

Ryszard FRĄCZEK
PBG „ORT 'Service' Gliwice

WPŁYW KLEJÓW STOSOWANYCH DO KONSOLIDACJI GÓROTWORU NA ZAGROŻENIE POŻARAMI ENDOGENICZNYMI

Streszczenie. Omówiono przypadki powstania zagrożenia pożarowego w czynnych ścianach, w których prawdopodobną przyczyną było zastosowanie do konsolidacji węgla w ociosie i skałach stropowych znacznej ilości klejów poliuretanowych. Zwrócono uwagę na brak danych termicznych stosowanych klejów, niezbędnych przy prognozowaniu rozkładu temperatury w otaczających warstwach węglowych. Podano przykłady rozkładu temperatury w ładunku kleju oraz w węglu, oraz jej wpływ na okres inkubacji pożaru endogenicznego.

INFLUENCE OF GLUES USED TO CONSOLIDATE ROCK FORMATIONS ON THE RISK OF ENDOGENOUS FIRES

Summary. The paper discusses cases of fire risks in running longwalls, which were probably caused by the application of considerable quantities of polyurethan glues for the consolidation of coal in side walls and roof rocks. Attention was paid to the lack of thermal specifications for the used glues, which are necessary to forecast the temperature distribution in the surrounding coal layers. The examples of temperature distribution in a glue charge and coal, as well as its influence on the incubation period of endogenous fires are presented.

1. Wprowadzenie

Wymogi wzrostu postępu robót górniczych w pokładach o skomplikowanej geologii złożyła spowodowały szerokie zastosowanie materiałów służących do konsolidacji górotworu [9]. Z uwagi na wiele zalet w górnictwie polskim z pozytywnym wynikiem stosuje się kleje poliuretanowe.

Jak wynika z literatury [6,12,13,14], nieumiejętne stosowanie klejów może prowadzić do powstania pożarów oraz do zatrucia załogi toksycznymi produktami palenia się klejów poli-

uretanowych. W pracy Wachowicza [12] podano przykłady pożarów w kopalniach niemieckich i francuskich. W kopalniach polskich do 2003 r. – jak stwierdza autor – nie zanotowano przypadku pożaru z przyczyn stosowania spoiw poliuretanowych.

Z raportu [8] wynika, że w 2004 r. w kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego było 5 pożarów endogenicznych (KWK Bielszowice, Halemba, Śląsk, ZG Centrum, Janina), z uwagi na trudne warunki stropowe (zaburzenia geologiczne, uskoki), w 3-4 przypadkach, nie można wykluczyć, że przyczyną pożaru mogły być stosowne środki chemiczne i kleje.

W pracy [13] autorzy omówili skutki palenia się klejów poliuretanowych. Wymienia się także tragiczny wypadek, jaki miał miejsce w kopalni złota Kinnros w RPA, gdzie na skutek zatrucia toksycznymi gazami powstałymi w czasie palenia się pianki poliuretanowej zginęło 177 górników.

Autorowi niniejszej pracy znane są przypadki powstania zagrożeń pożarowych w miejscu stosowania klejów poliuretanowych, a ponieważ skutki tych zdarzeń nie spowodowały uszczerbku na zdrowiu pracującej załogi, w związku z tym nadzór górniczy nie prowadził dochodzeń i zdarzenia te nie zostały ujęte w statystyce. Znane są również przypadki zamykania ścian eksploatacyjnych w wyniku stwierdzenia w prądzie opływowym stężeń tlenu węgla $CO > 26 \text{ ppm}$ – zgodnie z wymogami przepisów [10].

W niniejszej pracy omówiono cztery przypadki związane z zatamowaniem czynnych ścian, w których stosowano znaczne ilości klejów poliuretanowych. W efekcie stosowania klejów po pewnym okresie czasu stwierdzono gwałtowny przyrost tlenu węgla i w dalszej konsekwencji podjęto decyzję o zaizolowaniu ścian.

