

---

<b>PRACE NAUKOWE GIG GÓRNICtwo I ŚRODOWISKO</b>	<b>RESEARCH REPORTS MINING AND ENVIRONMENT</b>
<b>Kwartalnik</b>	<b>Quarterly 2/2005</b>

---

*Janusz Cygankiewicz, Eugeniusz Krause*

**KRYTERIA WARUNKUJĄCE BEZPIECZEŃSTWO PROWADZENIA  
EKSPLOATACJI W POKŁADACH SILNIE METANOWYCH  
I ZAGROŻONYCH POŻARAMI ENDOGENICZNYMI,  
NA PRZYKŁADZIE ŚCIANY NR 9 W POKŁADZIE 405/2  
W KOPALNI „SOŚNICA”**

**Streszczenie**

W publikacji zostały omówione kryteria warunkujące bezpieczeństwo prowadzenia eksploatacji w pokładach silnie metanowych i zagrożonych pożarami endogenicznymi, przy dużej koncentracji wydobywania. Na kształtowanie się zagrożenia metanowego oraz pożarem endogenicznym w środowisku ścian na ich eksploatacyjnym wybiegu ma między innymi wpływ dobór sposobu przewietrzania. W warunkach współwystępowania tych zagrożeń na etapie projektowania eksploatacji ich znaczenie, jak i kryteria oceny, powinny decydować o doborze sposobu przewietrzania ściany. Podstawę kryteriów oceny zagrożeń stanowią prognozy zagrożenia metanowego i pożarowego opracowane w Głównym Instytucie Górnictwa.

Prognozowane wielkości wydzielania metanu do środowiska ściany, możliwość doprowadzenia powietrza do rejonu eksploatacyjnego oraz możliwa efektywność odmetanowania pozwalają na sporządzenie bilansu wentylacyjno-metanowego, stanowiącego wskazanie dla właściwego sposobu jej przewietrzania. W warunkach występowania zagrożenia pożarem endogenicznym, przy równoczesnym występowaniu zagrożeń wentylacyjno-metanowych, dla zwalczania których konieczne jest stosowanie przewietrzania ściany w układzie Y, mogą zaistnieć okoliczności sprzyjające rozwojowi procesu samozagrzewania węgla w zrobach.

Rozważania dotyczące kryteriów oceny zagrożenia metanowego i pożarowego przeprowadzono na przykładzie ściany nr 9 w pokładzie 405/2 w kopalni „Sośnica”, w rejonie której w dniu 7.11.2003 r. nastąpiło zapalenie metanu w wyniku pożaru endogenicznego w zrobach, czego konsekwencją był wypadek zbiorowy.

**Criteria conditioning the safety of exploitation drivage in highly methane and spontaneous fire hazard seams basing on the example of number 9 face in 405/2 seam in “Sośnica” Colliery**

**Abstract**

The criteria are discussed conditioning the safety of exploitation drivage in highly methane and spontaneous fire hazard seams with the concentration of faces. The formation of the methane and spontaneous fire hazard in the face environment in the scope of the life of face is, among others, influenced by the choice of the method of ventilation. In conditions where both hazard coexist, during exploitation design, the significance of both hazards and the criteria of assessment should determine the choice of the faces ventilation. The bases for the assessment of hazards are the prognoses of methane and fire hazard elaborated in Central Mining Institute.

Prognosis of the amount of methane emission to the face environment, the possibility of air delivering to the exploitation district and possible performance of methane drainage enable to make the ventilation – methane balance, determining instructions for the proper method of ventilation. In conditions where exist spontaneous fire hazard, where, simultaneously, methane – ventilation criterion indicates the necessity of face ventilation with Y – system, there is possibility of occurrence the circumstances favouring the development of spontaneous warming of coal in cavities caused by exploitation.

Considerations dealing with criteria of assessment of methane and spontaneous fire hazard were carried out basing on the example of face 9 in 405/2 coal seam in Sośnica Colliery, in the district, where methane fire, as the result of spontaneous fire in cavities caused by exploitation, took place on November 7th 2003. The fire caused the joint accident.

## WPROWADZENIE

Bezpieczne prowadzenie eksploatacji w pokładach metanowych i zagrożonych pożarami endogenicznymi wymaga równoczesnego stosowania często przeciwstawnych wentylacyjnych środków prewencji tych zagrożeń. W górnictwie węgla kamiennego w celu zmniejszenia zagrożenia metanowego stosuje się intensywne przewietrzanie ścian w układzie Y. W układzie tym część metanu wydzielającego się do zrobów środowiska ściany, w wyniku odprężenia eksploatacyjnego pokładów podebranych i nadebranych, na skutek różnicy potencjałów aerodynamicznych, zostaje przemieszczona w głąb zrobów. Układ przewietrzania Y ma bardzo korzystny wpływ na kształtowanie się zagrożenia metanowego w środowisku eksploatowanych ścian. W układzie przewietrzania Y doświeżający prąd powietrza dopływający do wylotu powietrza ze ściany powoduje zmniejszenie zawartości metanu w opływowym prądzie zużytego powietrza bezpośrednio za ścianą. Strumień objętości metanu dopływającego ze zrobów do chodnika wentylacyjnego powoduje zwiększenie zawartości metanu oraz metanowości bezwzględnej w chodniku wentylacyjnym. W chodniku tym, wzdłuż zrobów zawałowych na drodze odprowadzania powietrza następuje wzrost zagrożenia metanowego.

Metanowość bezwzględna ściany jest często wielokrotnie mniejsza od metanowości bezwzględnej całego rejonu eksploatacyjnego.

Nadmienić należy, że ilość metanu wydzielającego się do zrobów ściany jest zależna od objętości złoża, tj. pokładów podebranych i nadebranych odprężonych eksploatowaną ścianą oraz ich metanonośności.

Warunkiem skuteczności przewietrzania w układzie Y jest utrzymywanie odpowiednich gabarytów przekroju chodnika wentylacyjnego rzutujących na zdolność wentylacyjną rejonu. Jeżeli w zrobach takich ścian jest pozostawiana odpowiednio duża ilość rozkruszonego węgla (wynikająca, np. z występowania w stropie pokładów towarzyszących, przypinania łąty węglowej lub też węgla pozostawionego w rejonie uskoków), to istnieje duże prawdopodobieństwo jego samozapalenia, a w konsekwencji zapalenia metanu. Zaciskanie chodnika wentylacyjnego za frontem ściany powoduje sukcesywny wzrost migracji powietrza przez zroby poeksploatacyjne, zwiększając zagrożenie pożarem endogenicznym. Dlatego też w takich ścianach muszą być stosowane metody i środki profilaktyki, a także monitoring pożarowy, adekwatne do poziomu występujących zagrożeń. Ostatecznym środkiem profilaktyki pożarowej w takich ścianach powinna być zmiana układu ich przewietrzania z Y na U, (o ile jest możliwa), jednakże wiąże się to najczęściej z koniecznością zmniejszenia postępu ściany, a co za tym idzie wydobywania ze względu na wzrost poziomu zagrożenia metanowego. W literaturze polskiej jak i światowej brak jest jednoznacznych kryteriów, na podstawie których można stwierdzić, kiedy dla bezpieczeństwa dalszej

eksploatacji, w warunkach wzrostu zagrożenia pożarowego w zrobach, powyższa zmiana wentylacji powinna być wykonana.

W niniejszej publikacji podjęto próbę wyznaczenia takich kryteriów, na podstawie wyników prac naukowo-badawczych o charakterze użytkowym wykonanych w Głównym Instytucie Górnictwa. Uwzględniono najnowsze osiągnięcia z zakresu prognozowania i bieżącej oceny zagrożeń metanowego i pożarowego. Dotyczyło to zwłaszcza prognozowania rozwoju procesu samozagrzewania węgla w zrobach, a także oszacowania maksymalnej temperatury nagrzanego węgla na podstawie precyzyjnej analizy chromatograficznej gazów zrobowych.

Zasady prowadzenia ścian w warunkach zagrożenia metanowego zawarte w Instrukcji nr 17 wydanej w Głównym Instytucie Górnictwa w 2004 roku, pozwalają na wyznaczenie warunków brzegowych zagrożenia metanowego dla układów przewietrzania ścian Y lub U i stanowią jednoznaczne kryterium do oceny poziomu tego zagrożenia.

## **1. CZYNNIKI KSZTAŁTUJĄCE POZIOM WYSTĘPUJĄCEGO ZAGROŻENIA METANOWEGO W ŚRODOWISKU ŚCIAN**

Wzrost koncentracji wydobywania oraz eksploatacja na coraz większych głębokościach są czynnikami, które w ostatnich latach przyczyniły się do zwiększania wielkości wydzielania się metanu do środowiska eksploatowanych ścian, wymuszając konieczność nowego podejścia do projektowania eksploatacji.

Następstwem prowadzenia eksploatacji na coraz większych głębokościach w złożu, wzrastającej metanonośności pokładów, jest wzrost wielkości wydzielania metanu z urobionego węgla pokładu eksploatowanego oraz z odgazowania się odprężonych pokładów odebranych i nadebranych. Strumień objętości metanu wydzielającego się z pokładu eksploatowanego zależy w głównym stopniu od prędkości urabiania kombajnem oraz metanonośności urabianego węgla, natomiast dopływ metanu z odgazowania pokładów odebranych i nadebranych zależy od ich metanonośności oraz odległości od pokładu eksploatowanego.

