

Henryk Kopton*

METODA PROGNOZOWANIA METANOWOŚCI BEZWZGLĘDNEJ WYROBISK KORYTARZOWYCH DRAŻONYCH KOMBAJNAMI W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie

W artykule przedstawiono nową metodę prognozowania metanowości bezwzględnej wyrobisk korytarzowych drażonych kombajnami w kopalniach węgla kamiennego, opracowaną na podstawie wyników badań wykonanych w Głównym Instytucie Górnictwa i będącą tematem pracy doktorskiej autora. Omówiono wyniki weryfikacji stosowanych metod prognozowania w zakresie ich zgodności ze stanem faktycznym, z wykorzystaniem zbioru danych dotyczących wytypowanych losowo 60 wyrobisk korytarzowych drażonych w różnych warunkach geologiczno-górnictwowych w wybranych kopalniach Kompanii Węglowej SA i Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA. Ponadto, przedstawiono wyniki analizy czynników, które mogą mieć zasadniczy wpływ na wielkość wydzielania się metanu z wykorzystaniem metody heurystycznej oraz wyniki statystycznej zależności zweryfikowanego zbioru wytypowanych czynników pod kątem ich wpływu na wydzielanie się metanu podczas drażenia wyrobisk korytarzowych, z uwzględnieniem warunków geologiczno-górnictwowych, organizacyjno-technicznych, własności fizykochemicznych węgla oraz z uwzględnieniem mechanizmu wydzielania się metanu, jak i rozkładu naprężeń wokół wyrobiska korytarzowego. Model matematyczny prognozy metanowości bezwzględnej wyrobisk korytarzowych drażonych kombajnami został sporządzony na podstawie analiz uzyskanych metodami matematyczno-fizycznymi i empirycznymi. Model ten został zweryfikowany w odniesieniu do rzeczywistego wydzielania się metanu do wytypowanych wyrobisk korytarzowych drażonych w różnych warunkach gazowych. W opracowanej nowej metodzie prognozowania, w stosunku do stosowanych metod, uwzględniono mechanizm kinetyki wydzielania się metanu oraz kształt i zasięg, tzw. strefy desorpcji dla wyrobiska korytarzowego. Nowa metoda prognozowania metanowości bezwzględnej umożliwia bardziej dokładne określenie ilości metanu wydzielającego się do drażonego wyrobiska korytarzowego (ze szczególnym uwzględnieniem strefy przyprzodkowej), co stanowi podstawę do właściwego doboru środków profilaktyki metanowej, a zatem ma znaczący wpływ na bezpieczeństwo prowadzenia robót.

Method of prognosing absolute methane content in dog headings driven with heading machine in coal mines

Abstract

In the article, a new method of prognosing absolute methane content in dog headings driven with heading machines in coal mines, devised on the basis of research results conducted in the Central Mining Institute, which is the subject of doctoral thesis of the author. Verification results were discussed of utilized method of prognosing in the scope of their compliance with the actual state using data file referring to 60 randomly chosen dog headings driven in various geological-mining conditions in selected mines of Kompania Węglowa S.A. and Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. [Jastrzębska Coal Company Inc.] Furthermore, results of analysis of factors were presented, which can have profound influence on the amount of methane emission, applying heuristic method as well as results of statistical dependence of verified collection of selected factors with respect to their influence on methane emission during driving dog headings, taking geological-mining conditions, organizational-technical, physio-chemical properties

* Główny Instytut Górnictwa – Kopalnia Doświadczalna „Barbara”.

of coal and also the mechanism of methane emission into consideration, as well as stress pattern along the dog heading. Mathematical model of prognosing absolute methane content in dog headings driven with heading machines was compiled on the basis of analyses obtained from mathematical-physical and empirical methods. This model was verified in relation to actual methane emission in selected dog headings driven in various gas conditions. In the devised new method of prognosing, in relation to applied methods, a mechanism of kinetics of methane emission was taken into account, as well as shape and scope, so called desorption zones for dog heading. The new method of prognosing absolute methane content allows for more accurate estimation of amount of methane emitted to the dog heading being driven (with particular allowance for the near-front zone), which makes up the basis for appropriate selection of methane preventive means, thus it has considerable influence on the safety of the works carried out.