2. Wyniki badań laboratoryjnych nad klejami poliuretanowymi

W pracach Wachowicza [12,13] omówiono wyniki badań, jakie przeprowadzono w GIG Katowice. Badania dotyczyły zmian temperatury spoiw poliuretanowym podczas ich utwardzania dla różnych proporcji składników A i B (składnik A – polioliol, składnik B – izocyjanian). Maksymalna temperatura mieszaniny reakcyjnej zmierzona podczas sieciowania spoiwa – dla proporcji składników A i B jak 3:7 – wyniosła 158°C . W czasie reakcji egzotermicznej wydziela się ciepło w ilości $146,5 \text{ kJ/mol}$. Badania przeprowadzono na próbkach o masie 1 do 12 kg. Zwrócono uwagę na bardzo powolny spadek temperatury spoiwa.

W pracy Cygankiewicza [4] przeprowadzono podobne badania, ale dotyczyły one tylko kleju Ekopur W, produkowanego przez Ekochem SA. W tym przypadku do badań użyto około 9 kg kleju. Temperatura spoiwa po utwardzeniu wynosiła 112-138°C.

Należy dodać, że wymienione badania dotyczyły także pomiaru zmian temperatury w węglu lub miale węglowego na kontakcie ze spoiwem oraz 1, 3, 5, 10 cm od powierzchni kontaktu z próbą kleju. Badania te nie odzwierciedlały jednak warunków stosowania kleju w wyrobiskach górniczych, gdzie wymiana ciepła odbywa się w sześciu kierunkach (w badaniach uwzględniono tylko jeden kierunek).

Jak wiadomo z relacji osób nadzorujących prace związane z konsolidacją górotworu i wypełnieniem pustek – do otworu wprowadza się do 300 kg kleju. Klej wnika do szczelin górotworu, ale także zatrzymuje się w pustkach, których objętości mogą wynosić do około 0,3 m³. W tak dużych pustkach ładunek kleju najczęściej przyjmuje kształt walca albo kuli. Wymiana ciepła zaś odbywa się we wszystkich kierunkach.

Uzyskane wyniki badań wymienionych prac pozwoliły autorowi niniejszej pracy oszacować niezbędne dane wejściowe do obliczeń temperatury kleju w zależności od masy kleju i upływu czasu. Dane dotyczą:

- współczynnika przewodzenia ciepła kleju $\lambda_k=0,11\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,
- ciepła właściwego kleju $c_{pk}=1,2\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

Mając gęstość kleju $\rho_k=1050\text{ kg}/\text{m}^3$, można łatwo obliczyć współczynnik wyrównywania temperatury kleju:

$$a = \frac{\lambda_k}{c_{pk} \cdot \rho_k} = \frac{0,11}{1200 \cdot 1050} = 0,09 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (1)$$

który jest niezbędny do prognozowania temperatury ładunku kleju.

Korzystając z pracy [11] sporządzono rys. 2, na którym pokazano zmianę temperatury w środku ładunku kleju, przyjmując jego masę: 1 kg, 10 kg i 100 kg. Uwzględniono upływ czasu od zakończenia klejenia: 1 h, 10 h, 100 h, 500 h, 1000 h i 2000 h oraz temperaturę górotworu $v=40^\circ\text{C}$. Dla sporządzenia rysunku przyjęto dane wejściowe:

$$\Theta = \frac{T - T_o}{T_p - T_o} \text{ – temperaturę bezwymiarową,} \quad (2)$$

$$Fo = \frac{a \cdot t}{r^2} \text{ – liczbę Fouriera} \quad (3)$$

$$Bi = \frac{\alpha \cdot r}{\lambda_k} \text{ – liczbę Biota} \quad (4)$$

gdzie:

T – temperatura w środku kuli, °C,

T_o – temperatura otoczenia (górotworu), °C,

T_p – temperatura początkowa kleju, °C,

α – współczynnik wnikania ciepła z górotworu do powietrza, $W/(m^2 \cdot K)$,

r – promień ładunku kleju, m,

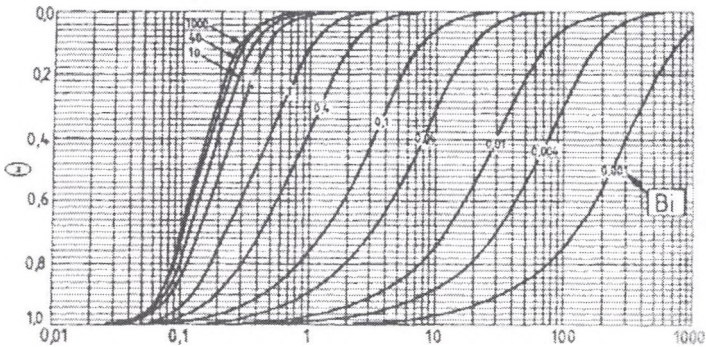
t – okres czasu, jaki upłynął od zakończenia klejenia, s.

Dla ładunków kleju o masie: $m_1=1$ kg, $m_2=10$ kg, $m_3=100$ kg obliczono promienie kuli, a następnie przy założeniu $\alpha=1 W/(m^2 \cdot K)$, obliczono wartości liczby Bi oraz liczby Fo . Korzystając z wykresu rys. 1, odczytano wartość:

$$\Theta = f(Fo, Bi) \quad (5)$$

a następnie obliczono temperaturę w środku ładunku kleju:

$$T = \Theta \cdot (T_p - T_o) + T_o, \quad ^\circ C \quad (6)$$

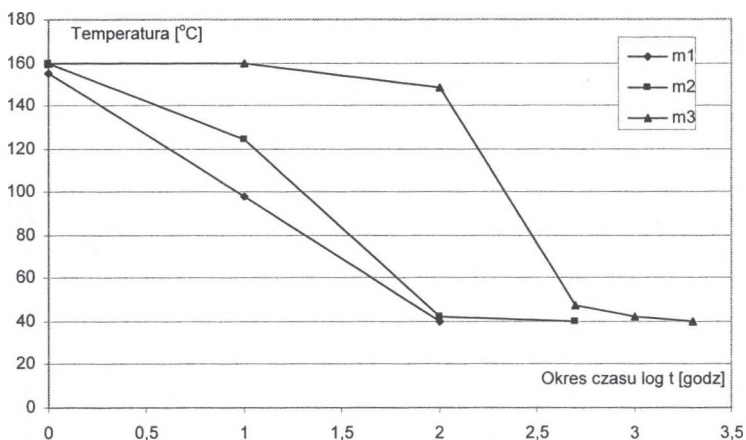


Rys. 1. Zredukowana temperatura w środku kuli [11]

Fig. 1. Reduction temperature in the center of a sphere [11]

Z rys. 2 wynika, że kleje o ładunkach małych szybko stygną. Ładunek kleju o masie 1kg, po 10 h ma temperaturę $100^\circ C$, a po 100 h jego temperatura wyrównuje się z temperaturą górotworu. W przypadku dużych ładunków kleju - np. o masie 100 kg – jak wynika z rysunku – po 10 h temperatura w środka się nie zmienia, a po 100 h spada do $146^\circ C$. Całkowite wystygnięcie ładunku kleju następuje dopiero po 2000 h.

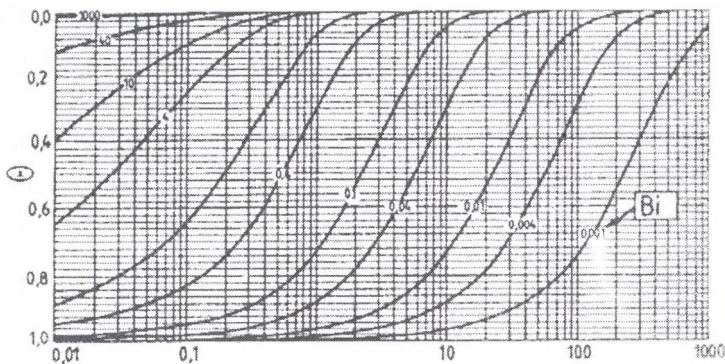
Na rys. 4 przedstawiono rozkład temperatury w warstwie węgla o grubości 0,12 m (takiej jaką stosuje się w badaniach laboratoryjnych w GIG w Katowicach, [2,3,15]. W celu wyznaczenia temperatury powierzchni węgla na styku z ładunkiem kleju (dolotowa), oraz na powierzchni kontaktu z węglem (wylotowa) skorzystano także z zależności (2,3,4,5,6) oraz wykresu z pracy [11] - rys. 3.



