

Bronisław Kajewski, Zbigniew Kobiela**

PROGNOZOWANIE I KONTROLOWANIE DYNAMICZNYCH ZJAWISK METANOWYCH W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO NA PODSTAWIE POMIARU TEMPERATURY WZGLĘDNEJ CALIZNY WĘGLOWEJ

Streszczenie

W artykule przedstawiono rezultaty wieloletnich badań autorów nad zmianą temperatury względnej węgla w pokładach pod wpływem desorpcji metanu, prowadzonych w Głównym Instytucie Górnictwa. Pozwoliły one na opracowanie kryteriów, metody i aparatury pomiaru temperatury względnej węgla w strefie okoloprzodkowej pod wpływem desorpcji metanu i zachodzących procesów endotermicznych. Przedstawiono propozycję zastosowania pomiaru temperatury względnej węgla w pokładach nasyconych metanem dla bieżącej oceny stanu zagrożenia metanem oraz zjawiskami gazogeodynamicznymi w strefie okoloprzodkowej. Przedstawiona metoda pomiarowa i aparatura pozwalają szybciej i dokładniej ocenić rzeczywiste zagrożenie metanowe i zagrożenie zjawiskami gazogeodynamicznymi w drążonych wyrobiskach, w pokładach nasyconych metanem.

Forecasting and monitoring of dynamic methane phenomena in coal mines based on the relative temperature of unmined coal

Abstract

The paper discusses the method and apparatus for non-contact measurement of temperature of the coal mass within prospecting boreholes, with the aim of making a current prognosis of the hazard due to the outburst of methane and rock in driven mine headings, and of determining the buffer zone to protect the heading against unexpected outbursts. The probe to control borehole temperature operates on the basis of non-contact measurement of temperature. It is designed to perform continuous measurements of the relative temperature along the walls of the prospecting borehole with the diameter of 50–90 mm, and to determine the outburst hazard zones in the coal headings of the mine workings. The measurement of temperature along the borehole, realised by means of the probe, is aimed at locating the hazard zone (HZ) in respect of the outburst, and at simultaneous determining the buffer safety zone (BSZ). The determination of HZ and BSZ zones is of vital importance for safety of mining crews employed at driving the workings in coal seams endangered with outbursts of methane and rock. The HZ zone provides information on the location of occurrence of the hazard zone in respect of the outburst ahead of the front of the driven working. In turn, the BSZ zone defines the thickness of the stress-relieved and degassed protective coal mass, protecting the heading against a direct contact with the BSZ zone.

1. WPROWADZENIE

W wysokometanowych kopalniach węgla, w pokładach o nasyceniu metanem powyżej $8 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{czsw}}$ (w przeliczeniu na czystą substancję węglową V^{daf}), często dochodzi do groźnych dla życia górników oraz ciągłości ruchu górniczego zjawisk gazogeodynamicznych, w postaci wyrzutów metanu i węgla lub nagłych wpływów metanu. Zjawiska te stwarzają wysokie zagrożenie w kopalni, bowiem w ich wyniku nastę-

* Główny Instytut Górnictwa

puje dynamiczne przemieszczenie się do wyrobisk mas węglowo-skalnych oraz dużych ilości metanu. Wyrobisko lub wiele wyrobisk i zatrudnieni tam górnicy mogą zostać zasypani rozdrobnionymi masami skalnymi. Może wystąpić również atmosfera niezdarna do oddychania, powstała wskutek wyparcia tlenu przez metan; w wielu miejscach kopalni mogą także powstać wybuchowe nagromadzenia metanu.

W procesach urabiania węgla, w pokładach zagrożonych zjawiskami gazogeodynamicznymi, dochodzi do naruszenia pierwotnej równowagi gazowej. Wskutek tego powstaje wysoki gradient ciśnienia gazu, między odgazowaną płaszczyzną węgla w czole przodka, a silnie nasyconą metanem calizną w głębi pokładu. Prowadzi to do naruszenia stabilności gazowej i do endotermicznych procesów gazowych przed czołem przodka górniczego. W takich warunkach gazowych niezwykle ważną rolę dla bezpieczeństwa górniczego, odgrywa wczesne wykrywanie stref niebezpiecznych i ich kontrolowanie. Metodą prognozowania i kontroli zagrożeń metanowych w wysoko-metanowych pokładach węgla, zaliczonych do IV kategorii zagrożenia metanowego (IV kzm), najbardziej wiarygodną, najmniej obciążoną błędami pomiaru i równocześnie prostą i szybką do wykonania w warunkach górniczych, jest metoda pomiaru temperatury względnej (metoda termiczna), w płaszczyźnie odsłonięcia czoła przodka oraz w głębi calizny węglowej. Wyniki uzyskiwane tą metodą odzwierciedlają rzeczywiste warunki gazowe panujące w przodku górniczym, w danym miejscu i czasie. Pomiar temperatury w płaszczyźnie odsłonięcia i w głębi calizny węglowej, jest więc obiektywnym i realnym odzwierciedleniem stanu zagrożenia gazogeodynamicznego i ogólnych warunków metanowych panujących w przodku.