Całkowite zasoby metanu uwolnionego podczas prowadzenia eksploatacji są sumą desorbowlanych uwalnianych zasobów metanu z pokładu eksploatowanego oraz z pokładów odebranych i nadebranych do wyrobisk i zrobów środowiska ścian.

Reasumując, należy stwierdzić, że w kopalniach węgla kamiennego eksploatacja na coraz większych głębokościach przyczynia się do wzrostu ilości wydzielającego się metanu do środowiska ścian, a w konsekwencji do wzrostu zagrożenia metanowego.

Drugim czynnikiem rzutującym w ostatnim dziesięcioleciu na wzrost zagrożenia metanowego w środowisku ścian jest koncentracja wydobywania, przez zwiększanie długości ścian oraz ich postępów eksploatacyjnych.

Długość ściany wpływa bezpośrednio na zasięg odprężenia eksploatacyjnego otaczającego złoża, a to z kolei w zasadniczy sposób rzutuje na objętość odgazowywanego złoża oraz uwalnianych zasobów metanu w rejonie prowadzonej eksploatacji. W nowej metodzie prognozowania wydzielania metanu do ściany, zawartej w Instrukcji nr 14 Głównego Instytutu Górnictwa (2000), został uwzględniony wpływ

długości ściany na zasięg odprężenia eksploatacyjnego. Określenie zasięgu odprężenia eksploatacyjnego w stropie i spągu pokładu eksploatowanego pozwala na identyfikację pokładów podebranych i nadebranych, które są uwzględniane przy obliczaniu tą metodą prognozowanych desorbowalnych zasobów metanu.

Projektowanie skoncentrowanej eksploatacji w otoczeniu silnie metanowego złoża, przy założeniu długości ścian powyżej 250 metrów oraz planowanie dużych postępów, nie zawsze jest możliwe w określonych warunkach wentylacyjnych. W wyrobiskach ścianowych wielkość wydzielania metanu i możliwość doprowadzenia powietrza do rejonu będą wpływały na bilans wentylacyjno-metanowy, tym samym na poziom zagrożenia metanowego. W związku z powyższym przy projektowaniu ścian w złożu silnie metanowym należy określić możliwą wielkość koncentracji wydobywania zapewniającą bezpieczną pracę załogi w warunkach występującego zagrożenia metanowego. Wiarygodne oszacowanie poziomu zagrożenia metanowego na etapie projektowania ściany powinno być poparte dokładną prognozą wielkości wydzielania metanu na jej eksploatacyjnym wybiegu.

Na etapie prognozowania zagrożenia metanowego projektowanych rejonów eksploatacyjnych duży wpływ na dokładność mają dane wejściowe do obliczeń, ponieważ ich wartości kształtują wielkości prognoz weryfikowane podczas eksploatacji ścian. W wielu przypadkach, przy niepełnym rozpoznaniu złoża otaczającego projektowaną ścianę, część danych rzutujących na obliczoną wielkość prognozy jest szacunkowa. Powyższe względy najczęściej powodują rozbieżności między prognozowanymi a faktycznymi wielkościami wydzielania metanu na eksploatacyjnym wybiegu ścian.

W Kopalni Doświadczalnej „Barbara” Głównego Instytutu Górnictwa opracowano nową metodę prognozowania „DYNAMICZNA prognozę metanowości bezwzględnej ścian”, którą zawarto w Instrukcji nr 14 wydanej w 2000 roku. Do tej metody prognozowania wprowadzono nowe elementy. Ponadto, częściowo bazuje ona na metodyce prognozowania wydzielania metanu do ścian opracowanej w Kopalni Doświadczalnej „Barbara” w latach siedemdziesiątych XX wieku.

Nowymi elementami w metodzie prognozowania są:

- określenie zasięgu odgazowania pokładów podebranych i nadebranych w zależności od długości i nachylenia ściany,
- uwzględnienie zmian metanonośności w parceli pokładu eksploatowanego oraz w pokładach podebranych i nadebranych,
- szacowanie metanonośności w pokładach podebranych i nadebranych na podstawie gradientu zmiany metanonośności.

Prognoza metanowości bezwzględnej ściany powinna być podstawą zarówno do ustalenia zasad profilaktyki metanowej wraz ze sposobem przewietrzania i odmetanowania, jak również do określania jej możliwej zdolności wydobywczej. Właściwie sporządzona i trafna prognoza determinuje nie tylko stan bezpieczeństwa, ale i parametry ekonomiczne eksploatacji. Wynika stąd celowość opracowywania prognoz wydzielania metanu, które ujmują całościowo problematykę jego wydzielania na całym wybiegu projektowanej ściany. Zastosowanie dynamicznej prognozy metanowości bezwzględnej ścian według Instrukcji nr 14 Głównego Instytutu Górnictwa, pozwala z dużym przybliżeniem obliczyć szacunkową ilość wydzielające-

go się metanu na kolejnych etapach eksploatacyjnego wybiegu. W ocenie poziomu występującego zagrożenia metanowego musi być dodatkowo uwzględniony projektowany układ przewietrzania, odmetanowanie oraz możliwość doprowadzenia powietrza do rejonu.

Poziom zagrożenia metanowego można ocenić po obliczeniu wartości kryterialnych metanowości bezwzględnych z zastosowaniem wzorów zawartych w obowiązującej Instrukcji nr 17, wydanej w listopadzie 2004 roku w Głównym Instytucie Górnictwa, pt. „Zasady prowadzenia ścian w warunkach zagrożenia metanowego”. Instrukcja ta jest rozszerzeniem opracowanych wcześniej, jednakże nieobowiązujących już, „Zasad przewietrzania wyrobisk górniczych w warunkach zagrożenia metanowego wraz z dobozem urządzeń wentylacyjnych dla jego zwalczania” zawartych w Instrukcji nr 8 wydanej w 1998 roku również w Głównym Instytucie Górnictwa.

Opracowanie Instrukcji nr 17 miało na celu ujednoczenie kryteriów oceny poziomu zagrożenia metanowego w środowisku projektowanych i eksploatowanych ścian. Jednolite kryteria pozwalają bowiem na dokonanie wyprzedzającej oceny zagrożenia metanowego w ścianach projektowanych oraz faktycznej oceny poziomu zagrożenia wentylacyjno-metanowego w eksploatowanych ścianach. Określanie postępów ścian, jak i wielkości wydobywania w poszczególnych parcelach eksploatacyjnych, przy których nie zostanie przekroczona zawartość metanu 2% na wylocie z chodnika przyścianowego z prądem zużytego powietrza, stanowi podstawowy warunek bezpieczeństwa projektowanej eksploatacji.

Określenie warunków bezpiecznej eksploatacji na wybiegu ściany wiąże się nie tylko z dokładnością obliczonych prognoz, lecz głównie ze spełnieniem warunków identyfikujących poziom występującego zagrożenia metanowego. Obliczona wartość kryterialnej metanowości bezwzględnej może stanowić warunek konieczności zastosowania odmetanowania lub podjęcia innych środków zmniejszających to zagrożenie, jak na przykład weryfikacja planowanej lub faktycznej wielkości wydobywania ze ściany.

Nowa metoda prognozowania (Krause, Łukowicz 2004), opracowana w KD „Barbara” Głównego Instytutu Górnictwa, znajduje zastosowanie w wielu kopalniach węgla kamiennego, a jej przydatność do prognozowania wydzielania metanu do środowiska ścian, jest tym większa im większa jest koncentracja wydobywania oraz metanonośność złoża w otoczeniu prowadzonej eksploatacji.

Przykładem zastosowania metody prognozowania są obliczenia prognozowanej wielkości wydzielania metanu do ściany nr 9 w pokładzie 405/2 w kopalni „Sośnica”, gdzie podczas eksploatacji w dniu 7.11.2003 roku nastąpiło zapalenie węgla, następnie metanu i pożar. Dla tej ściany w KD „Barbara”, przed rozpoczęciem eksploatacji, została opracowana prognoza zawarta w pracy naukowo-badawczej (Krause i inni 2002).

Dokładne oszacowanie wielkości wydzielania metanu, na eksploatacyjnym wybiegu ściany nr 9 w pokładzie 405/2, pozwoliło z wyprzedzeniem dokonać oceny wentylacyjno-metanowej wraz z określeniem zasad profilaktyki, łącznie ze sposobem przewietrzania.



## 2. PROGNOZA ZAGROŻENIA METANOWEGO NA WYBIEGU ŚCIANY NR 9 W POKŁADZIE 405/2

Pokład 405/2 w rejonie przecznicy C9 i C9R jest zaklasyfikowany do IV kategorii zagrożenia metanowego. W całej partii pokładu 405/2 na zachód od przecznicy C9 i C9R zostały wybrane dwie ściany: nr 11 i 10, a ściana nr 9 była kolejną eksploatowaną. Nadmienić należy, że eksploatacja kolejnymi ścianami była prowadzona w partii pokładu wznosząco, po upadzie, a kolejne ściany nr 11 i 10 były prowadzone systemem podłużnym z zawałem stropu. Zagrożenie metanowe podczas eksploatacji tych ścian w pokładzie 405/2 było dominujące, w warunkach współwystępowania zagrożeń tapaniowego i pożarowego. W projektowanej ścianie nr 9 w pokładzie 405/2, na podstawie prognozowanego wydzielania metanu, założono przewietrzanie w układzie Y odwrócone, który umożliwił przemieszczenie w głąb zrobów niebezpiecznych nagromadzeń metanu w zrobach od pola roboczego ściany. Na wielkość wydzielania metanu do środowiska ściany nr 9 w pokładzie 405/2 na eksploatacyjnym wybiegu miała wpływ zmienność nasycenia metanem pokładu 405/2 oraz pokładów podebranych i nadebranych. Ściana nr 9 w pokładzie 405/2 została podebrana wyeksploatowanymi ścianami nr 9 i 8 w pokładzie 404/5, które przyczyniły się do odprężenia i częściowego odgazowania pokładów: 405/1, 404/4, 404/3, 404/2, 402 oraz siedmiu warstw węgla o zróżnicowanej miąższości.

