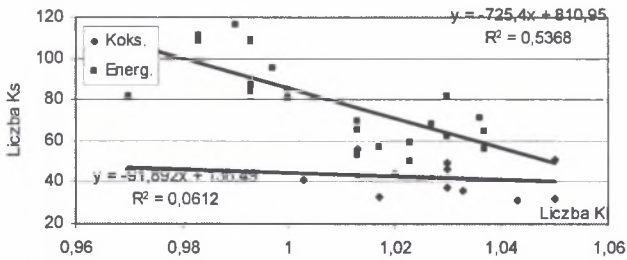
Na rys. 9 pokazano wpływ metanonośności pokładu węgla na wskaźnik  $Sz^a$ . Analiza opcji funkcji wykazała, że najlepiej zachodzące zmiany opisuje funkcja logarytmiczna. Ponadto, na tym rysunku uwzględniono tylko dane, gdy  $Km > 0,3$ . Uwzględnienie węgla niemietanowych wypacza w pewnym sensu wpływ metanonośności, która i tak w tych badaniach jest symboliczna. Z rysunku wynika, że wzrost metanonośności węgla powoduje spadek wskaźnika  $Sz^a$ , ale do pewnej granicy. Dla węgla koksujących uzyskano wartość liczby  $Ks$  o około 25 mniejszą.



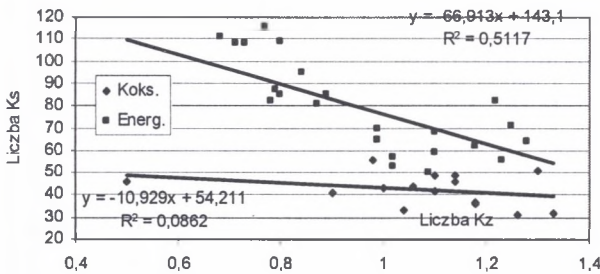
Rys. 9. Wpływ metanonośności pokładu i typu węgla na wskaźnik samozapalenia  $Sz^a$   
 Fig. 9. The influence of methane content in the coal and type of the coal on an coefficient spontaneous combustion of coal

Na rys. 10 pokazano wpływ temperatury górotworu na wartość wskaźnika  $Sz^a$ . Jak wynika z rysunku, wzrost temperatury górotworu powoduje spadek wskaźnika  $Sz^a$  niezależnie od typu węgla, przy czym dla węgla energetycznych widać, że są to zmiany istotne.

Na rys. 11 pokazano wpływ głębokości zalegania pokładów i typu węgla na wartość wskaźnika  $Sz^a$ . Jak wynika z rysunku wzrost głębokości zalegania pokładu powoduje spadek wartości wskaźnika  $Sz^a$ . Dla węgla energetycznych jest to istotna zmiana, zaś dla węgla koksujących, niewielka zmiana i niewielka korelacja, są to zmiany podobne, jak w przypadku temperatury pierwotnej.

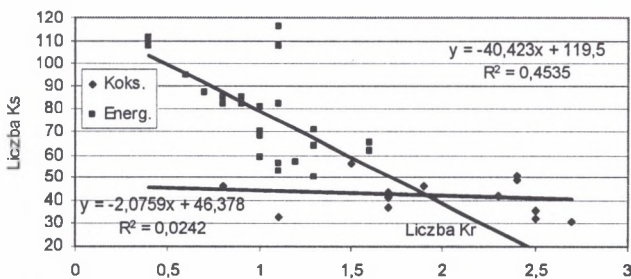


Rys. 10. Wpływ temperatury pierwotnej i typu węgla na wskaźnik samozapalenia  $S_z^a$   
 Fig. 10. The influence of virgin temperature and the type of coal on an coefficient spontaneous combustion of coal



Rys. 11. Wpływ głębokości zalegania pokładu i typu węgla na wskaźnik samozapalenia  $S_z^a$   
 Fig. 11. The influence of depth of backlog of the coal and type of the coal on an coefficient spontaneous combustion of coal

Na rys. 12 pokazano wpływ kruszalności węgla na wartość współczynnika  $S_z^a$ . Jak wynika z przedstawionego rysunku, dla węgla energetycznych uzyskano spadek wartości wskaźnika  $S_z^a$ , zaś dla węgla koksujących brak istotnego wpływu. Zmiany podobne, jak na rys. 10 i 11.