2. POMIAR TEMPERATURY WZGLĘDNEJ W ŚWIETLE TEORII I BADAŃ LABORATORYJNYCH

Węgiel, jako struktura o dużej powierzchni wewnętrznej i dużej porowatości, jest doskonałym sorbentem dla gazu i wody. W procesie sorpcji temperatura układu wzrasta, ma się więc do czynienia z reakcją egzotermiczną. Desorpcja gazu jest procesem odwrotnym, endotermicznym, zachodzącym w wyniku naruszenia robotami górniczymi pierwotnej równowagi sorpcyjnej i wytworzenia się gradientu ciśnienia. Tym samym w wyniku desorpcji, temperatura ośrodka (calizny węglowej) obniża się w procesie reakcji endotermicznej.

Badania laboratoryjne wykazują, że podczas desorpcji gazu obniża się temperatura sorbentu (węgla), jeżeli tylko proces przebiega w warunkach utrudnionej wymiany ciepła z otoczeniem. Takie zjawiska obserwuje się również w przodkach górniczych, w warunkach rzeczywistych w pokładach węgla zawierających znaczne ilości metanu i/lub dwutlenku węgla pochodzenia naturalnego.

Z badań prowadzonych przez Nodzeńskiego (1987) wynika, że „Spadek temperatury podczas desorpcji zależy nie tyle od różnicy ciśnień, co od ilości desorbowanego w danym zakresie ciśnień gazu. Otrzymana doświadczalnie, drogą pomiaru desorpcji nieizotermicznej, zależność obniżenia temperatury od ilości desorbowanego gazu ma charakter liniowy”. Żółcińska (1990) stwierdza, że „wzrost temperatury obniża ilość zaadsorbowanego gazu, gdyż sorpcja jest procesem egzotermicznym”. Odwrotnie,

desorpcja jako proces endotermiczny powoduje tym większe obniżenie temperatury ośrodka porowatego (sorbentu), im więcej gazu desorbuje z niego.

Należy podkreślić, że w strukturze pokładu węgla rozumianego szeroko jako silnie porowaty sorbent, procesy sorpcji (adsorpcji, absorpcji, chemisorpcji) i desorpcji zachodzą w układzie adiabatycznym. To oznacza, że w przypadku sorpcji jako przemiany egzotermicznej, temperatura układu rośnie, a w przypadku desorpcji, w przemianie endotermicznej – spada.

Zagadnienie spadku temperatury węgla podczas desorpcji gazu, zostało przeanalizowane przez Lasonia (1983), przy omawianiu fizycznego i termodynamicznego modelu zjawiska wyrzutu. Z rozważań tych wynika między innymi, że za spadek temperatury węgla podczas desorpcji, w znacznym stopniu jest odpowiedzialne ciepło desorpcji, związane z pracą desorpcji gazu.

Liniowa zależność temperatury złoża od ilości desorbowanego gazu została przewidziana również na drodze teoretycznych rozważań Jagiełły (Nodzeński, Jagiełło 1990), który, opierając się na modelu zaproponowanym przez Lasonia (1983), wprowadził równanie określające zależność temperatury od ilości sorbowanego gazu.

Nodzeński (1987) pisze, że znalezienie liniowej zależności temperatury od ilości sorbowanego gazu, w procesie desorpcji, stwarza możliwość dokładniejszego poznania mechanizmu desorpcji i jest szczególnie interesujące z praktycznego punktu widzenia. Na podstawie wyników badań, sformułował następujące wnioski:

- istotnym czynnikiem mającym zasadniczy wpływ na proces wydzielania się gazu z węgla, jest obniżenie się temperatury podczas desorpcji,
- spadek temperatury zależy w istotnej mierze od warunków początkowych, w jakich znajdował się węgiel, od szybkości wypływu gazu, od wymiany ciepła z otoczeniem i od rodzaju węgla,
- zależność zmiany temperatury od ilości desorbującego gazu ma charakter liniowy, niezależnie od wielkości ziarna i szybkości wypływu gazu.

Powyższe stwierdzenia, na podstawie rozważań teoretycznych, opracowanych modeli oraz przeprowadzonych badań w laboratoriach, znajdują potwierdzenie w praktyce górniczej.

3. PRAKTYCZNE ASPEKTY POMIARU TEMPERATURY WZGLĘDNEJ W PRZODKACH GÓRNICZYCH

Sorpcja gazów w węglu jest jednofazowym procesem naturalnym zachodzącym w układzie sorbent – sorbat i skierowanym zawsze do węgla. Desorpcja gazu z węgla jest procesem wtórnym, spowodowanym naruszeniem pierwotnej równowagi sorpcyjnej robotami górniczymi. W wyniku prowadzonych robót górniczych stan równowagi zmienia się, zmieniają się także warunki gazowe, przed czołem przodka górniczego powstaje gradient ciśnienia między odgazowaną płaszczyzną odsłonięcia a gazonośną calizną węglową w głębi pokładu.