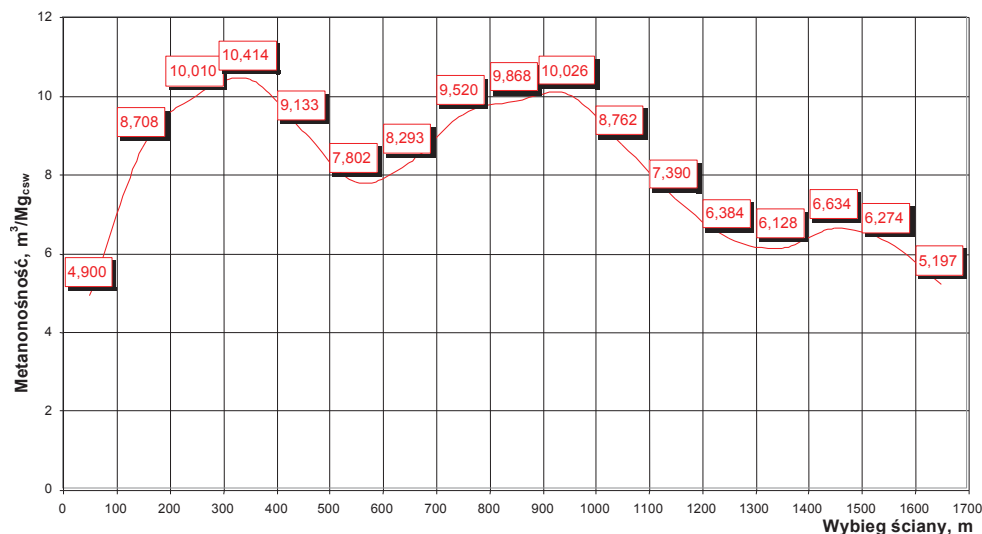
W warunkach eksploatacji ściany nr 9 w pokładzie 405/2 poziom nasycenia metanem węgla w parceli eksploatowanej ściany był wysoki i zmienny na jej wybiegu, co przedstawiono na rysunku 1. Nadmienić należy, że dwukrotny wzrost metanonośności w parceli pokładu 405/2 z 5 do 10 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Mg<sub>csw</sub> przyczynił się do uwolnienia wielokrotnie większej objętości desorbowanego metanu podczas prowadzenia urabiania kombajnem na różnych etapach jej wybiegu.

Korzystając z odwzorowania nieliniowej krzywej stopnia odgazowania pokładu eksploatowanego, przedstawionej w Instrukcji nr 14, stwierdzono, że przy metanonośności 5 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Mg<sub>csw</sub> stopień odgazowania wynosił  $\eta = 44\%$ , natomiast przy metanonośności 10 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Mg<sub>csw</sub> stopień odgazowania wynosił  $\eta = 63\%$ .

Uwzględniając powyższe, ilość uwalnianego metanu z pokładu eksploatowanego 405/2 wynosi dla tych metanonośności odpowiednio 2,2 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/Mg<sub>csw</sub> i 6,3 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Mg<sub>csw</sub>. Należy zaznaczyć, że dwukrotny wzrost metanonośności pokładu eksploatowanego z 5 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Mg<sub>csw</sub> do 10 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Mg<sub>csw</sub>, powodował zwiększenie ilości uwalnianego metanu podczas urabiania prawie trzykrotnie.

Reasumując, należy stwierdzić, że stopień odgazowania pokładu eksploatowanego wzrastał nieliniowo ze wzrostem metanonośności, tym samym zwiększała się objętość uwalnianych desorbowanych zasobów metanu podczas urabiania kombajnem.

Znaczące zmiany metanonośności w pokładzie 405/2 na wybiegu eksploatacyjnym ściany nr 9 w zasadniczy sposób rzutowały na faktyczną wielkość wydzielania metanu do wyrobiska ścianowego. Obliczenie rozkładu metanonośności w pokładach podebranych i nadebranych ścianą nr 9 było możliwe na podstawie metanonośności w pokładach 404/5 oraz 405/1.



Rys. 1. Metanonośność średnia na wybiegu ściany nr 9 w pokładzie 405/2

Fig. 1. The medium methane content in the scope of the life of number 9 face in 405/2 seam

Metoda dynamicznej prognozy metanowości bezwzględnej pozwoliła na obliczenie wielkości wydzielania metanu dla poszczególnych parcel eksploatacyjnego wybiegu ściany nr 9 w pokładzie 405/2. Graficzną interpretację przeprowadzonych obliczeń przedstawiono na rysunku 2, wykonując obliczenia dla postępów ściany z przedziału 1–10 m/dobę.

W warunkach ściany nr 9 w pokładzie 405/2 występował dodatkowy dopływ metanu spoza środowiska ściany nr 9, ze zrobów wcześniej wyeksploatowanych ścian nr 10 i 11 w tym pokładzie. Obliczona ilość metanu dopływającego ze zrobów poeksploatacyjnych ścian nr 10 i 11 wynosiła 8,75 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/min. Część metanu z obliczonej powyżej wartości, mogła migrować do środowiska eksploatowanej ściany nr 9 w pokładzie 405/2, a pozostała ilość migrowała do wyżej zalegających zrobów poeksploatacyjnych w pokładzie 404/5.

Wartości prognozowanej metanowości bezwzględnej ściany nr 9 w pokładzie 405/2 na jej eksploatacyjnym wybiegu zawarte w tabelicy 1 oraz graficznie na rysunku 2 należy powiększyć o ilość metanu dopływającego spoza środowiska ściany nr 9 o wartość nieprzekraczającą 8,75 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/min.

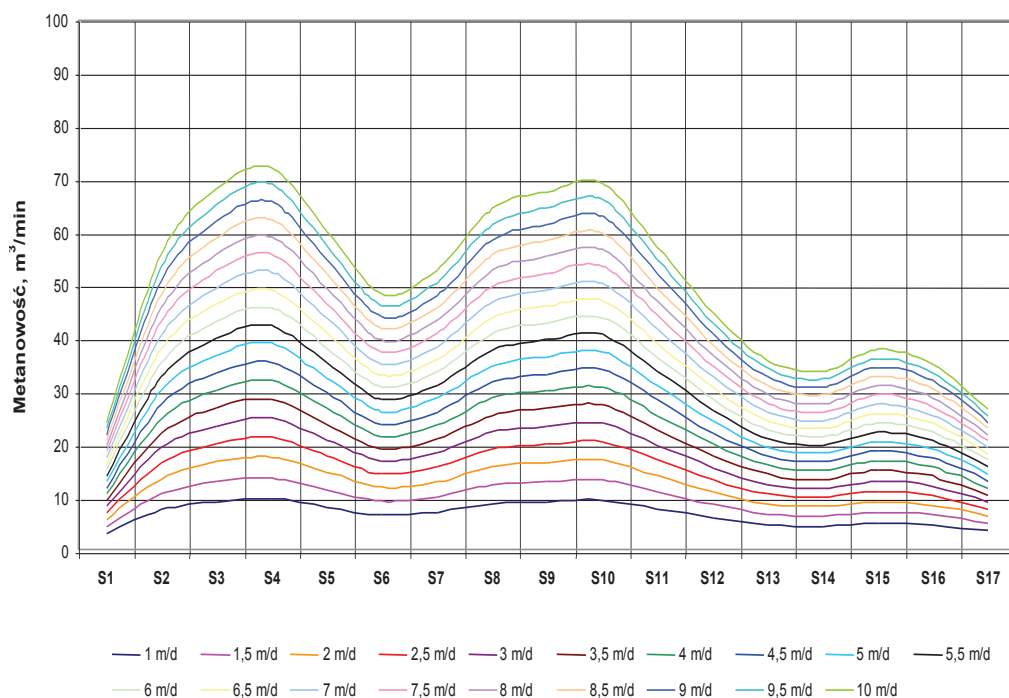
Analiza prognozowanego zagrożenia metanowego na wybiegu projektowanej ściany nr 9 w pokładzie 405/2 pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

- eksploatacja ściany była prowadzona w otoczeniu silnie metanowego złoża, powodując zmienną wielkość prognozowanego wydzielania metanu na jej wybiegu,
- rozkład metanonośności w zasadniczy sposób rzutował na prognozowane wielkości wydzielania,
- dodatkowy dopływ metanu ze zrobów poeksploatacyjnych ścian nr 10 i 11 w pokładzie 405/2 (spoza środowiska ściany nr 9) powinien być uwzględniony na etapie projektowania eksploatacji.