WPROWADZENIE

Wydzielanie się metanu podczas prowadzenia robót górniczych i wynikające stąd zagrożenie wybuchowe jest nadal bardzo groźnym zjawiskiem, występującym w kopalniach węgla kamiennego. Wzrost tego zagrożenia jest związany zarówno z coraz większą głębokością prowadzonych robót, jak i z koncentracją produkcji. Ilość wydzielającego się metanu ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo podczas drażenia wyrobisk korytarzowych oraz prowadzenia eksploatacji w kopalniach węgla kamiennego. Zwalczenie zagrożenia metanowego polega przede wszystkim na ograniczaniu możliwości powstawania niebezpiecznych nagromadzeń metanu, jak i na eliminowaniu źródeł zapłonu metanu przez stosowanie środków zabezpieczających. Obecnie stosowana metoda prognozowania metanowości bezwzględnej wyrobisk korytarzowych bazuje na wynikach badań sprzed ponad 20 lat. Wyrobiska korytarzowe w większości przypadków są teraz drażone w zupełnie odmiennych warunkach niż te, które były przedmiotem ówczesnych badań, i na podstawie których opracowano metody prognozowania. Stosowanie „starych” metod prognozowania wydzielania się metanu podczas drażenia wyrobisk korytarzowych skutkuje często dużą rozbieżnością między wynikiem prognozy a stanem faktycznym. Rozbieżność między wartościami prognozowanymi, obliczonymi na etapie projektowania, a rzeczywistymi wartościami wydzielającego się metanu w czasie drażenia wyrobisk, nie mieści się w granicach błędu tolerowanego i w rezultacie nie pozwala na właściwy dobór środków profilaktyki metanowej. W związku z powyższym stosowana obecnie metoda prognozowania metanowości bezwzględnej drażonych wyrobisk korytarzowych wymagała weryfikacji w zakresie analizy parametrów technicznych, własności geologicznych oraz warunkowań górniczych pod kątem ich wpływu na wydzielanie się metanu, a ponadto uwzględniono w niej nowe czynniki, dotąd nie brane pod uwagę.

1. PRZEGLĄD I WERYFIKACJA STOSOWANYCH METOD PROGNOZOWANIA

W polskim górnictwie węgla kamiennego stosuje się metody prognozowania metanowości wyrobisk korytarzowych opracowane w Głównym Instytucie Górnictwa – Kopalni Doświadczalnej „Barbara”, a szczególnie metodę MPM/3 prognozowania metanowości chodników w zależności od sposobu urabiania, opracowaną w 1986 roku (Kalisz i in. 1978; Kozłowski 1982, 1986; Krause i in. 2001; Metoda MPM/3... 1986).

W badaniach autor uwzględnił również metodę obliczania prognozy metanowości bezwzględnej dla wyrobisk korytarzowych drażonych w węglu, opracowaną przez Frączka (2003).

Weryfikacja stosowanych metod prognozowania polegała na porównaniu wartości metanowości maksymalnej bezwzględnej rzeczywistej drażonych wyrobisk korytarzowych z wartościami prognozowanymi dla realizowanego postępu dobowego oraz oszacowaniu trafności prognoz. Przeprowadzono ją na podstawie danych pozyskanych z kopalń Kompanii Węglowej SA i Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA. Ocena trafności prognozy polegała na obliczaniu względnego błędu prognozy *ex post* (Gajda 2001). Założono, że daną prognozę można uznać za dopuszczalną, gdy względny błąd, czyli odchylenie między wartością prognozowaną a rzeczywistą, nie przekracza 25%. W celu sprawdzenia zgodności stosowanych metod prognozowania ze stanem faktycznym, obliczono wartości prognozowanego wydzielania się metanu dla warunków rzeczywistych, które wystąpiły w czasie drażenia wyrobisk korytarzowych analizowanego zbioru. Prognozowane wydzielanie się metanu w występujących warunkach obliczono za pomocą stosowanej powszechnie metody MPM/3 KD „Barbara” oraz metody Frączka. Z przeprowadzonych obliczeń wynikało, że w przypadku przeważającej liczby prognoz metanowości bezwzględnej błąd ten przekraczał 25%. Średni względny błąd prognoz *ex post*, wynoszący 40%, obliczony dla warunków rzeczywistych, znacznie przekraczał założone 25%. Wyniki przeprowadzonej analizy świadczą o tym, że obecnie stosowane metody prognozowania metanowości bezwzględnej wyrobisk korytarzowych wymagają weryfikacji w zakresie parametrów technicznych, własności geologicznych oraz uwarunkowań górniczych pod kątem ich wpływu na wydzielanie się metanu w obecnych warunkach, wraz z uwzględnieniem udziału nowych, dotąd niebranych pod uwagę czynników.

2. POTENCJALNY ZBIÓR CZYNNIKÓW, KTÓRE WPŁYWAJĄ NA KSZTAŁTOWANIE WYDZIELANIA SIĘ METANU DO DRAŻONYCH WYROBISK KORYTARZOWYCH

Kształtowanie wydzielania się metanu podczas drażenia wyrobisk korytarzowych węglowych i węglowo-kamiennych zależy od wielu czynników geologiczno-górniczych i organizacyjno-technicznych, w tym parametrów urabianego węgla. W czasie drażenia tych wyrobisk są wykonywane badania metanonośności, stanowiącej wielkość zasadniczą w wyznaczaniu prognoz. W związku z powyższym, kluczowym problemem było udzielenie odpowiedzi na pytanie: od jakich dodatkowych czynników zależy ilość wydzielającego się metanu? Do wyboru parametrów i wskaźników opisujących badane zjawisko wydzielania się metanu wykorzystano założenia metody heurystycznej. Ze względu na warunki prowadzenia badań w procedurze doboru cech uczestniczyło 70 ekspertów. Wytypowanymi ekspertami byli przede wszystkim kierownicy działów wentylacji oraz osoby z dozoru wyższego wentylacji wybranych kopalń GZW, jak i specjaliści w zakresie zagrożenia metanowego. Na podstawie dostępnej literatury oraz badań prowadzonych w GIG, sporządzono wstępną listę 22 czynników mogących mieć wpływ na wydzielanie się metanu do drażonych wyrobisk korytarzowych. Lista ta została zawarta w specjalnie przygotowanej w tym celu an-