Rys. 2. Wpływ masy kleju i upływu czasu od utwardzenia na temperaturę w środku ładunku
 Fig. 2. Influence of mass of glue and time from toughness on the temperature inside a charge

W związku z tym wykonano nowe obliczenia liczb Bi i Fo uwzględniając w tym celu dane fizyko-termiczne węgla:

- współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda_w=0,4 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,
- ciepło właściwe $c_{pw}=1,0 \text{ kJ}/\text{kg}$,
- gęstość węgla w caliznie $\rho=1300 \text{ kg}/\text{m}^3$,
- współczynnik wyrównywania temperatury $a=0,3\cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

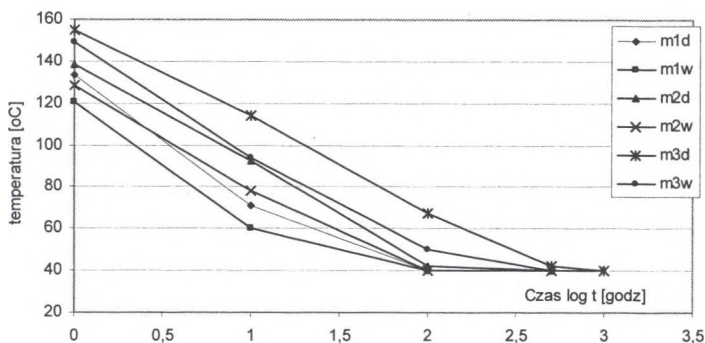


Rys. 3. Zredukowana temperatura na powierzchni kuli [11]
 Fig. 3. Reduction temperature on the surface of a sphere [11]

Na rys. 4 zastosowano oznaczenia:

- m1d – masa kleju 1kg, temperatura na styku z klejem,
- m1w – masa kleju 1 kg, temperatura na styku z węglem,
- m2d – masa kleju 10 kg, temperatura na styku z klejem,

- m2w – masa kleju 10 kg, temperatura na styku z węglem,
- m3d – masa kleju 100 kg, temperatura na styku z klejem,
- m3w – masa kleju 100 kg, temperatura na styku z węglem.



Rys. 4. Przebieg zmian temperatury na powierzchni węgla w kontakcie z ładunkiem kleju i węglem
 Fig. 4. Temperature change progress on the coal surface in contact with a glue charge and coal

Z rys. 4 wynika, że w przypadku kleju o masie 1 kg temperatura próby węgla po 10 h osiąga temperaturę ponad 60°C, a po 100 h spada do 40°C, tj. temperatury pierwotnej górotworu. Podobne zmiany zachodzą przy masie 10 kg kleju. Dopiero ładunki kleju powyżej 100 kg uzyskują wysoką temperaturę przez długi okres czasu.

3. Zagrożenie pożarowe w wyrobiskach ścianowych, gdzie stosowano kleje poliuretanowe

W wielu kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w ostatnich latach stwierdzono, że w wielu czynnych i likwidowanych ścianach przyczyną powstania zagrożenia pożarowego mogło być zastosowanie klejów poliuretanowych. Stwierdzenie to wynika z obserwacji składu gazów zrobowych w czasie ruchu ściany bez stosowania klejów i przy ich zastosowaniu.

Skomplikowana tektonika złoża, niska wytrzymałość stropu bezpośredniego na ściskanie (łupki ilaste o wytrzymałości 16-22 MPa, węgiel – 10-14 MPa) powoduje liczne obwały, a to wymaga zastosowania sztucznego stropu lub konsolidacji górotworu – stropu bezpośredniego oraz frontu ściany. W tabelicy 1 podano istotne dane dotyczące ścian, w których wystąpiło zagrożenie pożarowe, oraz stosowanych klejów.