Sorpcja, jak już wspomniano, jest procesem egzotermicznym, podczas którego następuje pobranie ciepła przez układ. Desorpcja jest procesem odwrotnym, endotermicznym, w czasie którego następuje oddawanie ciepła. Desorpcja powoduje więc

oziębienie ośrodka, w którym proces ten zachodzi. Następstwem tego jest oziębienie calizny węglowej i obniżenie temperatury względnej w płaszczyźnie czoła przodka oraz w obrębie wykonanego otworu, w stosunku do temperatury otoczenia. Obniżenie się temperatury jest tym większe, im więcej gazu bierze udział w procesie desorpcji w danym miejscu i czasie. Przy dużej masie gazu desorbującego z węgla w jednostce czasu, obserwuje się w świetle lampy górniczej, zjawisko pulsacyjnej zmiany barwy węgla w płaszczyźnie czoła przodka, z matowej na błyszczącą. Zjawisko to, w formie pulsujących plam, było często obserwowane w kopalniach dolnośląskich w czole przodków górniczych, bezpośrednio przed mającym nastąpić wyrzutem.

Z praktycznego punktu widzenia pomiar temperatury względnej w czole przodka może być najbardziej obiektywnym wskaźnikiem ilości gazu przemieszczającego się z głębi calizny węglowej w kierunku płaszczyzny odsłonięcia. Trudno też jest wynik tego pomiaru zniekształcić, o ile jest on wykonany poprawnie. Czynniki zewnętrzne nie mogą zniekształcić wyniku, ponieważ proces wymiany masy i ciepła odbywa się wewnątrz układu w strukturze porowatego ośrodka.

Należy podkreślić, że w pokładach o niewielkiej zawartości metanu lub zawierających tylko śladowe jego ilości, temperatura calizny węglowej i powietrza w przodku jest zbliżona. W przodkach wyrobisk drążonych w pokładach o wysokiej zawartości metanu temperatura w płaszczyźnie odsłonięcia, będzie mocno zróżnicowana. W pokładach niemietanowych lub niskometanowych, temperatura względna świeżo odsłoniętej calizny węglowej może być nawet wyższa od temperatury powietrza, aż do czasu wyrównania się temperatur, na skutek wysokiej temperatury skał, tym wyższej im głębiej jest prowadzone wyrobisko. Na podstawie przeprowadzonych badań i wynikających z nich wniosków, Kajewski i Kobiela (1996) zaproponowali, aby prognozę zagrożenia metanowego lub zagrożenia wyrzutowego w drążonych wyrobiskach metodą termiczną, wykonywać około 2,5 godz. po odsłonięciu calizny węglowej kombajnem lub robotami strzałowymi. Powyższa zwłoka czasowa stabilizuje przypadkowe, chwilowe zmiany temperatury, wynikające np. z procesu urabiania węgla kombajnem, robotami strzałowymi lub spowodowane ciepłotą skał. Procesy gazowe w obrębie czynnego przodka górniczego natomiast stopniowo intensyfikują się, powstaje coraz większa różnica potencjału gazowego (metanowego), między płaszczyzną odsłonięcia a calizną węglową w głębi pokładu. Należy podkreślić, że w pokładach IV kzm zawartość metanu w węglu jest bardzo często mocno zróżnicowana, nie tylko w danej części pokładu, ale również w strefie okołoprzodkowej pojedynczego wyrobiska.

W przypadku wysokiej zawartości metanu i/lub dwutlenku węgla w pokładzie, po wykonaniu zabioru, następuje desorpcja gazu z węgla pod wpływem gradientu ciśnienia. W płaszczyźnie odsłonięcia calizny węglowej, występuje nieraz duże zróżnicowanie temperatury względnej, ponieważ desorpcja metanu jest w dużej mierze zmienna w zależności od struktury porowatej węgla, zawartości V^{daf} (zawartości części lotnych, bez popiołu i wilgoci), w obrębie danego pokładu.

4. BADANIA ZMIAN TEMPERATURY WĘGLA POD WPLYWEM DESORPCJI GAZU W PRZODKACH GÓRNICZYCH

W Głównym Instytucie Górnictwa na szeroką skalę podjęto badania zmian temperatury w przodkach górniczych, pod wpływem desorpcji metanu z węgla. Badaniami zostały objęte kopalnie Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA, w których w latach 1978–1986 wystąpiło wiele zjawisk gazodynamicznych o charakterze zbliżonym do wyrzutów rejestrowanych w kopalniach dolnośląskich. W związku z tym, że w kopalniach JSW SA większość złóż jest wysokometanowa, wprowadzono w nich obowiązek prowadzenia pomiarów wskaźników prognozy zagrożenia wyrzutami metanu i skał. W pokładach czwartej kategorii zagrożenia wyrzutami gazów i skał, w częściach złoża o zawartości metanu powyżej $8 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Mg}_{\text{czsw}}$ wprowadzono obowiązek wykonywania pomiarów intensywności desorpcji gazu i zwięzłości węgla.

Mimo że przyjęte wskaźniki zagrożenia wyrzutami metanu i skał (intensywność desorpcji gazu powyżej 12 hPa), były często przekraczane w drażonych przodkach, to jednak wyrzutów metanu i węgla nie notowano. Brak trafności prognoz zagrożenia wyrzutami metanu i skał w drażonych przodkach wiąże się ze złożonym charakterem tych zjawisk, a także niedoskonałością stosowanych metod pomiarowych oraz przyjętych kryteriów zagrożenia.