kiecie. Zadaniem ankietowanych ekspertów było określenie wpływu poszczególnych czynników na wydzielanie się metanu podczas drażenia wyrobisk korytarzowych. Każdy ekspert określił, czy wpływ danego czynnika jest: pewny, raczej pewny, słaby czy też dany czynnik nie wpływa na wydzielanie się metanu. W celu sprawdzenia kompetencji ekspertów skorzystano ze współczynnika zgodności uporządkowań wielokrotnych, tzw. współczynnika konkordancji. Otrzymano wartość współczynnika konkordancji, która wykazała zgodność uporządkowań określaną jako dobry plus. Ponadto, test χ^2 wykazał, że eksperci byli zgodni w swych opiniach. W celu zbiorczej oceny wszystkich ankietowanych, posłużono się testem Grenia (1978). Przeprowadzenie tego testu pozwoliło na stwierdzenie, że należy wyeliminować część cech z listy wstępnej, a pozostałe cechy włączyć do potencjalnego zbioru cech opisujących badane zjawisko wydzielania się metanu do drażonych wyrobisk korytarzowych. W tabelicy 1 zestawiono sumy punktów, wynikające z rang w klasyfikacji wpływu poszczególnych czynników na wydzielanie się metanu, przyznane przez 70 ekspertów. Czynniki do wyeliminowania z listy wstępnej umieszczono na szarym tle.

Tablica 1. Sumy punktów nadanych czynnikom wpływającym na wydzielanie się metanu, z uwzględnieniem wyników testu Grenia

Lp.	Czynnik wpływający na wydzielanie się metanu	Suma punktów
1	<i>Temperatura górotworu</i>	72
2	Zagrożenie tapaniami	72
3	Wpływ krawędzi	73
4	Wpływ wcześniejszego odprężenia górotworu	73
5	Wpływ odmetanowania wyprzedzającego	73
6	Występowanie wstrząsów	73
7	Dokładność wykładki nad obudową	73
8	Wpływ uskoków	76
9	Rodzaj wentylacji (ssąca lub tłocząca)	121
10	Zawartość popiołu w węglu	124
11	Wilgoć całkowita w węglu	134
12	Liczba zmian roboczych w ciągu doby	158
13	Zawartość części lotnych w węglu	160
14	Wytrzymałość węgla na ściskanie	161
15	Gabaryty wyrobiska	164
16	Zaleganie warstw węgla w stropie (lub/i) w spągu wyrobiska w strefie do 10 m	215
17	Wybieg	218
18	Zwięzłość węgla	237
19	Czas drażenia wyrobiska (liczba miesięcy)	238
20	Ilość jednorazowo urobionego węgla w przypadku stosowania MW	246
21	Długość części węglowej obwodu wyrobiska	247
22	Głębokość prowadzonych robót	249
23	Mięszczość pokładu	249
24	Szerokość strefy odprężonej wokół wyrobiska	252
25	Sposób urabiania (kombajn lub MW)	252
26	Wydajność kombajnu w przypadku jego zastosowania	253
27	Współczynnik dyfuzji metanu w węglu	254
28	Postęp dobowy	259
29	Pojemność sorpcyjna węgla względem metanu	259
30	Metanonośność złożowa pokładu	278

Z opinii ekspertów wynikało, że sposób urabiania ma wpływ na wydzielanie się metanu do drążonych wyrobisk korytarzowych, a zatem w metodzie prognozowania powinny być uwzględnione odrębne wzory dla poszczególnych sposobów urabiania. Należy zaznaczyć, że trzech spośród 70 ekspertów do przedstawionej w ankiecie listy 22 czynników dodatkowo dopisało 8, mogących mieć wpływ na wydzielanie się metanu (w tabelicy 1 czynniki od 1 do 8).

Przy prognozowaniu wydzielania się metanu do wyrobisk korytarzowych drążonych w warunkach odprężenia poeksploatacyjnego, jest istotne uwzględnienie częściowego odgazowania pokładu. Oczywiście, zasada dotyczy obecnie stosowanej metody prognozowania i zostanie uwzględniona w opracowywanej metodzie. Część czynników kwalifikujących się do odrzucenia z listy wstępnej również została wykorzystana w dalszej analizie. Dotyczyło to parametrów fizykochemicznych węgla, tj. wilgotności całkowitej, zawartości części lotnych i zawartości popiołu, a także temperatury górotworu, gabarytów wyrobiska i liczby zmian roboczych w ciągu doby. Czynniki te w tabelicy 1 zaznaczono kursywą. Wpływ wytrzymałości węgla na ściskanie, z uwagi na oczywisty związek z zakwalifikowaną do dalszej analizy zwięzłością węgla, nie został pominięty, tylko zastosowany właśnie w tej postaci.