Tablica 1

Dane techniczne ścian i stosowanych klejów poliuretanowych

Lp.	Dane	Jedn.	A	B	C	D
1.	Długość	m	226	187	144-200	181
2	Wysokość ściany	m	3,6	2,4	2,5	2,5
3.	Wybieg	m	42	350	577	5,5
4.	Postęp w ostatnim mies.	m/mies.	13	9	6,5	5,5
5	Czas eksploatacji	mies.	2	14	14	-
6.	Kąt nachyl. pokładu	stop.	0-16	6-7	9-10	2-13
7	Rodzaj kleju	-	-	-	Ekopur W	Ekopur W
8	Ilość stos. kleju w ostatnim mies.	kg/mies.	-	-	975	105
9	Ilość stos. kleju 2 mies. wstecz	kg/mies.	-	-	1900	325
10	Ilość stos. kleju 3 mies. wstecz	kg/mies.	7020	-	2850	9015

Pokłady węgla, w których prowadzono ściany – jak wynika z badań na okoliczność skłonności węgla do samozapalenia przeprowadzonych w GIG w Katowicach – miały wskaźniki pożarowe: $Sz^a=49$ K/min, $A=81$ kJ/mol i okres inkubacji pożaru 74 dni. Oznacza to, że węgiel z tych pokładów należy zaliczyć do węgli o bardzo małej skłonności do samozapalenia.

W ostatnich 3 miesiącach przed zatamowaniem ścian wyszczególnionych w tablicy 1, do wzmacniania górotworu w ścianach stosowano oprócz kleju Ekopur W także kleje: Ekopur HW, Ekopur S, Izopur GR, Fenoflex K. Jak wynika z tablicy 1, przed wystąpieniem zagrożenia pożarowego w eksploatowanych ścianach postępy miesięczne wynosiły 5,5-13 m/miesiąc.

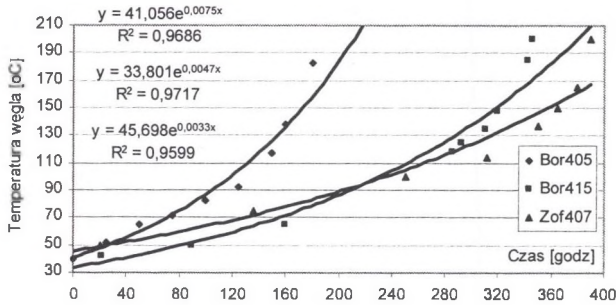
W przypadku ściany D cały postęp ściany wyniósł 5,5 m. Tyle węgla wybrano od powierzchni ścianowej, w której do konsolidacji stropu zastosowano prawie 9500 kg kleju poliuretanowego. Po uzyskaniu zawału stropu bezpośredniego (węgla skonsolidowanego klejem) pojawiły się dymy i duże stężenia tlenu węgla. Ściana została niezwłocznie zaizolowana i zalana wodą na okres dwóch tygodni. Po tym okresie ścianę uruchomiono, a konsolidację górotworu przeprowadza się nową technologią, także z użyciem kleju, ale o mniejszych łądkach.

W dowierzchni ścianowej A zużycie kleju na poszczególnych odcinkach ściany wykonywanych w trzech transzach wynosiło 7020 kg. Średnio na odcinku 1m długości ściany zużyto 63 kg kleju.

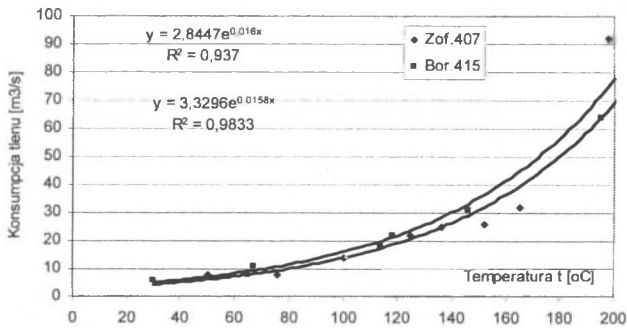
Na rys. 5 pokazano, jak w badaniach laboratoryjnych, w warunkach adyabatycznych przebiega przyrost temperatury próby węgla w czasie [3,4]. Na rysunku uwzględniono badania wykonane na próbach węgla:

- Bor405 – węgiel z pokładu 405/1 w KWK Borynia,
- Bor415 – węgiel z pokładu 415 w KWK Borynia,
- Zof407 – węgiel z pokładu 407 w KWK Zofiówka.