Rys. 12. Wpływ skruszenia i typu węgla na wartość wskaźnika samozapalenia  $S_z^a$   
 Fig. 12. The influence grindability and type of the coal on an coefficient spontaneous combustion of coal

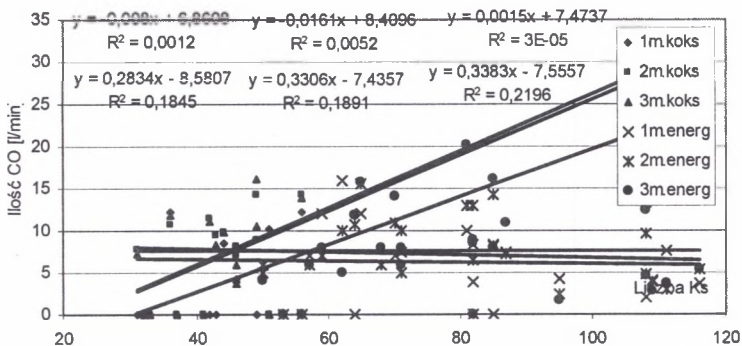
#### 4. Przełożenie zmian wskaźnika $Sz^a$ na proces samozagrzewania węgla zrobach czynnych ścian

Ponieważ wskaźnik  $Sz^a$  ma służyć wentylacyjne kopalni informować o skłonności węgla do samozapalenia, istotnym jest wykazanie, czy istnieje przełożenie jego wartości na istniejące warunki geologiczno-górnice w czynnych ścianach.

Na rys. 13 korzystając z danych dotyczących tych samych pokładów i ścian, pokazano wpływ wskaźnika  $Sz^a$  na ilość CO wydzielonego do prądu opływowego czynnych ścian węglowych, uwzględniając ponadto typ węgla i czas eksploatacji 1, 2, 3 miesiące. Na rysunku podano także równania regresji i współczynniki korelacji: dla węgla energetycznych w górnym wierszu i dla węgla koksujących w dolnym wierszu.

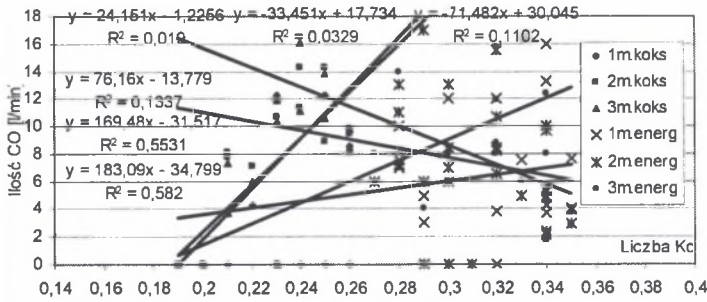
Jak wynika z przedstawionego rysunku, dla węgla koksujących uzyskano zależność świadcząca, że wzrost wskaźnika  $Sz^a$  powoduje wzrost ilości wydzielonego CO, natomiast dla węgla energetycznych ta zależność praktycznie nie istnieje.

Na kolejnym rys. 14 pokazano wpływ zawartości części lotnych na ilość wydzielonego CO do prądu opływowego w eksploatawanych ścianach. Z przedstawionego rysunku wynika, że dla pokładów metanowych wraz ze wzrostem zawartości części lotnych wzrasta ilość wydzielonego CO, zaś współczynniki korelacji są dosyć wysokie, zwłaszcza w 2 i 3 miesiącu eksploatacji ścian. Dla węgla energetycznych jest to symboliczna zależność, zaś dla 2 i 3 miesiąca uzyskano odwrotną zależność oraz bardzo niskie wartości współczynnika korelacji ( $R < 0,07$ ). Oznacza to brak zależności. Wnioski podobne jak z rysunku 13.