3. ANALIZA STATYSTYCZNA ISTOTNYCH CZYNNIKÓW MAJĄCYCH WPŁYW NA WYDZIELANIE SIĘ METANU DO DRAŻONYCH WYROBISK KORYTARZOWYCH

Przeprowadzona analiza parametrów technicznych, własności geologicznych oraz uwarunkowań górniczych pod kątem ich wpływu na wydzielanie się metanu (z uwzględnieniem opinii ekspertów), pozwoliła na dobór zestawu czynników, które mogą mieć zasadniczy wpływ na wynik prognozy wydzielania się metanu do drążonego wyrobiska. Podstawą do przeprowadzenia analizy statystycznej były dane dotyczące 60 wyrobisk korytarzowych drążonych kombajnami w pokładach II, III i IV kategorii zagrożenia metanowego w latach 2004–2008 wraz z bazą danych zawierającą zestawienie parametrów górniczo-geologicznych i organizacyjno-technicznych oraz informacją dotyczącą prognozowanej i rzeczywistej metanowości bezwzględnej tych wyrobisk. W analizie statystycznej uwzględniono następujące czynniki:

- X1 – głębokość prowadzonych robót (poziom), m,
- X2 – miąższość pokładu, w którym było drążone wyrobisko, przyjęto:
 - 0 – w przypadku, gdy miąższość pokładu była mniejsza od wysokości wyrobiska,
 - 1 – w przypadku, gdy wyrobisko było prowadzone po spągu pokładu, którego miąższość przekraczała wysokość wyrobiska lub w stropie, w odległości do 5 m, zalegała warstwa węgla,
 - 2 – w przypadku, gdy wyrobisko było prowadzone pod stropem pokładu, którego miąższość przekraczała wysokość wyrobiska, lub w spągu, w odległości do 5 m, zalegała warstwa węgla,
- X3 – przekrój poprzeczny drążonego wyrobiska, m²,
- X4 – czas drążenia wyrobiska, dni,
- X5 – postęp dobowy drążenia wyrobiska, m/dobę,
- X6 – liczba zmian roboczych w ciągu doby, c,

- X7 – metanonośność złożowa maksymalna na wybiegu wyrobiska, $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{Mg}_{\text{csw}}$,
- X8 – zwięzłość węgla f (oznaczona metodą Protodiakonowa),
- X9 – zawartość części lotnych w węglu V^{daf} , %,
- X10 – wilgoć całkowita w węglu W_t , %,
- X11 – zawartość popiołu w węglu A^a , %,
- X12 – temperatura pierwotna górotworu, °C,
- X13 – pojemność sorpcyjna węgla względem metanu przy ciśnieniu 10^5 Pa, po uwzględnieniu wpływu wilgoci całkowitej w węglu, zawartości popiołu w węglu oraz temperatury pierwotnej górotworu, $\text{cm}^3/\text{g}_{\text{csw}}$,
- X14 – efektywny współczynnik dyfuzji metanu w węglu D_e , cm^2/s ,
- X15 – metanowość bezwzględna maksymalna w czasie drażenia, m^3/min ,
- X16 – metanowość względna maksymalna w czasie drażenia (ilość metanu przypadającą na Mg średniodobowego wydobywania), m^3/Mg ,
- X17 – różnica między wartością maksymalną metanonośności złożowej a pojemnością sorpcyjną węgla przy ciśnieniu 10^5 Pa, po uwzględnieniu zawartości wilgoci całkowitej i popiołu w węglu oraz temperatury pierwotnej górotworu.

W celu znalezienia współzależności między poszczególnymi wytypowanymi do badań czynnikami, zastosowano metodę statystyczną i obliczono korelację (współczynnik korelacji liniowej Pearsona) między poszczególnymi elementami zbioru wyjściowego. Należy zaznaczyć, że celem przeprowadzenia analizy statystycznej było przede wszystkim określenie korelacji czynników charakteryzujących ilość wydzielającego się metanu (metanowość bezwzględna i metanowość względna) i pozostałych czynników. Analiza ta wykazała między innymi:

- wzrost wydzielania się metanu wraz ze wzrostem miąższości pokładu (również przy zaleganiu warstw węgla w stropie lub w spągu w odległości do 5 m),
- wzrost wydzielania się metanu wraz ze wzrostem postępu dobowego,
- wzrost wydzielania się metanu wraz ze wzrostem metanonośności,
- spadek wydzielania się metanu wraz ze wzrostem zwięzłości węgla (to samo dotyczyło wytrzymałości węgla na ściskanie),
- wzrost wydzielania się metanu wraz ze wzrostem temperatury pierwotnej górotworu,
- wzrost wydzielania się metanu wraz ze zmniejszaniem się pojemności sorpcyjnej węgla względem metanu,
- wzrost wydzielania się metanu wraz ze zmniejszaniem się wartości efektywnego współczynnika dyfuzji metanu w węglu,
- wzrost wydzielania się metanu wraz ze wzrostem różnicy między wartością metanonośności złożowej i wartością pojemności sorpcyjnej węgla względem metanu przy ciśnieniu 10^5 Pa.