Autorzy niniejszego artykułu, zainspirowani doświadczeniami kopalń dolnośląskich oraz teoretycznymi rozważaniami i badaniami laboratoryjnymi naukowców z IMG PAN w Krakowie, podjęli, w latach 1984–1988 w Głównym Instytucie Górnictwa, pierwsze badania nad zmianą temperatury calizny węglowej w czole przodka, pod wpływem desorbującego metanu. Skoncentrowano się wówczas na znalezieniu korelacji między ilością desorbującego gazu a temperaturą w otworach badawczych i w płaszczyźnie odślonięcia czoła przodka. Prace te kontynuowano w latach 90. ubiegłego stulecia w miarę pozyskiwania środków na ten cel, w ramach projektów badawczych, grantów własnych i prac statutowych.

Szczegółowe wyniki badań zostały już wcześniej opublikowane (Kajewski 2002). W niniejszym artykule zostaną więc przedstawione tylko wnioski z badań i propozycje ich wykorzystania w praktyce górniczej. Zostanie zaprezentowana też udoskonalona aparatura do pomiarów do stosowania w wyrobiskach pod ziemią wraz z charakterystyką.

Ręczny Przyrząd Podczerwieni RPP-06GIG jest przyrządem wielofunkcyjnym, przeznaczonym do szybkiego bezkontaktowego pomiaru temperatury w przodkach górniczych. Przyrząd ten otrzymał dopuszczenie do pracy w podziemiach wyrobisk zakładów górniczych niemietanowych i metanowych w pomieszczeniach zaliczanych do stopnia „a”, „b” i „c” niebezpieczeństwa wybuchu.

Przyrząd ten jest łatwy w obsłudze, a jego stała czasowa ($t < 0,5 \text{ s}$) daje możliwość szybkiego przeprowadzenia badań.

Przyrząd ma dwa zakresy pomiaru temperatury:

- zakres temperatury bezwzględnej $0\text{--}100^\circ\text{C}$ ($\pm 1,0^\circ\text{C}$),
- zakres temperatury różnicowej $\pm 5,0^\circ$ ($\pm 0,1^\circ\text{C}$).

Zakres temperatury różnicowej umożliwia pomiar temperatury nie tylko w przypadku samonagrzewania węgla, ale także zmianę temperatury calizny węglowej pod wpływem desorpcji gazu z węgla.

5. OMÓWIENIE METODYKI I WYNIKÓW BADAŃ

Badania i pomiary parametrów gazowych oraz zmian temperatury calizny węglowej wykonywano w wyrobiskach prowadzonych w pokładach grupy 300 i 400 (poziom 705–900 m) kopalni „Zofiówka” oraz „Pniówek”, w których zawartość metanu przekraczała $8 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{cz.s.w}}$ (w przeliczeniu na V^{daf}).

Z przeprowadzonych badań wynikało, że najwyższe wartości intensywności desorpcji gazu i największe spadki temperatury występowały po około 2,5 godz. od odsłonięcia płaszczyzny czoła przodka, w wyniku wykonanego zabioru (Kajewski, Kobiela 1996). Ze względu na duże przestrzenne zróżnicowanie nasycenia pokładów metanem (Tarnowski, Zawierucha 1994), w każdym przodku wiercono co najmniej dwa otwory badawcze o średnicy 42 mm do głębokości 5,0 m, w zależności od stanu zagrożenia zjawiskami gazodynamicznymi w przodku górniczym. Próbkę zwiercin do badań desorpcji oraz zawartości metanu pochodzenia naturalnego pobierano zawsze z końcowej, dwudziestocentymetrowej przestrzeni, jednometrowych odcinków odwiercanego otworu. Badania zawartości metanu w węglu były wykonywane w Laboratorium Zakładu Odmetanowania Kopalń.

Wyniki badań otrzymane z 151 otworów badawczych (Metoda ruchowa... 2003) posłużyły, wykorzystując równania regresji i korelacji, do sporządzenia diagramu zależności między intensywnością desorpcji metanu, zawartością metanu pochodzenia naturalnego w węglu, a temperaturą względną w płaszczyźnie odsłonięcia węgla w przodku (rys. 3).

Diagram służy do odczytywania wartości intensywności desorpcji gazu oraz zawartości metanu pochodzenia naturalnego w strefie okołoprzodkowej calizny węglowej, w zależności od zmierzonej temperatury względnej czoła przodka.

6. WNIOSKI Z PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Badania przeprowadzone w warunkach ruchowych, pozwoliły na uzyskanie wysokiej korelacji między zmianami temperatury węgla a intensywnością desorpcji metanu ($r = -0,85$) oraz między zawartością metanu w węglu a intensywnością desorpcji ($r = 0,81$). Odpowiednikiem wartości granicznej (12 hPa) dla intensywności desorpcji, charakteryzującej zagrożenie gazogeodynamiczne w przodku górniczym jest wartość temperatury względnej $-2,75^\circ\text{C}$, tj. spadku temperatury węgla w płaszczyźnie odsłonięcia o tę wartość, w stosunku do temperatury powietrza w przodku (Kajewski 2002).

Na podstawie uzyskanych wyników można wysunąć następujące spostrzeżenia i wnioski:

- Duża ilość uzyskanych wyników (ze 151 otworów badawczych), umożliwiła analizę zależności między mierzonymi parametrami gazowymi a zmianami temperatury względnej czoła przodka.