**Tablica 1. Metanowość bezwzględna [m<sup>3</sup>/min] ściany nr 9 w pokładzie 405/2 w kopalni „Sośnica”**

Numer przekroju	Postęp ściany, m/d																		
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5									
	1 061	1 591	2 122	2 652	3 182	3 713	4 243	4 774	5 304	5 834									
	Wydobycie dobowe, Mg																		
	1 061	1 591	2 122	2 652	3 182	3 713	4 243	4 774	5 304	5 834									
	Metanowość bezwzględna																		
<b>S1</b>	3,46	4,81	6,10	7,35	8,57	9,77	10,95	12,11	13,26	14,40									
<b>S2</b>	7,85	10,92	13,86	16,72	19,52	22,28	25,00	27,68	30,34	32,97									
<b>S3</b>	9,55	13,28	16,87	20,36	23,78	27,15	30,47	33,75	37,00	40,22									
<b>S4</b>	10,10	14,04	17,84	21,54	25,16	28,72	32,24	35,71	39,15	42,56									
<b>S5</b>	8,49	11,79	14,97	18,06	21,08	24,05	26,98	29,88	32,74	35,58									
<b>S6</b>	6,91	9,59	12,16	14,65	17,09	19,48	21,84	24,17	26,48	28,76									
<b>S7</b>	7,53	10,46	13,26	15,98	18,65	21,26	23,84	26,38	28,90	31,40									
<b>S8</b>	9,09	12,63	16,02	19,32	22,55	25,73	28,86	31,95	35,02	38,05									
<b>S9</b>	9,52	13,23	16,79	20,25	23,64	26,98	30,26	33,51	36,73	39,92									
<b>S10</b>	9,75	13,55	17,20	20,74	24,22	27,63	31,00	34,33	37,62	40,88									
<b>S11</b>	8,14	11,30	14,33	17,28	20,16	22,99	25,78	28,53	31,26	33,96									
<b>S12</b>	6,42	8,91	11,30	13,61	15,87	18,09	20,28	22,44	24,57	26,69									
<b>S13</b>	5,14	7,14	9,05	10,91	12,72	14,50	16,25	17,98	19,69	21,39									
<b>S14</b>	4,85	6,73	8,53	10,28	11,99	13,66	15,31	16,94	18,55	20,15									
<b>S15</b>	5,42	7,53	9,55	11,51	13,42	15,30	17,15	18,98	20,79	22,58									
<b>S16</b>	5,03	6,99	8,86	10,67	12,44	14,18	15,89	17,58	19,25	20,91									
<b>S17</b>	3,86	5,35	6,78	8,16	9,51	10,84	12,14	13,43	14,70	15,96									
											6 365	6 895	7 426	7 956	8 486	9 017	9 547	10 078	10 608
											15,53	16,65	17,76	18,86	19,96	21,05	22,14	23,22	24,29
											35,58	38,18	40,75	43,31	45,86	48,40	50,92	53,43	55,93
											43,42	46,59	49,74	52,88	56,00	59,10	62,19	65,27	68,34
											45,95	49,31	52,65	55,97	59,28	62,57	65,84	69,10	72,35
											38,40	41,20	43,97	46,74	49,48	52,21	54,93	57,64	60,34
											31,02	33,27	35,50	37,71	39,91	42,10	44,28	46,45	48,61
											33,87	36,32	38,76	41,18	43,59	45,99	48,37	50,74	53,10
											41,06	44,05	47,01	49,96	52,90	55,82	58,72	61,61	64,49
											43,08	46,22	49,33	52,43	55,52	58,59	61,64	64,68	67,71
											44,12	47,34	50,53	53,71	56,87	60,01	63,14	66,25	69,35
											36,64	39,29	41,93	44,56	47,17	49,76	52,34	54,91	57,47
											28,78	30,86	32,93	34,98	37,02	39,04	41,06	43,07	45,07
											23,06	24,73	26,38	28,03	29,66	31,28	32,90	34,51	36,11
											21,73	23,30	24,85	26,40	27,94	29,47	30,99	32,50	34,01
											24,35	26,11	27,86	29,60	31,32	33,04	34,75	36,45	38,14
											22,55	24,18	25,79	27,39	28,99	30,58	32,15	33,72	35,29
											17,21	18,44	19,67	20,89	22,10	23,31	24,50	25,69	26,88





**Rys. 2.** Metanowość bezwzględna ściany nr 9 w pokładzie 405/2 w zakresie postępów 1–10 m/d: S1–S17 – przekroje

**Fig. 2.** The absolute methane content of number 9 face in the 405/2 coal seam in the scope of rate from 1 to 10 m/day: S1–S17 – intersections

Kolejność eksploatacji ścian w pokładzie 405/2 (po wzniosie pokładu) rzutowała niekorzystnie na wzrost zagrożenia metanowego w ścianie nr 9 z powodu dodatkowego dopływu metanu. Ponadto, przyjęty układ przewietrzania ściany nr 9, Y odwrócone, był korzystny w warunkach prognozowanej metanowości bezwzględnej i przyczyniał się do przemieszczenia w głąb niebezpiecznych nagromadzeń metanu w zrobach od wyrobiska ścianowego w czasie eksploatacji.

Zastosowanie Instrukcji nr 17 „Zasady prowadzenia ścian w warunkach zagrożenia metanowego” wydanej w 2004 roku (Krause, Łukowicz 2004) pozwala na obiektywną ocenę poziomu zagrożenia wentylacyjno-metanowego w projektowanych i eksploatowanych ścianach w pokładach metanowych. Zastosowanie jednolitych kryteriów oceny kształtowania się zagrożenia metanowego w rejonach eksploatacyjnych, na podstawie instrukcji, umożliwi dokonanie doboru najbardziej bezpiecznych rozwiązań wentylacyjno-metanowych na etapie projektowania i prowadzenia eksploatacji.

### 3. KRYTERIA WARUNKUJĄCE BEZPIECZNE PROWADZENIE EKSPLOATACJI W POKŁADACH METANOWYCH

Podczas projektowania eksploatacji o dużej koncentracji wydobywania w pokładach metanowych należy prowadzić szczegółową analizę uwarunkowań wentylacyjno-metanowych, które w wielu przypadkach będą rzutowały na dobór sposobu przewietrzania, zakres stosowanej profilaktyki metanowej oraz określały zdolność wydobywczą. Dokładnie sporządzona prognoza wielkości wydzielania metanu do środowiska projektowanej ściany o dużej koncentracji wydobywania stanowi podstawę do określenia warunków bezpiecznej eksploatacji.

Graficzne przedstawienie wyników prognozy (rys. 2) daje natychmiastowy pogląd na kształtowanie się prognozowanego wydzielania metanu, przy danym postępie na całym projektowanym wybiegu, jednakże bez wyprzedzającej oceny poziomu występującego zagrożenia wentylacyjno-metanowego w czasie eksploatacji. Oceny poziomu zagrożenia metanowego można dokonać po obliczeniu wartości kryterialnych metanowości bezwzględnych, przy założeniu prognozowanych lub faktycznych wielkości wydzielania metanu. Instrukcja nr 17 „Zasady prowadzenia ścian w warunkach zagrożenia metanowego” pozwala na dokonanie wyprzedzającej oceny zagrożenia wentylacyjno-metanowego w ścianach projektowanych oraz oceny faktycznego poziomu zagrożenia w ścianach eksploatowanych.

Określenie warunków bezpiecznej eksploatacji ścian wiąże się nie tylko z dokładnością prognoz, lecz głównie ze spełnieniem warunków identyfikujących poziom występującego zagrożenia wentylacyjno-metanowego, zgodnie z metodą obliczeń zawartą w tej instrukcji. Syntetyczna analiza prognozowanej metanowości bezwzględnej na wybiegu projektowanej ściany z obliczeniami wartości metanowości kryterialnych pozwala na wyprzedzającą ocenę poziomu zagrożenia metanowego.

W czasie eksploatacji ściany można na bieżąco wykonywać obliczenia kryterialnej metanowości bezwzględnej i porównywać ją z faktycznym wydzielaniem metanu, a także dokonywać identyfikacji poziomu występującego zagrożenia wentylacyjno-metanowego.

Zastosowanie kryteriów warunkujących bezpieczeństwo prowadzenia eksploatacji w pokładach metanowych, zawartych w Instrukcji nr 17 pozwala ponadto na określenie dopuszczalnej wielkości wydobywania na eksploatacyjnym wybiegu ściany w zależności od układu przewietrzania, wydatków powietrza oraz efektywności odmetanowania.

W warunkach przewietrzania ścian w układzie Y odwrócone należy liczyć się ze zmniejszaniem się gabarytów chodnika wentylacyjnego wzdłuż zrobów zawałowych, co powinno zostać uwzględnione na etapie projektowania eksploatacji. Zmniejszenie przekroju poprzecznego wyrobisk powoduje zwiększenie wartości jego oporu aerodynamicznego, tym samym ograniczenie zdolności wentylacyjnej wyrobisk rejonu eksploatacyjnego. W takiej sytuacji zwiększa się ilość powietrza migrującego przez zroby eksploatowanej ściany, powodując zmniejszenie zawartości metanu w gazach zrobowych, obniżając efektywność odmetanowania, a w konsekwencji przyrost zawartości metanu w opływowym prądzie zużytego powietrza na długości

zrobów poeksploatacyjnych. Stwierdzany jest znaczący przyrost metanowości bezwzględnej w chodniku wentylacyjnym, głównie w sąsiedztwie miejsca rozpoczęcia ściany.

W warunkach utrzymywania bezpiecznego bilansu wentylacyjno-metanowego oraz gabarytów wyrobisk na drodze odprowadzenia powietrza w układzie przewietrzania Y sytuacja nie budzi niepokoju, pod warunkiem, że nie wzrasta zagrożenie pożarem endogenicznym w zrobach poeksploatacyjnych ściany. W czasie eksploatacji ściany nr 9 w pokładzie 405/2 następowało sukcesywne zaciskanie chodnika wentylacyjnego, głównie na odcinku zaburzenia geologicznego.