Szczegółowa analiza wyników badań korelacji jest zamieszczona w pracy doktorskiej (Koptoń 2009). Na jej podstawie stwierdzono, że decydujący wpływ na wydzielanie się metanu w czasie drażenia wyrobisk korytarzowych ma różnica między metanonośnością złożową a pojemnością sorpcyjną węgla względem metanu, przy ciśnieniu 10^5 Pa. Ponadto, analiza wykazała wpływ wartości efektywnego współczyn-

nika dyfuzji metanu w węglu na wydzielanie się metanu. Został potwierdzony również wpływ na wydzielanie się metanu miąższości pokładu węgla odniesionej do wysokości drażonego wyrobiska, względnie węgla zalegającego w jego sąsiedztwie. Z przeprowadzonej analizy wynikało, że praktycznie wszystkie rozpatrywane czynniki mają wpływ na wydzielanie się metanu, w tym szczególnie własności sorpcyjne węgla, co powinno być uwzględniane przy sporządzaniu modelu matematycznego prognozy metanowości bezwzględnej dla wyrobisk korytarzowych drażonych kombajnami.

4. MODEL MATEMATYCZNY PROGNOZY METANOWOŚCI BEZWZGLĘDNEJ WYROBISK KORYTARZOWYCH DRAŻONYCH KOMBAJNAMI W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

Model matematyczny prognozy metanowości bezwzględnej wyrobisk korytarzowych drażonych kombajnami został sporządzony z wykorzystaniem metody matematyczno-fizycznej oraz z uwzględnieniem wyników, przeprowadzonej wcześniej, analizy czynnikowej. Najpierw było konieczne przeprowadzenie analizy i określenie zależności opisujących kinetykę wydzielania się metanu z urobionego węgla i węgla zalegającego w strefie desorpcji wokół wyrobiska oraz określenie zasięgu tej strefy.

4.1. Kinetyka wydzielania się metanu z węgla

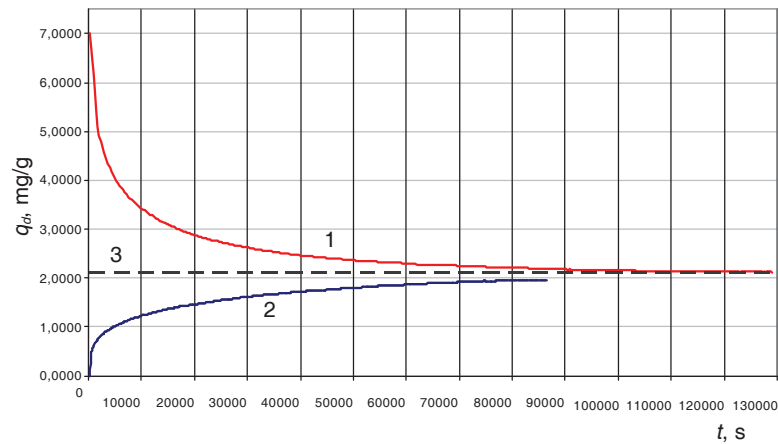
Badania własności sorpcyjnych węgla kamiennych są prowadzone w GIG w laboratorium Zakładu Zwalczania Zagrożeń Gazowych Kopalni Doświadczalnej „Barbara”. Do określenia ilości gazu zgromadzonego w wyniku sorpcji, tzw. pojemności sorpcyjnej dla struktur geologicznych, głównie pokładów węgla, obecnie wykorzystuje się dwa bardzo precyzyjne układy sorpcyjne typu grawimetrycznego, tj.: mikrowagę Sartorius oraz układ grawimetryczno-sorpcyjny IGA. W celu scharakteryzowania węgla kamiennych pod względem warunków akumulowania i wydzielania metanu określa się pojemność sorpcyjną węgla w warunkach standardowych oraz wyznacza się wartość efektywnego współczynnika dyfuzji. Na rysunku 1 przedstawiono wykres kinetyki sorpcji metanu dla próbki węgla z pokładu 409/4 kopalni „Zofiówka”.

Można założyć, że przebieg krzywej kinetyki sorpcji metanu, przedstawiającej desorpcję metanu z próbki węgla na skutek obniżenia ciśnienia do wartości 10^5 Pa, obrazuje również zjawisko desorpcji metanu z pokładu węgla w wyrobiskach kopalni. Podczas drażenia wyrobiska korytarzowego zostaje zachwiana równowaga sorpcyjna na skutek zmiany rozkładu naprężeń – od ciśnienia pierwotnego do rozkładu w strefie odprężenia wokół wyrobiska, gdzie na jego obwodzie panuje ciśnienie około 10^5 Pa i w efekcie metan desorbuje do wyrobiska. Zatem, znajomość równania opisującego przebieg krzywej kinetyki sorpcji pozwoliłaby na opisanie mechanizmu wydzielania się metanu podczas prowadzenia robót górniczych w kopalni, w analizowanym przypadku – podczas drażenia wyrobisk korytarzowych.