Jak wynika z rysunku, węgle mogą się cechować różną prędkością samonagrzewania. Na rysunku, w założonej kolejności, podano także równania regresji i współczynniki korelacji R^2 . Ponadto z rysunku wynika, że wzrost temperatury początkowej próby węgla w istotny sposób skraca czas osiągnięcia temperatury zapłonu węgla.



Rys. 5. Wpływ czasu na temperaturę węgla uzyskany w warunkach laboratoryjnych [3,4]
Fig. 5. Influence of time on coal temperature – obtained under laboratory conditions [3,4]



Rys. 6. Wpływ czasu na konsumpcję tlenu przez próbę węgla [1,2,3]
Fig. 6. Influence of time on oxygen consumption by a coal sample [1,2,3]

Na rys. 6 przedstawiono szybkość reakcji utleniania próby węgla pobranego z pokładu 415 w KWK Borynia i węgla z pokładu 407 w KWK Zofiówka zamieszczone w pracy [4]. Podano także równania regresji i współczynniki korelacji. Jak wynika z rysunku, wzrost temperatury węgla powoduje szybki wzrost konsumpcji tlenu przez badany węgiel.

4. Ocena wpływu ciepła wydzielonego przez ładunek kleju na zagrożenie samozagrzania węgla

Korzystając z prac [2,6,11,12,13], można podać zależność, która posłuży do obliczenia temperatury węgla w otoczeniu ładunku kleju:

$$t_w = v \cdot e^{-b} + (1 - e^{-b})(t_s + \Delta t), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7)$$

gdzie:

t_w – temperatura samonagrzewającego się węgla, $^\circ\text{C}$,

v – temperatura pierwotna samozagrzewającego się węgla, $^\circ\text{C}$,

t_s – temperatura ścianki węgla, $^\circ\text{C}$,

Δt – przyrost temperatury próbki węgla przez strumień ciepła utleniania węgla, K.

Kolejność obliczeń jest następująca:

- znając konsumpcję tlenu oraz stosunek CO_2/CO , obliczamy strumień ciepła wydzielony w procesie utleniania węgla:

$$Q = v_1 \cdot p_1 \cdot c_{u1} + v_1 \cdot p_2 \cdot c_{u2}, \text{ W} \quad (8)$$

gdzie:

v_1 – konsumpcja tlenu, m^3/s ,

p_1, p_2 – udział procentowy CO_2 i CO w konsumpcji tlenu, %,

c_{u1}, c_{u2} – ciepło tworzenia CO_2 i CO , J/kmol.

Obliczamy współczynnik nieustalonej wymiany ciepła k_r na styku węgiel – powietrze. W tym celu korzystamy z prac [6,10,14,15],

- obliczamy liczbę:

$$b = \frac{k_r \cdot r}{\lambda_w} \quad (9)$$

- obliczamy:

$$\Delta t = \frac{Q - Q_p}{k_r \cdot A} \quad (10)$$

gdzie:

A – powierzchnia wymiany ciepła z powietrzem, m^2 ,

Q_p – strumień ciepła parowania wody, W,

λ_w – współczynnik przewodzenia ciepła kleju, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,

- obliczamy strumień ciepła parowania wody:

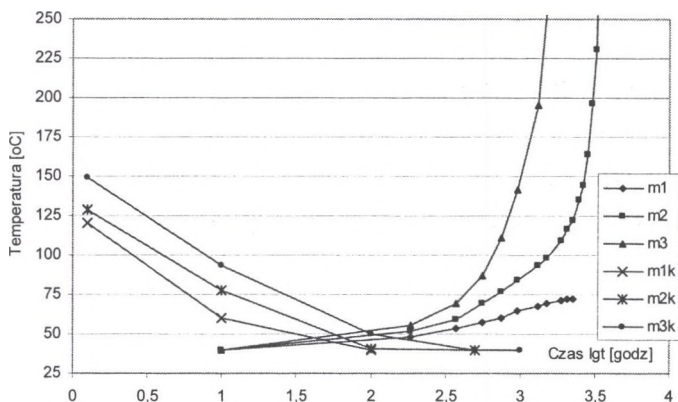
$$Q_p = p_p \cdot m_w \cdot r_p, \text{ W} \quad (11)$$

gdzie:

p_p – udział procentowy odparowanej wody, %/h,

m_w – zawartość wody w węglu, kg/kg ,

r_p – ciepło parowania wody, kJ/kg .



Rys. 7. Wpływ czasu na temperaturę kleju i węgla
Fig. 7. Influence of time on glue and coal temperatures

Na rys. 7 przedstawiono wyniki obliczeń temperatury węgla jako funkcji czasu. Na rysunku zastosowano oznaczenia:

- m1 – węgiel w otoczeniu ładunku kleju o masie 1 kg,
- m2 – węgiel w otoczeniu ładunku kleju o masie 10 kg,
- m3 – węgiel w otoczeniu ładunku kleju o masie 100 kg,
- m1k – ładunek kleju o masie 1 kg,
- m2k – ładunek kleju o masie 10 kg,
- m3k – ładunek kleju o masie 100 kg.

Należy dodatkowo wyjaśnić, że uwzględniono warstwę węgla wokół ładunku kleju o grubości 0,12 m (podobną do badań laboratoryjnych). W związku z tym: $m1=18$ kg, $m2=42$ kg, $m3=144$ kg. Odpowiednie promienie kuli rozpatrywanego ładunku kleju i węgla wynoszą: $r_1=0,18$ m, $r_2=0,25$ m, $r_3=0,41$ m.

Z przedstawionego rysunku wynika, że próba węgla o masie m1 zagrzewa się do temperatury około 75°C, i w tej temperaturze zachodzi dalszy proces utleniania. Próba o masie węgla m2 temperaturę 75°C osiąga po 1000 h, by po 3500 h nastąpił zapłon węgla. W próbie węgla o masie m3 po czasie 1500 h nastąpi zapłon węgla.

Jeżeli uwzględnić, że badane próby węgla po 10 h osiągną temperaturę ładunku kleju, wtedy korzystając z rys. 7 można określić, czy wystąpi pożar i po jakim czasie. W przypadku próby m1k – jak wynika z rysunku – po 10 h węgiel osiągnie temperaturę $t_1=60^\circ\text{C}$, ale nie wpłynie to na wzrost zagrożenia pożarowego.

Dla próby o masie m2k, po 10 h temperatura węgla osiągnie $t_2=78^\circ\text{C}$, oznacza to, że czas inkubacji pożaru skróci się o 650 h. Dla próby o masie m3k, po czasie 10 h węgiel uzyska

temperaturę $t_3=93,6^\circ\text{C}$. Oznacza to, że czas inkubacji pożaru skróci się o 500 h. W związku z tym pożar może wystąpić już po 1000 h (42 dniach). Uzyskane wyniki obliczeń są zbliżone do wyników, jakie uzyskał Cygankiewicz w pracy [4].

Korzystając z rys. 7, można także zinterpretować wpływ obniżonej temperatury reakcji klejów na okres inkubacji pożaru endogenicznego.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami przez pożar należy rozumieć nie tylko pojawienie się otwartego ognia, ale i stężenia tlenków węgla powyżej 26 ppm. Wykonane obliczenia pozwolą stwierdzić możliwy stan zagrzania węgla. Wytworzone tlenki węgla z próby samonagrzewającego się węgla, np. w temperaturze 75°C , mogą przekroczyć dopuszczalne stężenie w prądzie wydechowym. Jeżeli zagrożony rejon zostanie tylko otamowany (nie zatopiony), to zagrożenie pożarowe może dalej wzrastać.