Trudności w utrzymaniu gabarytów chodnika wentylacyjnego za frontem ściany nr 9 (wzdłuż zrobów) przyczyniły się do zmniejszenia zdolności wentylacyjnej rejonu i w konsekwencji do sukcesywnego zmniejszenia wydatku powietrza.

Zwiększenie wartości wypadkowego oporu aerodynamicznego chodnika wentylacyjnego ściany nr 9 w pokładzie 405/2 spowodowało zwiększenie migracji powietrza przez zroby, uniemożliwiając utrzymanie w nich koncentracji metanu pozwalającej, zgodnie z przepisami, na prowadzenie ich odmetanowania i jednocześnie utrzymywanie w zrobach dużej zawartości tlenu stwarzającej możliwość samozagrzenia węgla w zrobach.

Zastosowanie „Zasad prowadzenia ścian w warunkach zagrożenia metanowego” zawartych Instrukcji nr 17 pozwala na ocenę poziomu zagrożenia metanowego oraz podejmowanie racjonalnych decyzji dotyczących rygorów warunkujących bezpieczeństwo prowadzenia eksploatacji w warunkach występującego zagrożenia metanowego.

#### **4. KRYTERIA WARUNKUJĄCE BEZPIECZEŃSTWO PROWADZENIA EKSPLOATACJI W POKŁADACH ZAGROŻONYCH POŻAREM ENDOGENICZNYM**

##### **4.1. Prognozowanie zagrożenia pożarem endogenicznym w zrobach ścian, wyznaczenie dopuszczalnej zawartości tlenu w gazach zrobowych**

W ostatnich latach zostały rozwinięte metody prognozowania zagrożenia pożarowego w kopalniach, oparte na badaniach laboratoryjnych procesu samozagrzenia węgla w kalorymetrach adiabatycznych oraz na matematycznym modelowaniu samozagrzenia fragmentu złoża węgla (Branny, Cygankiewicz, Piotrowski, Waclawik 1997; Cygankiewicz 2000a; Cygankiewicz 2000b).

Podstawowym kryterium bezpieczeństwa prowadzenia ściany w warunkach zagrożenia pożarowego jest utrzymywanie w zrobach bezpiecznych, dopuszczalnych stężeń tlenu, tzn. takich, przy których rozwój procesu samozagrzenia jest niemożliwy. Musi być więc spełniony warunek

$$O_2 < O_2^d$$

gdzie:

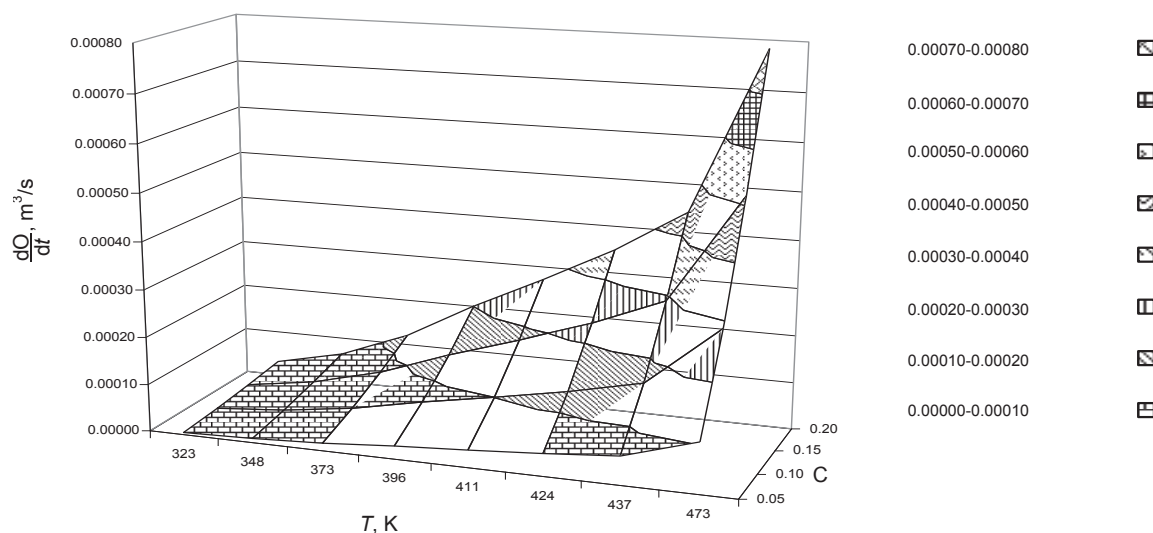
- $O_2$  – stężenie tlenu w zrobach,
- $O_2^d$  – dopuszczalne stężenie tlenu.

Wartość dopuszczalnego stężenia tlenu wyznacza się na podstawie prognozy zagrożenia pożarowego opracowanej dla różnych wariantów stężeń gazów w zrobach.

#### 4.2. Badania laboratoryjne wyznaczania parametrów węgla z pokładu 405/2 w kopalni „Sośnica” i otaczających skał niezbędnych do obliczeń prognostycznych

Badania są wykonywane na zbudowanym do tego celu, w Zakładzie Aerologii GIG, stanowisku badawczym. Podstawę stanowiska stanowi 10 kalorymetrów adiabatycznych. Świeżo pobraną z calizny próbkę węgla o masie około 1 kg umieszcza się w moździerzu, a następnie rozkrusza opuszczając na nią 15-krotnie, z wysokości 1 metra, obciążnik o masie 5 kg. Tak otrzymany miał węglowy umieszcza się w kalorymetrach, do których doprowadza się powietrze o zawartości tlenu 20,9, 15,0, 10 i 5% w ilościach od 0,2 do 1,0 l/godz., w zależności od typu węgla. W wyniku zachodzących egzotermicznych procesów utleniania węgiel zagrzewa się.

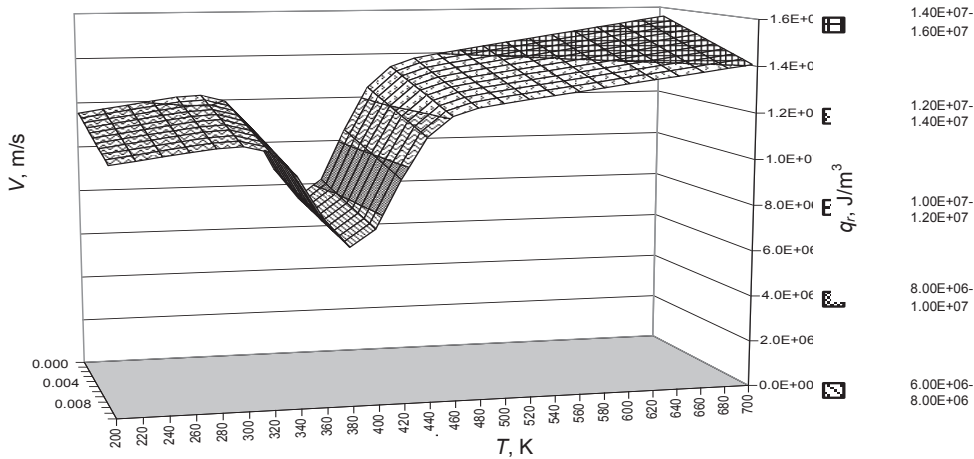
Zmierzoną w warunkach laboratoryjnych szybkość utleniania  $\frac{dO}{dt}$  (ilość tlenu pochłanianą przez 1 m<sup>3</sup> rozkruszonego węgla w jednostce czasu) węgla z pokładu 405/2 w kopalni „Sośnica” w zależności od temperatury pokazano na rysunku 3.



**Rys. 3.** Szybkość reakcji utleniania węgla  $\frac{dO}{dt}$  z pokładu 405/2 w kopalni „Sośnica” w funkcji temperatury  $T$  i zawartości tlenu w dopływających gazach  $C$

**Fig. 3.** The rate of oxidation  $\frac{dO}{dt}$  of coal from 405/2 seam in “Sośnica” Colliery in the relation to the temperature  $T$  and the oxygen content  $C$  in inflowd gases

Równocześnie z szybkością reakcji utleniania jest wyznaczane ciepło reakcji utleniania  $q_r$  (całkowita ilość ciepła wydzielona przy pochłonięciu przez węgiel 1 m<sup>3</sup> tlenu). Ciepło reakcji utleniania węgla o naturalnej zawartości wilgoci w funkcji temperatury i prędkości przepływu gazów pokazano na rysunku 4.



**Rys. 4.** Ciepło reakcji utleniania  $q_r$  wyznaczone dla próby węgla z pokładu 405/2 w kopalni „Sośnica” o naturalnej zawartości wilgoci:  $T$  – temperatura,  $V$  – prędkość przepływu gazów

**Fig. 4.** The heat of the oxidation reaction  $q_r$  determined for sample of coal from 405/2 seam in “Sośnica” Colliery for natural moisture content:  $T$  – temperature,  $V$  – rate of gases flow

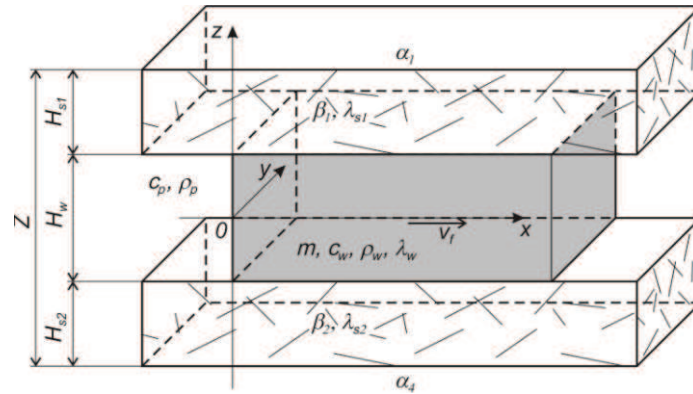
Pozostałe parametry węgla i otaczających skał, takie jak: gęstość, ciepło właściwe, współczynnik przewodnictwa cieplnego wyznacza się zgodnie z obowiązującymi normami.