- Badania dołowe wykazały, że odpowiednikiem podanej w przepisach górniczych wartości granicznej intensywności desorpcji (12 hPa), charakteryzującej zagrożenie gazodynamiczne i metanowe w przodku górniczym, w odniesieniu do okołoprzodkowej calizny węglowej, jest zawartość metanu wynosząca $G = 6,8 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{czsw}}$.
- Współczynnik korelacji między intensywnością desorpcji a zawartością metanu pochodzenia naturalnego w węglu wynosi $r = 0,81$, co w zmiennych warunkach reologicznych pokładów węgla należy uznać za wysoki, a tym samym wystarczająco kompatybilny, aby wartości obu tych wskaźników pomiarowych przyjmować za porównywalne i zamienne.
- Wzrost intensywności desorpcji gazu związany ściśle ze wzrostem zawartości gazu powoduje wyraźny spadek temperatury czola przodka. Tym samym pomiar temperatury względnej odzwierciedla zarówno stan nasycenia węgla metanem, jak i intensywność desorpcji metanu z węgla. Im mniejszy spadek temperatury względnej (mierzonej pirometrem), tym intensywność desorpcji oraz zawartość metanu w węglu są niższe. Zawartość metanu poniżej $G < 2 \text{ m}^3/\text{Mg}_{\text{czsw}}$ można uznać za nieznaczną pod względem desorpcji metanu, bez efektu endogenicznej przemiany, a zatem również bez efektu zmiany temperatury względnej w płaszczyźnie odsłonięcia, w czole przodka i na ściankach odwierconego otworu badawczego.
- Przedstawiony na rysunku 3 diagram umożliwia bieżącą ocenę zawartości metanu w okołoprzodkowej caliznie węglowej, a także ocenę zagrożenia metanowego i gazogeodynamicznego w przodku górniczym, na podstawie pomiaru temperatury względnej. Pomiar temperatury jest łatwy i szybki do wykonania w przodku, w porównaniu do laboratoryjnych metod badania zawartości metanu pochodzenia naturalnego w węglu, które wymagają co najmniej kilku dni. Wskazuje to na sensowność zastosowania pomiarów temperatury jako metody ruchowej (wskaźnikowej) na podstawie opracowanego kryterium temperaturowego ($\Delta t = -2,75 \text{ C}$). Wprawdzie dokładność wyniku pomiaru zawartości metanu w węglu, na podstawie pomiaru temperatury względnej, jest niższa od oznaczonej metodą laboratoryjną, ale w warunkach ruchu górniczego, bardziej istotny jest czas jego uzyskania. Wynik pomiaru zawartości metanu na podstawie pomiaru temperatury względnej, jest niemal natychmiastowy bezpośrednio na miejscu w przodku górniczym. Dokładność rzędu $0,001 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Mg}_{\text{czsw}}$, uzyskiwana w metodzie laboratoryjnej, do rzędu $0,5 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Mg}_{\text{czsw}}$ w metodzie pomiaru temperatury względnej, nie jest tak istotna, jak czas określenia stanu zagrożenia metanowego w przodku. Określenie zawartości metanu w węglu metodą laboratoryjną, po kilku dniach od pobrania próbki węgla w przodku, jest w zasadzie nieaktualne, ponieważ przodek zmienił położenie i warunki metanowe również uległy mniejszej lub większej zmianie. Wpłynie to w przyszłości, po próbnym okresie stosowania, na obniżenie pracochłonności i kosztów prowadzenia badań w węglowych przodkach górniczych oraz spowoduje skrócenie czasu uzyskania informacji na temat zagrożenia metanowego i gazodynamicznego w przodku.
- Metoda określania zawartości metanu w okołoprzodkowej caliznie węglowej za pomocą pomiaru temperatury względnej czola przodka, jest obciążona najmniejszym błędem pomiarowym, spośród wszystkich stosowanych dotychczas metod

oznaczania zawartości metanu pochodzenia naturalnego w węglu, co daje podstawy do jej stosowania w praktyce górniczej i zwiększa poziom bezpieczeństwa pracy w kopalniach wysokometanowych.

7. PROCEDURA STOSOWANIA POMIARU TEMPERATURY WZGLĘDNEJ W PRAKTYCE GÓRNICZEJ

Procedura określania zawartości metanu w węglu oraz zagrożenia wyrzutami metanu i skał w strefie calizny okołoprzodkowej, na podstawie pomiaru temperatury względnej węgla w czole przodka, powinna opierać się na następujących założeniach:

7.1. Założenia ogólne

7.1.1. Pomiar temperatury względnej w płaszczyźnie czoła przodka służy do lokalizacji stref wzmożonego wydzielania się metanu w strefie okołoprzodkowej calizny węglowej i określania gazodynamicznego parametru zagrożenia wyrzutami metanu i skał.

7.1.2. Zmiany temperatury w węglu nasyconym gazami następują pod wpływem endotermicznego procesu desorpcji gazu ze struktury porowatej węgla, powodującej obniżenie temperatury ośrodka, w którym proces ten zachodzi.