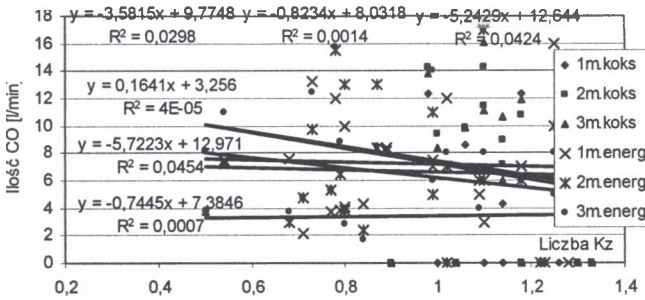
Rys. 13. Wpływ liczby  $K_s$  i typu węgla na ilość CO wydzielonego do prądu opływowego czynnych ścian

Fig. 13. The influence of number  $K_s$  and type of the coal on quantity of separated carbon monoxide streamlined current of active coal longwalls



Rys. 14. Wpływ zawartości części lotnych i typu węgla na ilość CO wydzielonego do prądu opływowego czynnych ścian

Fig. 14. The influence of volatile parts content in the coal and type of the coal on quantity of seperated carbon monoxide streamlined current of active coal longwalls



Rys. 15. Wpływ głębokości zalegania pokładów i typu węgla na ilość CO wydzielonego do prądu opływowego czynnych ścian

Fig. 15. The influence of depth of backlog of the coal and type of the coal on concentration of carbon monoxide streamlined current of active coal longwalls

Na rysunku 15 pokazano wpływ głębokości zalegania pokładów węgla na ilość CO wydzielonego do prądu opływowego w zależności od typu węgla oraz czasu eksploatacji ściany. Z rysunku wynika, że wzrost głębokości nie ma istotnego wpływu na ilość wydzielonego CO niezależnie od typu węgla. Jedynie w pierwszym miesiącu eksploatacji ściany w pokładzie metanowym stwierdza się mniejsze wydzielanie CO (około 3,5 ppm).

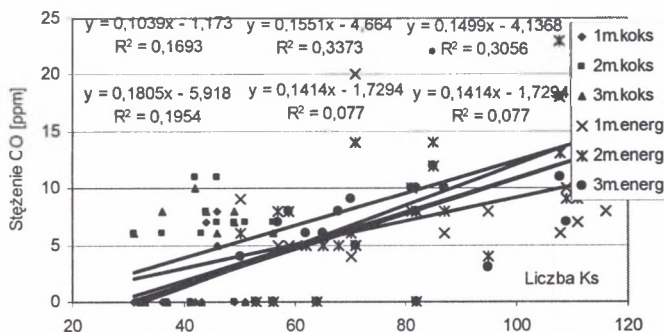
Analiza wpływu temperatury pierwotnej i kruszalności węgla nie wykazała istotnego ich wpływu na ilość wydzielonego CO niezależnie od typu węgla.

Na rys. 16 pokazano wpływ liczby Ks na stężenie CO w prądzie opływowym czynnych ścian w zależności od typu węgla i czasu eksploatacji oraz podano równania regresji i współczynniki korelacji wg zasad stosowanych na rys. 13.

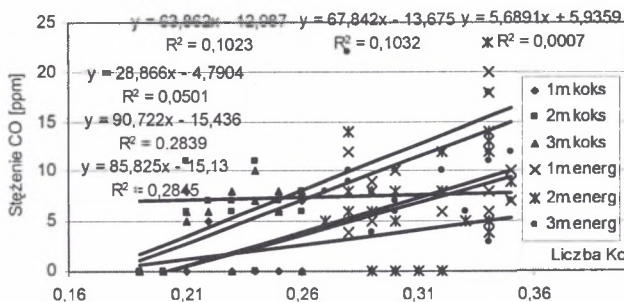
Z rysunku 16 wynika, że wzrost wskaźnika  $Sz^a$  powoduje wzrost stężenia CO w prądzie opływowym ścian eksploatujących węgle energetyczne oraz niewielki wpływ przy eksploatacji węgla koksujących (odwrotnie jak w przypadku ilości CO). Także czas



eksploatacji ma znaczenie, gdyż wzrost czasu eksploatacji z 1 do 2 miesięcy powoduje wzrost stężenia CO w przypadku węgla energetycznych i spadek w przypadku węgla koksujących.