### 4.3. Obliczenia prognostyczne procesu stygnięcia zagrzanego fragmentu złoża

#### MATEMATYCZNY MODEL PROCESU SAMOZAGRZANIA ZŁOŻA WĘGLA

Złoże rozkruszonego węgla traktuje się jako ośrodek porowaty, niejednorodny, ograniczony nieprzepuszczalnymi lub w niektórych przypadkach przepuszczalnymi skałami lub też wyrobiskami, przez które przepływa powietrze. Zakłada się, że rozpatrywane ciało porowate jest izotropowe i stałe fizyczne ośrodka charakteryzującego procesy transportu masy, pędu i energii, takie jak współczynniki przewodnictwa cieplnego, dyfuzji i przepuszczalności filtracyjnej są wielkościami skalarnymi. Składniki gazowe są przenoszone w tym ośrodku drogą konwekcji i dyfuzji.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono model zagrzanego fragmentu złoża o kształcie prostopadłościanu obustronnie sąsiadującego ze skałami (rys. 5).



**Rys. 5.** Model geometryczny fragmentu złoża węgla obustronnie sąsiadującego ze skalami  
**Fig. 5.** The geometrical model of the fragment of coal deposit on both sides bordering with rocks

Równania bilansu energii mają postać:

- dla skał znajdujących się nad złożem węgla

$$c_s \rho_s \frac{1}{s_h} \frac{\partial T}{\partial \tau} - \rho_s \left[ \frac{\partial T}{\partial x^2} + \frac{\partial T}{\partial z^2} \right] = 0 \quad 0 < x < X, 0 < z < Z_{sw}, 0 < \tau < \tau_f$$

- dla zagrzewającego się złoża węgla

$$c_w \rho_w \frac{1}{s_h} \frac{\partial T}{\partial \tau} - \rho_w \left[ \frac{\partial T}{\partial x^2} + \frac{\partial T}{\partial z^2} \right] + \rho_g v_f \frac{\partial T}{\partial x} = \rho_g \frac{dO}{dt} \quad 0 < x < X, Z_{sw} < z < Z_{ws}, 0 < \tau < \tau_f$$

- dla skał znajdujących się pod złożem

$$c_s \rho_s \frac{1}{s_h} \frac{\partial T}{\partial \tau} - \rho_s \left[ \frac{\partial T}{\partial x^2} + \frac{\partial T}{\partial z^2} \right] = 0 \quad 0 < x < X, Z_{ws} < z < Z, 0 < \tau < \tau_f$$

Równanie bilansu masy tlenu w złożu ma postać

$$m \frac{1}{s_h} \frac{\partial C}{\partial \tau} - nD \left[ \frac{\partial C}{\partial x^2} + \frac{\partial C}{\partial z^2} \right] + v_f \frac{\partial C}{\partial x} = -g \frac{dO}{dt} \quad 0 < x < X, Z_{sw} < z < Z_{ws}, 0 < \tau < \tau_f$$

Warunki graniczne są następujące:

Temperatura na brzegach złoża i w chwili początkowej

$$T(x, z, 0) = T_0 \quad 0 < x < X, 0 < z < Z$$

$$T(0, z, \tau) = T_0, \quad T_x(X, z, \tau) = 0 \quad 0 < z < Z, 0 < \tau < \tau_f$$

warunki wymiany ciepła na brzegu warstwy:



$$\lambda_{s1}T_z(x,0,\tau) - \iota_1(T(x,0,\tau) - T_1) = 0 \quad 0 < x < X, 0 < \tau < \tau_f$$

$$T(x, Z_{sw} - \iota, \tau) = T(x, Z_{sw} + \iota, \tau), \lambda_{s1}T_z(x, Z_{sw} - \iota, \tau) = \lambda_w T_z(x, Z_{sw} + \iota, \tau) \quad 0 < x < X, 0 < \tau < \tau_f$$

$$T(x, Z_{ws} - \iota, \tau) = T(x, Z_{ws} + \iota, \tau), \lambda_w T_z(x, Z_{ws} - \iota, \tau) = \lambda_{s2} T_z(x, Z_{ws} + \iota, \tau) \quad 0 < x < X, 0 < \tau < \tau_f$$

$$\lambda_s T_z(x, Z, \tau) + \alpha_4(T(x, Z, \tau) - T_4) = 0 \quad 0 < x < X, 0 < \tau < \tau_f$$

koncentracja początkowa tlenu

$$C(x, z, 0) = C_0 \quad 0 < x < X, Z_{sw} < z < Z_{ws}$$

koncentracja tlenu na brzegu warstwy

$$C(0, z, \tau) = C_e, C_x(X, z, \tau) = 0 \quad Z_{sw} < z < Z_{ws}, 0 < \tau < \tau_f$$

warunki wymiany tlenu na brzegu warstwy

$$mDC_z(x, Z_{sw}, \tau) - \iota_2 C(x, Z_{sw}, \tau) = 0 \quad 0 < x < X, 0 < \tau < \tau_f$$

$$mDC_z(x, Z_{ws}, \tau) - \iota_3 C(x, Z_{ws}, \tau) = 0 \quad 0 < x < X, 0 < \tau < \tau_f$$

Powyższe wyrażenia stanowią matematyczny model samozagrzewania złoża węgla przedstawionego na rysunku 5. Występujące w nim zmienne, stałe fizyczne i parametry węgla z pokładu, przepływających gazów i otaczających skał zestawiono w tablicach 2–4.

Rozwiązanie uzyskuje się metodą różnic skończonych. Uzyskany układ równań różnicowych rozwiązano metodą TDMA (*TRI-Diagonal Matrix Algorithm*).

Tablica 2. Zmienne występujące w modelu matematycznym

Zmienna	Symbol	Jednostka
Czas	$\tau$	h
Parametry przestrzenne	$x$	m
	$z$	m
Temperatura	$T$	K
Zawartość tlenu w gazach	$C$	1
Grubości warstw	$Z_{sw} = H_{s1}$	m
	$Z_{ws} = H_{s1} + H_w$	m
	$Z = H_{s1} + H_w + H_{s2}$	m

Tablica 3. Stałe fizyczne występujące w modelu matematycznym

Stale	Wartość	Jednostka
Ciepło właściwe powietrza	$c_g = 1000,0$	J/(kg · K)
Współczynnik przeliczeniowy sekunda na godzina	$s_h = 3600,0$	s/h

Tablica 4. Parametry węgla, przepływających gazów i otaczających skał występujące w modelu matematycznym

Parametr	Symbol	Jednostka	Wartości przyjęte w przykładzie
Ciepło właściwe węgla	$c_w$	J/(kg·K)	1200,00
Ciepło właściwe skał stropowych	$c_{s1}$	J/(kg·K)	2000,00
Ciepło właściwe skał spagowych	$c_{s2}$	J/(kg·K)	2000,00
Gęstość węgla	$\rho_w$	kg/m <sup>3</sup>	800,00
Gęstość skał stropowych	$\rho_{s1}$	kg/m <sup>3</sup>	2000,00
Gęstość skał spagowych	$\rho_{s2}$	kg/m <sup>3</sup>	2000,00
Gęstość powietrza	$\rho_g$	kg/m <sup>3</sup>	1,29
Współczynnik porowatości węgla	$m$	1	0,40
Współczynnik przewodnictwa cieplnego w węglu	$\lambda_w$	W/(m·K)	0,28
Współczynnik przewodnictwa cieplnego skał stropowych	$\lambda_{s1}$	W/(m·K)	1,80
Współczynnik przewodnictwa cieplnego skał spagowych	$\lambda_{s2}$	W/(m·K)	2,00
Współczynnik dyfuzji przez tlen	$D$	m <sup>2</sup> /s	10 <sup>-5</sup>
Prędkość przepływu gazu	$v_f$	m/s	0,0005
Temperatura na powierzchni warstwy skał stropowych	$T_1$	K	300,00
Temperatura na powierzchni warstwy skał spagowych	$T_2$	K	300,00
Temperatura początkowa węgla	$T_0$	K	300,00
Koncentracja początkowa tlenu w węglu	$C_0$	1	0,01
Koncentracja tlenu w powietrzu dopływającym	$C_e$	1	0,20
Długość warstwy węgla	$X$	m	7,00
Grubość warstwy węgla	$H_w$	m	1,00
Grubość skał stropowych	$H_{s1}$	m	3,00
Grubość skał spagowych	$H_{s2}$	m	3,00