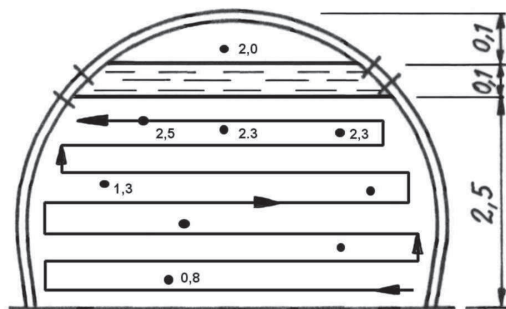
7.1.3. Intensywność desorpcji gazu z węgla wzrasta ze wzrostem nasycenia i gradientem ciśnienia gazu, co skutkuje spadkiem temperatury w miejscu, w którym to zjawisko zachodzi.

7.1.4. Pomiar temperatury względnej, wykonywany w płaszczyźnie odsłonięcia calizny węglowej, względem pomiaru temperatury powietrza w przodku, jest tym samym w pełni obiektywnym wskaźnikiem nasycenia węgla metanem oraz zagrożenia wyrzutami metanu i skał.

7.1.5. Opracowana procedura pomiaru temperatury względnej węgla w strefie okołoprzodkowej odnosi się do pokładów zawierających metan pochodzenia naturalnego.

7.1.6. Na podstawie pomiaru temperatury można określić zawartość metanu w węglu calizny okołoprzodkowej, a także stopień zagrożenia wyrzutami metanu i skał w badanym przodku.

7.2. Procedura pomiaru temperatury w przodku górniczym (rys. 1):



Rys. 1. Sposób wykonywania pomiaru temperatury czoła przodka

Fig. 1. Method of temperature measurement of working face

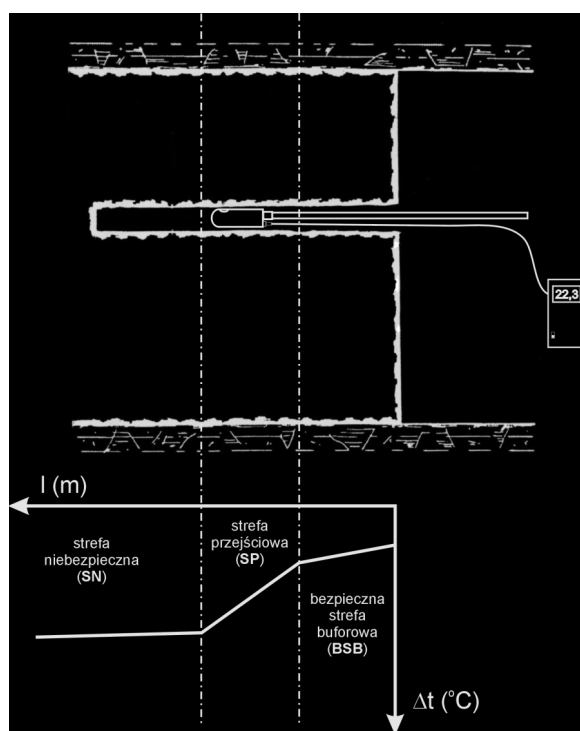
7.2.1. Pomiar temperatury względnej w przodku górniczym powinien być wykonywany na powierzchni świeżo odsłoniętej calizny węglowej, ale po co najmniej 2,5 godz. od ostatniego wykonanego zabioru.

7.2.2. W celu wykonania pomiaru temperatury względnej calizny węglowej należy:

- obiektyw pirometru najpierw skierować na leżący urobek, bryłę odgazowanego węgla lub w kierunku wylotu wyrobiska, tj. odprzodkowej jego części, mierząc bezwzględną temperaturę powietrza, lub też wyzerować pirometr na zakresie temperatury względnej,
- zmienić zakres pracy pirometru na temperaturę względną,
- wyzerować pirometr pokrętkiem regulacji zera temperatury względnej,
- następnie należy skierować pirometr na płaszczyznę czoła przodka i lustrując z odległości 20–30 cm jego powierzchnię wyszukać miejsca o największym spadku temperatury względnej (rys. 1).

7.2.3. W każdym położeniu pola obserwacji pirometru należy zanotować na naszkicowanej powierzchni czoła przodka wynik pomiaru temperatury.