5. Zakończenie

Powszechnie stosowane do konsolidacji górotworu kleje poliuretanowe [9], przy użyciu dużych ładunków kleju, mogą spowodować skrócenie czasu inkubacji pożaru endogenicznego. Aby umożliwić analizę wpływu ładunku kleju na proces samozagrzania węgla, należy przebadać laboratoryjnie węgiel na okoliczność:

- konsumpcji tlenu jako funkcji temperatury,
- stosunku wydzielanych gazów CO_2/CO jako funkcji temperatury,
- przebiegu procesu parowania wody (niekonieczne, gdy zawartość wody $m_w < 0,001$ kg/kg),

oraz stosowane kleje na okoliczność:

- współczynnika przewodzenia ciepła,
- ciepła właściwego,
- temperatury reakcji kleju.

Stosując przedstawioną metodykę obliczeń, uwzględniając wielkość bryły węgla lub grubość pokładu przepadającego do zawału, można uzyskać dość dokładny czas inkubacji pożaru (ognia otwartego). Dla danej partii pokładu i rodzaju stosowanego kleju można określić jego maksymalny ładunek.

LITERATURA

1. Adamus A., Prokop P., Sancer J.: Binary indicators of thermal oxidation in workings. Materiały 10. Sesji MBTG. Wyd. Pol. Śląska. Gliwice 2005.
2. Cygankiewicz J.: Ocena ryzyka pożaru endogenicznego w rejonach eksploatacyjnych kopalń. Wiadomości Górnicze nr 9.
3. Cygankiewicz J.: Problem samozapalności w świetle badań laboratoryjnych i kopalniowych. GIG Katowice (praca niepublikowana) Katowice 2005.
4. Cygankiewicz J.: Prowadzenie badań kleju poliuretanowego Ekopur W firmy Ekochem SA pod kątem jego wpływu na samonagrzewanie węgla ortokoksowych. GIG, Katowice (praca niepublikowana) Katowice 2004.
5. Dziurzyński W. i inni.: Potencjalne zagrożenie od środków chemicznych stosowanych do uszczelnienia górotworu. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie. Nr 7. 2002.
6. Frączek F.: Aerologia górnicza. Przykłady i zadania. Wyd. Katedra Elektr. i Aut. Górn. Pol. Śląskiej. Gliwice 2005.
7. Frączek R.: Model samozagrzania węgla w zrobach czynnych ścian. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie. nr 10-11, 2005.
8. Konopko W. i inni.: Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego. Wyd. GIG, Katowice 2005.
9. Matuszewski K.: Nowe środki mineralne i chemiczne stosowane w profilaktyce górniczej. Wiadomości Górnicze. nr 6. 2005.
10. 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 2002 r.).
11. Tomeczek J.: Termodynamika. Polit. Śląska, Gliwice 1999.
12. Wachowicz J.: Zagrożenia pożarowe w kopalniach wynikające z nagrzewania się spoiwa poliuretanowego stosowanego do konsolidacji górotworu. Przegląd Górniczy. Nr 12. 2003.
13. Wachowicz J., Dziurzyński W.: Produkty rozkładu termooksydacyjnego pianek i spoiw organicznych stosowanych w górnictwie do uszczelniania i konsolidacji górotworu. Przegląd Górniczy. Nr 4. 2004.
14. Wachowicz J.: Materiały organiczne do konsolidacji i uszczelniania górotworu – zagrożenia związane z ich stosowaniem w kopalniach węgla. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie. Nr 7. 2004.
15. Waclawik J., Cygankiewicz J., Branny M.: Niektóre zagadnienia pożarów endogenicznych. Wyd. Szkoła Eksploatacji Podziemnej. PAN. Kraków 2000.
16. Woropajew A.F.: Tieplowoje kondicionirowanije rudnicznowo wozducha w głębokich szachtach. Wyd. „Niedra”, Moskwa 1979.

Recenzent: Dr hab. inż. Marian Kolarczyk, prof. nzw. w Pol. Śl.