Jedną z metod opisujących mechanizm wydzielania się metanu z węgla jest metoda J.P. Seidla (Metcalf i in. 1992; Olajossy 1993), stosowana w górnictwie amerykańskim. Podobnie, jak w przypadku innych modeli liniowych, próbuje się tą metodą

opisać złożony mechanizm uwalniania się metanu z kulistego ziarna ($0 \leq r \leq R$) przy użyciu efektywnego współczynnika dyfuzji D_e , wychodząc z równania

$$\frac{\partial V}{\partial t} = D_e \left(\frac{2}{r} \frac{\partial V}{\partial r} + \frac{\partial^2 V}{\partial r^2} \right) \quad (1)$$

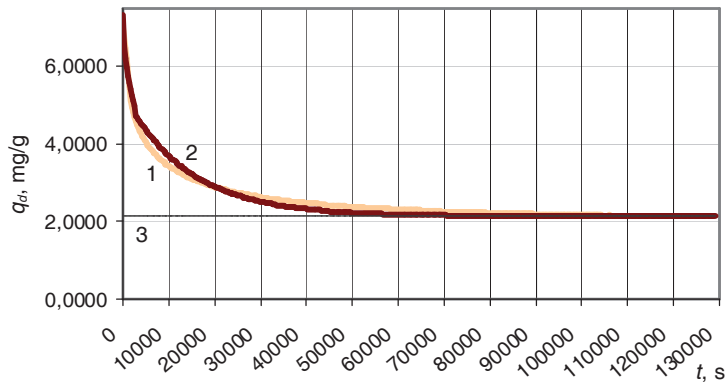


Rys. 1. Wykres kinetyki sorpcji metanu na próbce węgla z pokładu 409/4 kopalni „Zofiówka”: t – czas, q_d – względna zmiana masy, 1 – desorpcja laboratoryjna, 2 – adsorpcja laboratoryjna, 3 – pojemność sorpcyjna V_f

Fig. 1. Graph of methane sorption kinetics on a coal sample from the coal bed 409/4 'Zofiówka' Mine: t – time, q_d – relative mass change, 1 – laboratory desorption, 2 – laboratory adsorption, 3 – sorption volume V_f

Można zauważyć, że równanie (1) jest równaniem wynikającym z II prawa Ficka dla izotropowej dyfuzji radialnej, określającego zmiany stężenia dyfundującego składnika (w analizowanym przypadku – metanu) w czasie, w określonym przekroju poprzecznym strumienia dyfuzyjnego. Warunek początkowy dla tego równania, warunki brzegowe i rozwiązanie, wyrażone szeregiem nieskończonym oraz jego uproszczenia podano w pracy doktorskiej (Koptoń 2009). Na rysunku 2 przedstawiono krzywą kinetyki sorpcji metanu dla badanej próbki węgla z pokładu 409/4 kopalni „Zofiówka”, uzyskaną metodą laboratoryjną oraz metodą analityczną po podstawieniu danych do powyższych równań.

Na podstawie porównania przebiegu desorpcji metanu z próbki węgla, uzyskane- go metodą laboratoryjną i analityczną, według modelu Seidla, stwierdzono, że wartość współczynnika determinacji $R^2 = 0,9777$, odpowiadająca współczynnikowi korelacji liniowej Pearsona $r = 0,99$, wskazała na prawie pełną korelację między wynikami zarejestrowanymi podczas badań laboratoryjnych a uzyskanymi z wykorzystaniem metody analitycznej. Wartość średniego błędu względnego Ψ wynosiła 3,46%. Mając powyższe na uwadze można stwierdzić, że równania wynikające z założeń modelu sorpcji metanu Seidla, w sposób trafny, opisują zjawisko. W związku z powyższym, do opracowania modelu matematycznego prognozy metanowości bezwzględnej wykorzystano wzory opisujące ten model.

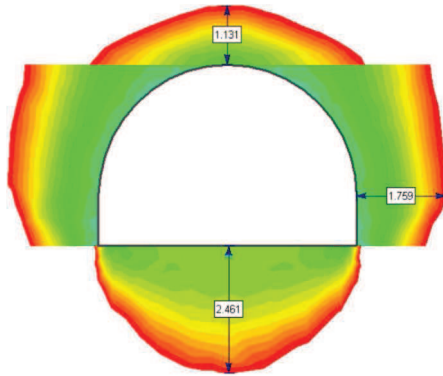


Rys. 2. Wykres kinetyki sorpcji metanu na próbce węgla z pokładu 409/4 kopalni „Zofiówka” uzyskany metodą laboratoryjną i analityczną: t – czas, q_d – względna zmiana masy, 1 – desorpcja laboratoryjna, 2 – desorpcja analityczna, 3 – pojemność sorpcyjna $V_r = q_s$