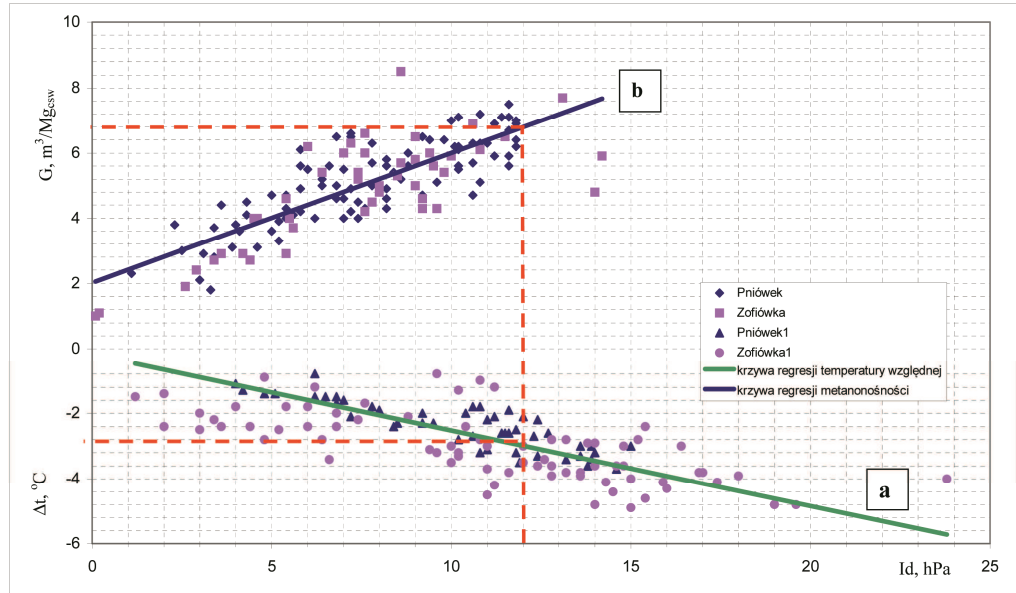
7.2.4. W dwóch miejscach o największych spadkach temperatury względnej w płaszczyźnie czoła przodka, należy wywiercić po jednym kontrolnym otworze badawczym, mierząc w każdym z nich wzdłuż osi, temperaturę względną oraz intensywność desorpcji gazu z pobranych zwiercin, zgodnie z obowiązującymi przepisami (rys. 2).



Rys. 2. Pomiar zmian temperatury ścianki w odwiercie badawczym temperaturową sondą otworową
Fig. 2. Temperature changes measurement of the wall in research borehole by temperature bore probe

7.3. Sposób interpretacji i dokumentowania wyników pomiarów

7.3.1. Otrzymany wynik pomiaru temperatury względnej czoła przodka i odszukany na osi rzędnej Δt , należy odrzutować do przecięcia z prostą *a* (prosta wyznaczona z korelacji między intensywnością desorpcji a temperaturą względną). Następnie z punktu przecięcia z prostą korelacji *a*, odrzutować ten wynik na oś odciętych I_d i odczytać wartość intensywności desorpcji. Celem odczytania zawartości metanu pochodzenia naturalnego w węglu, należy otrzymany wynik intensywności desorpcji odrzutować na prostą *b* (prosta otrzymana z równania zależności między intensywnością desorpcji metanu, a zawartością metanu pochodzenia naturalnego w węglu V^{daf}).



Rys. 3. Diagram do wyznaczania intensywności desorpcji metanu i metanonośności na podstawie pomiaru temperatury względnej czoła przodka za pomocą pirometru: I_d – intensywność desorpcji, G – metanonośność, Δt – temperatura względna

Fig. 3. Diagram for determining the intensity of the desorption of methane and methane capacity based on relative temperature measurement of the working face using pyrometer: I_d – intensity, G – methane capacity, Δt – relative temperature

7.3.2. Odczytane wyniki intensywności desorpcji metanu i zawartości metanu pochodzenia naturalnego w węglu, na podstawie pomiaru temperatury względnej, mogą służyć do bieżącej i bardzo szybkiej oceny zagrożenia metanowego oraz wyrzutami metanu i skał, bezpośrednio w przodku górniczym.

7.3.3. Obniżenie się temperatury względnej węgla w czole przodka górniczego o $-2,75^\circ\text{C}$ w stosunku do temperatury powietrza w przodku oznacza, że w tym miejscu intensywność desorpcji gazu wynosiła 12 hPa i tym samym wskazuje na możliwość wystąpienia zagrożenia wyrzutami metanu i skał.

7.4. Zasady i kryteria oceny zagrożenia metanowego i wyrzutami metanu i skał na podstawie wyników pomiaru temperatury względnej calizny węglowej w przodku.

7.4.1. Pomiar temperatury względnej w płaszczyźnie czoła przodka należy do najbardziej obiektywnych wyników oceny zagrożenia metanowego oraz wyrzutami metanu i skał. Wskazują na to bardzo wysokie, jak na warunki górnicze współczynniki korelacji i regresji, które tworzą znaczny zbiór wyników. Tak wysokich współczynników nie uzyskano dotąd w warunkach dołowych w przypadku innych rozpatrywanych zależności, parametrów i wskaźników zagrożenia gazowego (metanowego i/lub wyrzutami metanu i skał).

7.4.2. Pomiar temperatury względnej w płaszczyźnie czoła przodka nie jest praktycznie obciążony błędami pomiarowymi, w przeciwieństwie do innych pomiarów wskaźników zagrożenia metanowego i/lub wyrzutami metanu i skał, jak np. pomiar intensywności desorpcji gazu, który ulega zniekształceniu (zaniżeniu), w wyniku pobrania z otworu zwiercin odgazowanych, w przypadku niestarannego oczyszczenia otworu z poprzednio wywierconego odcinka.