Rys. 16. Wpływ liczby Ks i typu węgla na stężenie CO w prądzie opływowym czynnych ścian  
Fig. 16. The influence of number Ks and type of the coal on concentration of carbon monoxide streamlined current of active coal longwalls



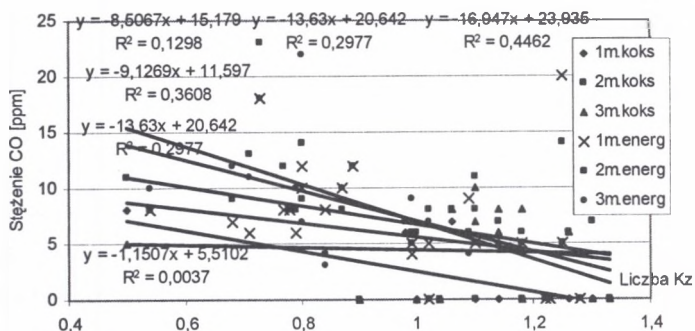
Rys. 17. Wpływ zawartości części lotnych i typu węgla na stężenie CO w prądzie opływowym czynnych ścian  
Fig. 17. The influence of volatile parts content in the coal and type of the coal on concentration of carbon monoxide streamlined current of active coal longwalls

Na rysunku 17 pokazano wpływ zawartości części lotnych na stężenie CO w prądzie opływowym czynnych ścian. Z rysunku wynika, że wzrost zawartości części lotnych powoduje wzrost stężenia CO w powietrzu, przy czym znaczący tylko w przypadku węgla koksujących. Ponadto w przypadku węgla koksujących w pierwszym miesiącu ten wpływ jest niewielki, zaś w przypadku węgla energetycznych najmniejszy wpływ zachodzi w trzecim miesiącu.

Na rysunku 18 pokazano wpływ głębokości zalegania pokładów węgla na stężenie CO w prądzie opływowym. Z przedstawionego rysunku wynika, że wzrost głębokości zalegania pokładów węgla powoduje spadek stężenia CO w prądzie opływowym niezależnie od typu węgla. Potwierdza to zmiany przedstawione na rys. 5, 6, 7. Zauważono także, że stężenie CO i współczynnik korelacji dla węgla koksujących maleje wraz z upływem czasu, zaś dla węgla

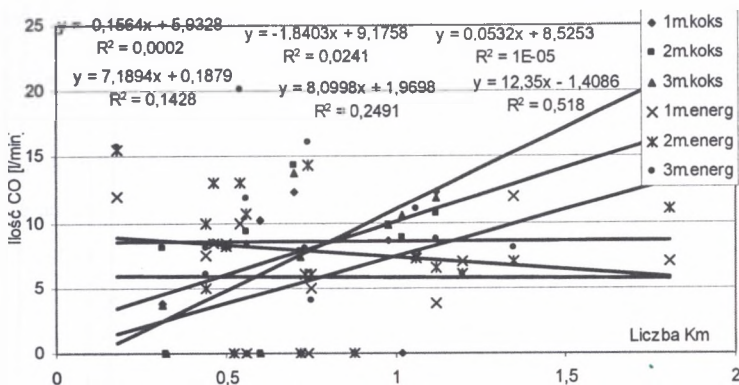


energetycznych rośnie wraz z upływem czasu. Jak widać uzyskano dość wysokie współczynniki korelacji.