#### 4.4. Przykład obliczeniowy

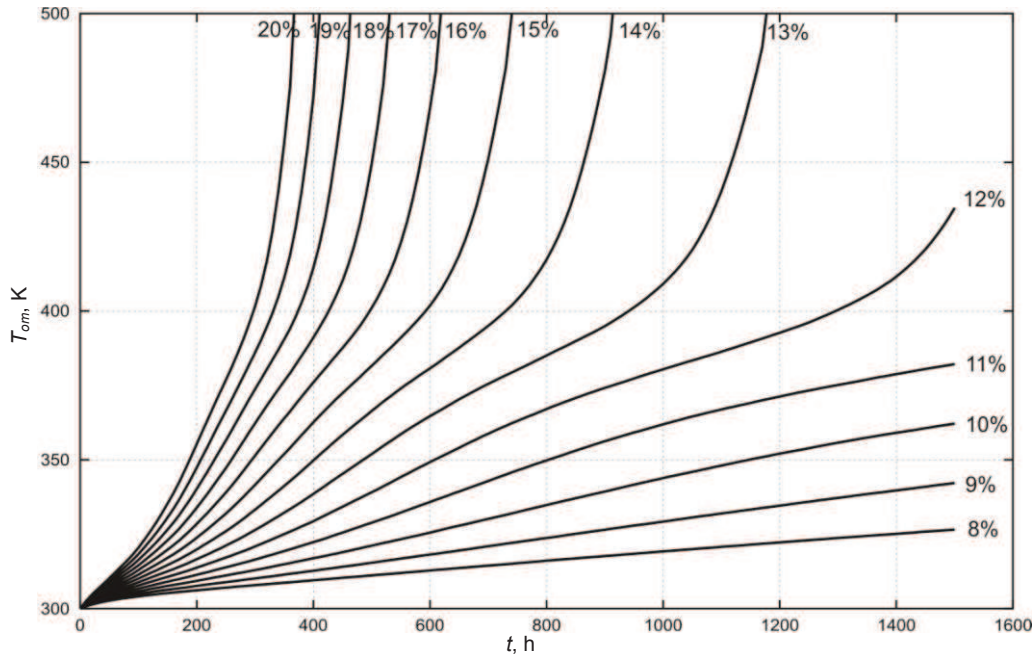
Przeanalizowano samozagrzewanie fragmentu pozostawionej w zrobach ściany nr 9 w pokładzie 405/2 w kopalni „Sońnica” warstwy węgla. Na podstawie zaburzeń geologicznych występujących w rejonie tej ściany przyjęto maksymalną grubość warstwy węgla równą 1 m i grubości skał zalegających bezpośrednio stropie i spągu (iłowce) po 2,5 m. Współczynnik przewodnictwa cieplnego dla tych skał wynosił  $\lambda_s = 2$  W/(m·K). Jako prędkość migracji gazu przez złożę przyjęto wartość wyznaczoną podczas badań kalorymetrycznych w laboratorium (optymalną dla rozwoju samozagrzewania węgla z pokładu 405/2)  $V_f = 0,0005$  m/s. Pozostałe parametry węgla, przepływającego powietrza i otaczających skał zamieszczono w tablicach 3–4.

Podstawą obliczeń były wyznaczone wartości ciepła i szybkości reakcji utleniania pokazane na rysunkach 3 i 4.

#### WYNIKI OBLICZEŃ

Prognozowane przebiegi zmian maksymalnej temperatury zagrzewającej się warstwy węgla w zrobach ściany nr 9 w pokładzie 405/2 dla zawartości tlenu równych  $O_2 = 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8\%$  obj. gazów zrobowych przedstawiono na rysunku 6.

Wynika z niego, że czas samozagrzewania węgla w zakresie temperatury od 300 do 500 K w znacznym stopniu zależał od stężenia tlenu i zmieniał się od 350 godzin dla zawartości tlenu równej 20% do ponad 1500 godzin dla zawartości tlenu w gazach zrobowych równej 12%. Po zmniejszeniu stężenia tlenu w gazach zrobowych poniżej 11% węgiel nie ulegał samozagrzeniu. Zatem wyznaczona dla warunków ściany nr 9 405/2 dopuszczalna zawartość tlenu w zrobach wynosiła  $O_2^d = 11\%$ .



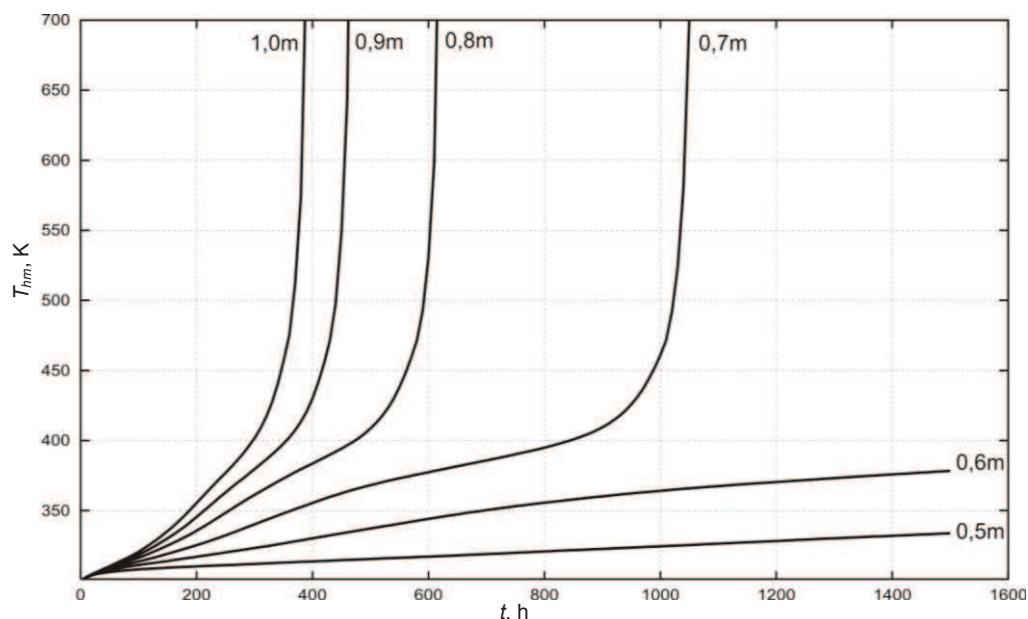
**Rys. 6.** Prognozowany przebieg zmian maksymalnej temperatury  $T$  warstwy węgla grubości  $H_w = 1,0$  m podczas samozagrzewania w zrobach ściany nr 9 w pokładzie 405/2 w kopalni „Sośnica” dla zawartości tlenu w gazach zrobowych  $O_2 = 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8\%$ :  $t$  – czas

**Fig. 6.** The forecasted course of changes of the maximum temperature  $T$  of a coal stratum (thickness of the stratum  $H_w = 1$  m) during spontaneous warming in cavities, caused by exploitation of number 9 face in the 405/2 coal seam in “Sośnica” Colliery. The oxygen content in cavity gases  $O_2 = 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8\%$ :  $t$  – time

Na rysunku 7 przedstawiono wyniki obliczeń – prognostyczny przebieg zmian temperatury warstwy węgla grubości  $H_w$  od 0,5 do 1,0 m podczas samozagrzewania w zrobach ściany nr 9 dla zawartości tlenu w gazach zrobowych równych 20%. Wynika z niego, że grubość 0,7 m jest krytyczną grubością warstwy węgla z pokładu 405/2 dla jakiej w zrobach ściany nr 9 może dojść do samozagrzewania.

Z przeprowadzonych badań i obliczeń wynikają następujące wnioski:

- zagrożenie pożarowe występowało w tych fragmentach zrobów ściany nr 9, w których warstwa rozkruszonego węgla przekraczała 0,7 m, a stężenie tlenu było większe od 11%,
- prawdopodobne wydaje się zapalenie węgla, a następnie metanu w sytuacji, kiedy przez warstwę rozkruszonego węgla w zrobach, w rejonie uskoków grubości około 1 m przepływało powietrze o zawartości tlenu 14–15%,
- czas indukcji pożaru od temperatury pierwotnej do 250–300 °C (temperatura zapłonu węgla) mógł wynieść (rys. 6) około 850 godzin (ok. 35 dni),
- z analizy składu chemicznego powietrza wypływającego z rejonu ściany nr 9 wynika, że w takim to właśnie okresie od początku października do 7 listopada następował systematyczny wzrost wydzielającego się ze zrobów tlenu węgla.



**Rys. 7.** Prognozowany przebieg zmian maksymalnej temperatury  $T$  warstwy węgla grubości od 0,5 do 1,0 m podczas samozagrzewania w zrobach ściany nr 9 w pokładzie 405/2 w kopalni „Sośnica” dla zawartości tlenu w gazach zrobowych  $O_2 = 20\%$ :  $t$  – czas

**Fig. 7.** The forecasted course of changes of the maximum temperature  $T$  of a coal stratum (thickness of the stratum from 0.5 to 1 m) during spontaneous warming in cavities caused by exploitation of number 9 face in 405/2 coal seam in “Sośnica” Colliery. The oxygen content in cavity gases  $O_2 = 20\%$ :  $t$  – time