7.4.3. Wyniki pomiaru temperatury względnej w czole przodka, określają stan zagrożenia metanowego i/lub zagrożenia wyrzutami metanu i skał, w zależności od stopnia obniżenia się temperatury węgla w stosunku do temperatury otoczenia:

- a) od $-0,5^{\circ}$ do $-1,0^{\circ}\text{C}$ – niski stan nasycenia węgla metanem w przedziale I kategorii zagrożenia metanowego (I kzm), tj. od 0,1 do $2,5 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Mg}_{\text{csw}}$ oraz brak zagrożenia wyrzutami metanu i skał (intensywność desorpcji od 0,0 do 2hPa),
- b) od $-1,0$ do $-2,0^{\circ}\text{C}$ – stan nasycenia metanem w przedziale II kzm, tj. od 2,5 do $4,5 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Mg}_{\text{csw}}$, a także brak zagrożenia wyrzutami metanu i skał (intensywność desorpcji w przedziale od 2 do 6 hPa),
- c) od $-2,0$ do $-2,75^{\circ}\text{C}$ – stan nasycenia węgla metanem w przedziale III kzm, co odpowiada zawartości metanu od 4,5 do $8,0 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Mg}_{\text{csw}}$ oraz skłonność węgla do występowania wyrzutów metanu i skał (intensywność desorpcji od 5,5 do 12 hPa),
- d) powyżej $-2,75^{\circ}\text{C}$ – nasycenie metanem w przedziale IV kzm, co odpowiada zawartości metanu w węglu powyżej $8 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Mg}_{\text{csw}}$ oraz stan zagrożenia wyrzutami metanu i skał (intensywność desorpcji powyżej 15 hPa).

Przyjęcie powyższych zakresów temperatury względnej jako w pełni odzwierciedlających:

- rzeczywisty stan nasycenia węgla metanem w strefie okołoprzodkowej,
- stan zagrożenia wyrzutem metanu w przodku górniczym, w przypadku temperatury względnej przekraczającej $-2,75^{\circ}\text{C}$,

wymaga przeprowadzenia równoległych pomiarów desorpcji i temperatury względnej, w co najmniej kilku przodkach górniczych, w pokładach o zróżnicowanej zawartości metanu pochodzenia naturalnego w węglu, w celu potwierdzenia adekwatności do warunków zagrożenia metanowego w danej kopalni. Dopiero po kilkunastu takich seriach pomiarowych i w kilku kopalniach o wysokiej zawartości metanu w węglu, istniałaby możliwość podjęcia kroków legislacyjnych, wprowadzających pomiar temperatury względnej do przepisów górniczych, jako obowiązującej lub zalecanej do stosowania wskaźnikowej metody ruchowej określania zagrożenia metanowego oraz wyrzutami metanu i skał.

8. WNIOSKI

- 8.1. Metoda pomiaru temperatury względnej w czole przodków górniczych może z powodzeniem znaleźć zastosowanie jako ruchowa i wskaźnikowa metoda określania zawartości metanu w węglu oraz zagrożenia wyrzutami metanu i skał, w strefie okołoprzodkowej calizny węglowej. Jej zastosowanie w warunkach kopalń metanowych wymaga wykonania kilku serii równoległych pomiarów intensywności desorpcji gazu i temperatury względnej w otworach badawczych, w kilku wyrobiskach oraz w kilku kopalniach.
- 8.2. Metoda laboratoryjna pomiaru zawartości metanu pochodzenia naturalnego w węglu, ze względu na dużą dokładność wyników, powinna być stosowana w klasyfikacji pokładów węgla pod kątem kategorii zagrożenia metanowego.

Literatura

1. Kajewski B. (2002): Korelacja między temperaturą calizny węglowej a intensywnością desorpcji metanu. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* nr 10.
2. Kajewski B., Kobiela Z. (1996): Prognozowanie zagrożenia gazodynamicznego z udziałem metanu przez badanie temperatury strefy ociosowej calizny węglowej. *Prace własne GIG. Katowice, GIG (niepublikowana)*.
3. Lasoń M. (1983): Sprawozdanie z prac prowadzonych w ramach problemu międzyresortowego MR.I.26 pt. Zjawiska fizyczne w górotworze jako ośrodka wielofazowym. Kraków, IMG – PAN.
4. Metoda ruchowa określania zawartości metanu w caliźnie węglowej oraz prognozowania zagrożenia gazodynamicznego w przodkach górniczych w oparciu o pomiar temperatury względnej strefy przyprzodkowej. *Praca statutowa GIG. Katowice, GIG 2003*.
5. Nodzeński A. (1987): Wybrane prace z zakresu wyrzutów gazów i skał w kopalniach węgla kamiennego w DZW, z. 9. Wałbrzych, SITG.
6. Nodzeński A., Jagiełło J. (1990): Wysokociśnieniowa sorpcja i desorpcja w układzie węgiel – CO₂, w aspekcie procesu uwalniania gazu z pokładu węglowego. W: *Górotwór jako ośrodek wielofazowy, t. II*. Kraków, Wydaw. AGH – PAN.
7. Tarnowski J., Zawierucha M. (1994): Temperaturowo uwęgleniowe aspekty rozmieszczenia gazu w złożu GZW. *Przegląd Górniczy* nr 7/8.
8. Żółcińska J. (1990): Badania struktury porowatej węgla kamiennych i piaskowców metodami sorpcyjnymi. W: *Górotwór jako ośrodek wielofazowy – wyrzuty skalno-gazowe, t. II*. Kraków, Wydaw. AGH – PAN.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Paweł Krzystolik