Rys. 18. Wpływ głębokości zalegania pokładów i typu węgla na stężenie CO prądzie opływowym czynnych ścian

Fig. 18. The influence of depth of backlog of the coal and type of the coal on concentration of carbon monoxide streamlined current of active coal longwalls



Rys. 19. Wpływ metanonośności pokładów i typu węgla na ilość CO wydzielonego do prądu opływowego czynnych ścian

Fig. 19. The influence of methane content in the coal and type of the coal on concentration of carbon monoxide streamlined current of active coal longwalls

Na rys. 19 pokazano wpływ metanonośności pokładów i typu węgla na ilość CO wydzielonego do prądu opływowego czynnych ścian. Z rysunku wynika, że dla węgla koksujących uzyskano wraz z upływem czasu eksploatacji znaczący wpływ metanonośności na ilość wydzielonego CO. Dla węgla energetycznych brak takiej zależności.

#### 4. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza wpływu parametrów fizykochemicznych węgla na wartość wskaźnika samozapalenia  $Sz^a$  oraz możliwość przełożenia wyników badań na warunki kopalniane pozwala stwierdzić:

- a) Przeprowadzona analiza przebiegu badań laboratoryjnych wskaźnika  $Sz^a$  wykazała, że można go ująć w liczbie podobieństwa zjawisk fizycznych  $Ks$  i zastosować w praktyce.
- b) Poprawę dokładności klasyfikacji pokładów węgla z uwagi na skłonność do samozapalenia w przypadku stosowania wskaźnika  $Sz^a$  uzyska się poprzez uwzględnienie współczynnika wyrównywania temperatury w badanym węglu. Korzystając z zależności (2), poprzez wprowadzenie średniej wartości współczynnika  $a$ , np.  $a_s=0,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  można uzyskać wartość współczynnika  $Sz_n^a$  wymaganą do zaliczeń pokładu. W tym celu należy wykonać przeliczenie  $Sz_n^a = Sz^a \cdot \frac{0,3 \cdot 10^{-6}}{a}$ . W ten sposób usunie się przypadkowe zaliczenia pokładów zamiast do V grupy, pokład może być zaliczony np. do I grupy samozapalności. Należy w tym celu zmienić normę PN-93/G-04558.
- c) Przeprowadzone badania wykazały istotny wpływ typu węgla: koksujący lub energetyczny na wartość wskaźnika samozapalenia  $Sz^a$ , a także na stężenie i ilość CO wydzielonego do prądu opływowego czynnych ścian. Można w tym przypadku mówić, że grupa obejmująca czynniki chemiczne: zawartość części lotnych, wody i metanu w węglu, ma inny wpływ niż grupa czynników fizycznych obejmujących: temperaturę pierwotną węgla, głębokość zalegania i kruszalność węgla. Należy pamiętać, że między zawartością wody w węglu, temperaturą pierwotną i głębokością zalegania istnieje ścisły związek. Wraz z głębokością zalegania pokładu rośnie jego temperatura pierwotna i maleje zawartość wody. Nie należy zapominać także o wpływie czasu eksploatacji ściany. Wyniki badań wykazały odmienność zachowań się węgla w 1, 2 i 3 miesiącu eksploatacji. Wskaźnik  $Sz^a$  dla węgla koksujących jest mniejszy o około 25 K/min.
- d) Istnieje niewielka korelacja między wskaźnikiem samozapalenia węgla  $Sz^a$  a stężeniem CO w prądzie opływowym czynnych ścian eksploatujących węgle energetyczne. Z tego względu jego stosowanie może być uzasadnione. Można wyrazić pogląd, że istotny wpływ na proces samozapalenia węgla energetycznych ma wydatek powietrza płynącego wzdłuż ociosu węglowego.