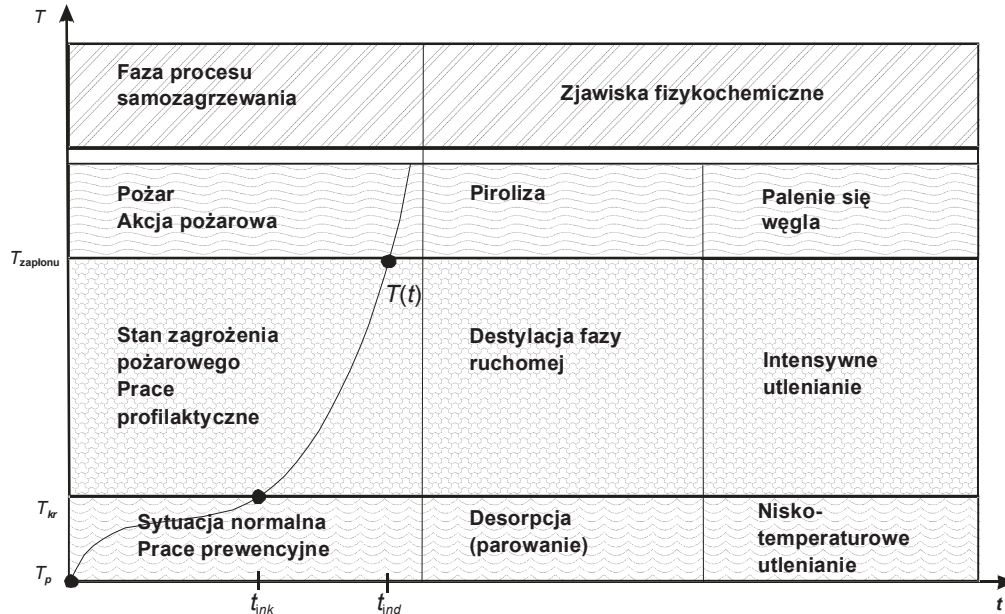
## 5. BIEŻĄCA OCENA ZAGROŻENIA POŻAROWEGO W ZROBACH ŚCIAN NA PODSTAWIE PRECYZYJNEJ ANALIZY CHROMATOGRAFICZNEJ GAZÓW

### 5.1. Fazy procesu samozagrzewania

Rozróżnia się dwie fazy samozagrzewania:

- Faza pierwsza – początkowa, w której temperatura zagrzewającego się węgla jest niższa od temperatury krytycznej. Sytuację w rejonie wydobywczym uznaje się wówczas za normalną. W kopalni są prowadzone przewidziane w planie ruchu prace prewencyjne.
- Faza druga – zaawansowanego procesu samozagrzewania, w której temperatura zagrzewającego się węgla jest wyższa od temperatury krytycznej, a niższa od temperatury zapłonu. Przekroczenie temperatury krytycznej węgla oznacza, że zastosowane środki prewencji pożarowej są niewystarczające i należy niezwłocznie przystąpić do prac profilaktycznych, których celem jest zahamowanie rozwoju, a następnie likwidacja ogniska samozagrzewania.

Po przekroczeniu przez węgiel temperatury zapłonu następuje samozapalenie węgla.



Rys. 8. Fazy procesu samozagrzewania, procesy fizyczne i chemiczne, towarzyszące samozagrzewaniu węgla:  $t$  – czas,  $T$  – temperatura

Fig. 8. Phases of the spontaneous warming process, physical and chemical processes accompanying the spontaneous warming:  $t$  – time,  $T$  – temperature

O zagrożeniu pożarem endogenicznym w wyrobiskach kopalń decyduje przebieg procesu samozagrzewania w zakresie od temperatury pierwotnej (początkowej)  $T_p$  do temperatury krytycznej  $T_{kr}$ , powyżej której szybkość samozagrzewania gwałtownie wzrasta. Miarą zagrożenia pożarowego jest czas, jaki jest niezbędny do osiągnięcia przez węgiel temperatury krytycznej w warunkach kopalnianych. Czas ten, nazywany też okresem inkubacji pożaru, należy wyznaczać na podstawie prognoz bilansu ciepła i masy w zagrzewającym się złożu.

Każdej z wyżej wymienionych faz procesu samozagrzewania oraz palenia się węgla towarzyszą charakterystyczne procesy fizyczne i chemiczne (rys. 8), w wyniku których do atmosfery kopalnianej wydzielają się charakterystyczne gazy. Ściany charakteryzujące się bardzo dużą metanowością bezwzględną są przewietrzane dużymi ilościami powietrza od 1500 do 3000 m<sup>3</sup>/min. W takim przypadku monitorowanie rozwoju zagrożenia pożarowego, zwłaszcza w jego wczesnym stadium, może być utrudnione. Zarówno CO-metria automatyczna, jak i analizy prób powietrza wykonywane w laboratoriach kopalnianych mogą nie wykazywać wzrostu stężeń tlenu w prądach wylotowych do poziomu 4–5 ppm, co z kolei może oznaczać, że wzrost wskaźnika ilości tlenu węgla  $\dot{V}_{CO}$  nawet powyżej wartości 10 l/min, może być niezauważony. W takiej sytuacji podstawą do oceny zagrożenia pożarowego są

analizy chemiczne gazów pobieranych z umieszczonych w zrobach, wzdłuż chodnika wentylacyjnego, sond pomiarowych. Szczególnie cenne są precyzyjne analizy chromatograficzne, w których oprócz produktów utleniania, takich jak tlenek węgla i dwutlenek węgla, są wyznaczane śladowe zawartości gazów będących produktami destylacji fazy ruchomej lub pirolizy węgla. Do produktów tych należą przede wszystkim etylen, propylen, acetylen i wodór.

Jeżeli w gazach zrobowych zaobserwuje się wzrost zawartości tlenu węgla, przy równoczesnym wzroście wskaźnika Grahama, a wskaźniki pożarowe przekroczą wartości kryterialne:

$$WP1 = \frac{CO}{H_2} > VP1^{kr}$$

$$WP2 = \frac{C_2H_4 + C_3H_6}{H_2} > VP2^{kr}$$

$$WP3 = \frac{C_2H_4 + C_3H_6}{C_2H_2} > VP3^{kr}$$

to oznacza, że została przekroczona temperatura krytyczna zagrzewającego się węgla i należy przystąpić do prac profilaktycznych. Prace te powinny doprowadzić do ograniczenia zawartości tlenu w zrobach lub deaktywacji zagrzewającego się węgla.

Wartości kryterialne wskaźników  $WP-1^{kr}$ ,  $WP-2^{kr}$ ,  $WP-3^{kr}$  są charakterystyczne dla danego typu węgla i wyznacza się je na podstawie badań kalorymetrycznych prób węgla podczas samozagrzewania w warunkach adiabatycznych. Na przykład wartości kryterialne wyznaczone dla węgla z pokładu 405/2 w kopalni „Sośnica” wynoszą odpowiednio

$$WP1^{kr} = 5$$

$$WP2^{kr} = 0,05$$

$$WP3^{kr} = 150$$

Jeżeli pomimo zastosowanej profilaktyki następuje dalszy wzrost zagrożenia pożarowego, a w gazach zrobowych jest widoczny wzrost stężenia acetyleny do wartości powyżej

$$C_2H_2 > 0,01 \text{ ppm}$$

to należy przystąpić do zmiany układu przewietrzania z Y na U.

## PODSUMOWANIE

Podczas eksploatacji ściany nr 9 w pokładzie 405/2 w kopalni „Sośnica”, w okresie poprzedzającym zapalenie metanu w dniu 7.11.2003 r., zagrożenie metanowe i pożarowe kształtowało się na poziomie wartości ekstremalnych. Wzrost



zagrożenia nastąpił w związku z ograniczeniem zdolności wentylacyjnej rejonu na skutek zmniejszenia przekroju chodnika wentylacyjnego wzdłuż zrobów za frontem ściany. Ze wzrostu zagrożenia pożarem endogenicznym w zrobach ściany nr 9 wynikała bezwarunkowa konieczność zmiany układu przewietrzania z Y na U. Zmiana ta spowodowałaby zinertryzowanie atmosfery w zrobach w wyniku wzrostu zawartości metanu i przerwanie procesu samozagrzewania węgla.

Spełnianie przedstawionych w niniejszej publikacji kryteriów oceny zagrożeń metanowego i pożarowego pozwala na bardziej bezpieczne prowadzenie eksploatacji ścian.

#### Literatura

1. Branny M., Cygankiewicz J., Waclawik J. (1995): *Jednowymiarowy model pożaru endogenicznego w zrobach lub szczelinach węglowych*. Archiwum Górnictwa t. 40 nr 1, s. 39–51.
2. Branny M., Cygankiewicz J., Piotrowski A., Waclawik J. (1997): *Numeryczna symulacja procesu niskotemperaturowego utleniania węgla (uproszczone zagadnienie dwuwymiarowe)*. Archiwum Górnictwa t. 42 nr 4, s. 501–514.
3. Cygankiewicz J. (2000a): *About Determination of Susceptibility of Coals to Spontaneous Combustion Using an Adiabatic Test Method*. Archives of Mining Science t. 45, s. 247–273.
4. Cygankiewicz J. (2000b): *Badania niskotemperaturowego samozagrzewania węgla kamiennych w Głównym Instytucie Górnictwa*. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Seria z Perlikiem nr 2. Kraków, IGSMiE PAN, s. 5–29.
5. Cygankiewicz J. (2003): *Ocena ryzyka pożaru endogenicznego w rejonach eksploatacyjnych kopalń*. Wiadomości Górnicze nr 9, s. 416–424.
6. Deńca A. (1991): *Niskotemperaturowe utlenianie węgla kamiennych*. Wiadomości Chemiczne t. 45.
7. Krause E., Łukowicz K. (2000): *Dynamiczna prognoza metanowości bezwzględnej ścian (poradnik techniczny)*. Główny Instytut Górnictwa, Instrukcja nr 14.
8. Krause E., Łukowicz K. (2004): *Zasady prowadzenia ścian w warunkach zagrożenia metanowego (poradnik techniczny)*. Główny Instytut Górnictwa, Instrukcja nr 14.
9. Krause E. i inni (2002): *Dynamiczna prognoza metanowości bezwzględnej dla ściany 9 w pokładzie 405/2 w KWK „Sośnica”*. Praca badawczo-usługowa GIG.
10. Taraba B. (2003): *Nizkoteplotni oxidace a samovzneco vani uhelne hmoty*. Ostravska univerzita v Ostrave.

**Recenzent:** dr Józef Knechtel