- e) W przypadku węgla koksujących istotny wpływ głębokości eksploatacji odnotowano dla pierwszego miesiąca eksploatacji ściany. Istnieje brak przełożenia wyników badań laboratoryjnych na profilaktykę pożarową. Istotny wpływ na taki wynik analizy, w przypadku węgla koksujących, może mieć niewielki zakres  $31 < S_z^d < 56$  w porównaniu do węgla energetycznych, gdzie  $53 < S_z^d < 116$ .
- f) Należy zweryfikować dotychczasowy pogląd dotyczący stosowania współczynnika korekcyjnego uwzględniającego temperaturę początkową utleniania węgla przy obliczaniu czasu inkubacji pożaru.
- g) Uwzględnienie współczynnika wyrównywania temperatury w badanym węglu w dalszej konsekwencji może doprowadzić do zmian przedziałów skłonności do samozapalenia w tablicy 1, a także poprawić stan bezpieczeństwa pożarowego w kopalniach węgla kamiennego.

Przeprowadzona analiza nie stanowi zamknięcia badań nad skomplikowaną naturą pożarów podziemnych, ale stanowi cenną wskazówkę dla kadry inżynieryjno-technicznej w zakresie oceny skłonności węgla do samozapalenia i czasu inkubacji pożarów endogenicznych.

## LITERATURA

1. Adamus A., Prokop P., Sancer J.: Binarne wskaźniki termicznego utleniania węgla w kopalniach OKR. 10. Sesja Międzynarodowego Biura Termofizyki Górniczej. Gliwice 2005.
2. Budryk W. i inni.: Pożary podziemne. Biuro Wyd. Techn. CZPW. Katowice 1947.
3. Cygankiewicz J.: Nowa metoda oceny zagrożenia pożarem endogenicznym w rejonach eksploatacyjnych kopalń. Szkoła Aerologii Górniczej. Wyd. „EMAG”. Katowice 2004.
4. Cygankiewicz J.: Ocena ryzyka pożaru endogenicznego w rejonach eksploatacyjnych kopalń. Wiadomości Górnicze. nr 9 2003.
5. Cygankiewicz J.: Problem samozapalności w świetle badań laboratoryjnych i kopalnianych. Główny Instytut Górnictwa. Katowice (rękopis) 2005.
6. Chmura K., Chudek M.: Geotermomechanika górnictwa. Wyd. „Midach”. Mikołów 1998.
7. Dubiński J., i inni.: Koncentracja wydobycia a zagrożenia górnictwa. Wyd. „GIG”. Katowice 1999.
8. Frączek F.: Aerologia górnictwa. Przykłady i zadania. Wyd. Katedra Elektr. i Aut. Górn. Pol. Śląskiej. Gliwice 2003.
9. Frączek R.: Uwagi do pracy dr inż. Janusza Cygankiewicza pt. „Ocena ryzyka pożaru endogenicznego w rejonach eksploatacyjnych kopalń”. Wiadomości Górnicze. nr 5. 2005.
10. Frączek R.: Model samozagrzenia węgla w zrobach czynnych ścian. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie. nr 9 2005.

11. Maciejasz Z., Kruk F.: Pożary podziemne w kopalniach. Wyd. „Śląsk” Katowice 1977.
12. Paszkowski P. S., Grekow S. P.: Wpływ intensywności wydzielania metanu z urobionego węgla na skłonność do samozapalenia. 10. Sesja Międzynarodowego Biura Termofizyki Górniczej. Gliwice 2005.
13. Praca zbiorowa.: Poradnik Górnika. T.2 i 3. Wyd. „Śląsk” Katowice 1974.
14. Rozporządzenie MG z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu i specjalistycznego zabezpieczenia pożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz. U. Nr 139 poz. 1169 z dnia 2 września 2002r.).
15. Szarawara J.: Termodynamika chemiczna stosowana. WNT. Warszawa 1997.
16. Waclawik J., Cygankiewicz J., Branny M.: Niektóre zagadnienia pożarów endogenicznych. Wyd. Szkoła eksploatacji podziemnej. PAN. Kraków 2000.
17. Wystemp E.: Endogeniczne efekty energetyczne poprzedzające proces samozagrzewania się węgla. Sem. XXX Dni Techniki ROP 2004. Rybnik 2004.

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