Fig. 2. Kinetics graph of methane sorption on a coal sample from the coal bed 409/4 'Zofiówka' Mine obtained by laboratory and analytical method: t – time, q_d – relative mass change, 1 – laboratory desorption, 2 – analytical desorption, 3 – sorption volume $V_r = q_s$

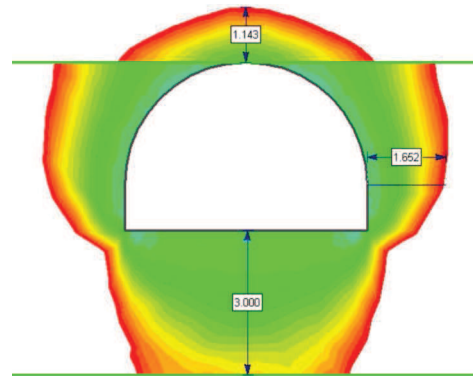
4.2. Określenie strefy desorpcji wokół wyrobiska korytarzowego

Wyrobisko drążone w metanowym pokładzie węgla jest otoczone ze wszystkich stron strefą odgazowania, którą można nazwać strefą desorpcji (Tarnowski 1987, 1996). Założono, że zasięg i kształt tej strefy odpowiada strefie spękań, czyli strefie zniszczenia górotworu wokół wyrobiska. To właśnie metan z węgla zalegającego w tej strefie desorbuje do wyrobiska. W przypadku wyrobisk drążonych w pokładach o miąższości nieprzekraczającej wysokości wyrobiska istotny jest zasięg strefy w ociosach. Przy drążeniu wyrobisk w pokładach grubych natomiast jest istotny również zasięg tej strefy w stropie lub w spągu w zależności od tego, czy wyrobisko jest drążone pod stropem czy też po spągu pokładu. Do sporządzenia modelu matematycznego prognozy metanowości bezwzględnej dla wyrobisk korytarzowych drążonych kombajnami wykorzystano wyniki badań określania wielkości strefy zniszczenia górotworu wokół wyrobiska korytarzowego, które przeprowadzili Prusek i Walentek (2005). Wielkość stref, w których nastąpiło zniszczenie skał otaczających wyrobisko, uzyskano w wyniku obliczeń numerycznych z wykorzystaniem metody elementów skończonych, przyjmując kryterium wytrzymałościowe Hoeka-Browna dla ośrodka sprężystego. Obliczenia wykonano dla różnych typów i wielkości odrzwi obudowy chodnikowej. Dodatkowo przeanalizowano zmiany kształtów stref zniszczenia wokół chodnika z uwagi na zróżnicowane wartości wytrzymałości skał stropowych oraz ze względu na zmienną głębokość zalegania wyrobiska. Część obliczeń wykonano specjalnie w celu zrealizowania pracy doktorskiej (Koptoń 2009). Dla przykładu, na rysunkach 3 i 4 przedstawiono mapy wytężenia, obrazujące wpływ poszczególnych czynników na wielkość tej strefy.



Rys. 3. Wyrobisko w obudowie ŁP9 na poziomie 800 m, miąższość pokładu 3,5 m, wytrzymałość R_c węgla na ściskanie 15 MPa

Fig. 3. Excavation in ŁP9 lining, at the level of 800 m, seam thickness 3.5 m, coal resistance R_c on compression of 15 MPa



Rys. 4. Wyrobisko w obudowie ŁP9 na poziomie 800 m, prowadzone pod stropem pokładu o miąższości 6,5 m, wytrzymałość R_c węgla na ściskanie 15 MPa

Fig. 4. Excavation in ŁP9 lining, at the level of 800 m, leading under roof of seam thickness of 6.5 m, coal resistance R_c on compression of 15 MPa

W wyniku przeprowadzonej analizy wpływu miąższości i wytrzymałości na ściskanie pokładu węgla oraz głębokości zalegania, omówionej w pracy doktorskiej (Koptoń 2009) stwierdzono, że:

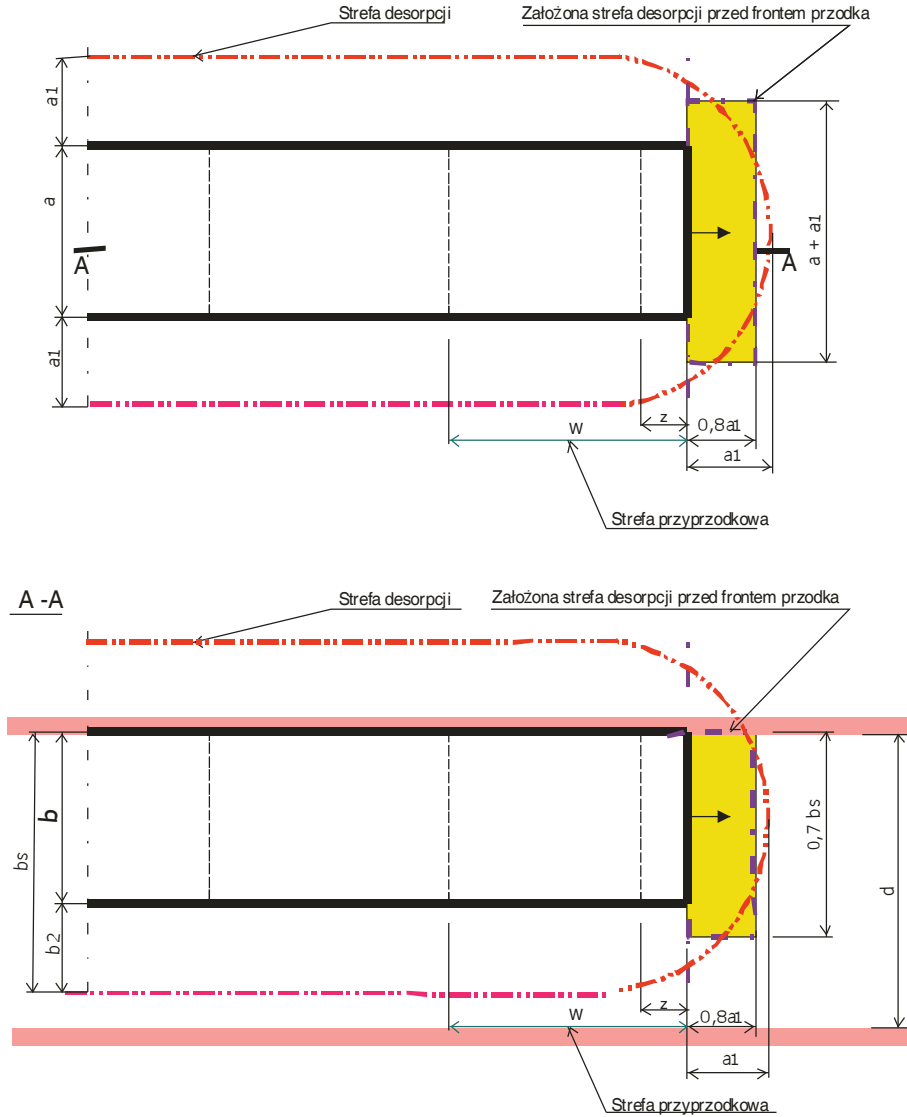
- zależność między miąższością pokładu a zasięgiem strefy zniszczenia oraz zależność między głębokością zalegania a zasięgiem strefy zniszczenia, przy stałej wytrzymałości na ściskanie, można opisać funkcją liniową,
- zależność między wytrzymałością węgla na ściskanie a zasięgiem strefy zniszczenia, przy stałej głębokości i miąższości, można opisać funkcją potęgową.

Wykorzystując wyniki obliczeń symulacyjnych na założonym modelu górotworu oraz zależności empiryczne występujące między nimi, podjęto próbę określenia wielkości zasięgu strefy zniszczenia wokół wyrobiska korytarzowego dla charakterystycznych wartości poszczególnych czynników (Koptoń 2009). Dla przykładu, w tabelicy 2 przedstawiono kształtowanie się zasięgu a_1 strefy zniszczenia górotworu w ociosach wyrobiska korytarzowego drążonego w obudowie ŁP9 w zależności od miąższości pokładu i głębokości zalegania, przy wytrzymałości węgla na ściskanie R_c wynoszącej 15 MPa.

Tablica 2. Zasięg strefy zniszczenia górotworu w ociosach wyrobiska korytarzowego a_1 w zależności od miąższości pokładu d i głębokości zalegania, przy wytrzymałości węgla na ściskanie 15 MPa

Miąższość pokładu, m	Głębokość, m							
	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
1,6	1,61	1,72	1,83	1,94	2,05	2,16	2,27	2,38
2,5	1,49	1,61	1,73	1,84	1,96	2,07	2,18	2,30
3,5	1,43	1,54	1,65	1,76	1,87	1,98	2,09	2,20
6,5 (pod stropem)	1,32	1,43	1,54	1,65	1,76	1,87	1,98	2,09
6,5 (po spagu)	1,43	1,54	1,65	1,76	1,87	1,98	2,09	2,20

Na podstawie wyników analizy obliczeń numerycznych określono wzory empiryczne opisujące zasięg strefy desorpcji dla drążonego wyrobiska korytarzowego (a_1 , b_1 i b_2), pole powierzchni F_d jej części węglowej w przekroju poprzecznym oraz objętość jej części węglowej Q_p , w zależności od występujących typowych warunków. Dla przykładu na rysunku 5 przedstawiono przekroje podłużne założonego zasięgu strefy desorpcji dla przodka drążonego pod stropem w pokładzie grubym (przekrój poprzeczny – rys. 5).



Rys. 5. Założony zasięg strefy desorpcji dla przodka drążonego pod stropem w pokładzie grubym
Fig. 5. Complex scope of desorption zone for mine face driven under roof in thick stratum

Wszystkie powyższe założenia dotyczące zasięgu i kształtu strefy desorpcji wokół wyrobiska korytarzowego zostały wykorzystane przy sporządzaniu modelu matematycznego prognozy metanowości bezwzględnej wyrobisk korytarzowych drażonych kombajnami w kopalniach węgla kamiennego.

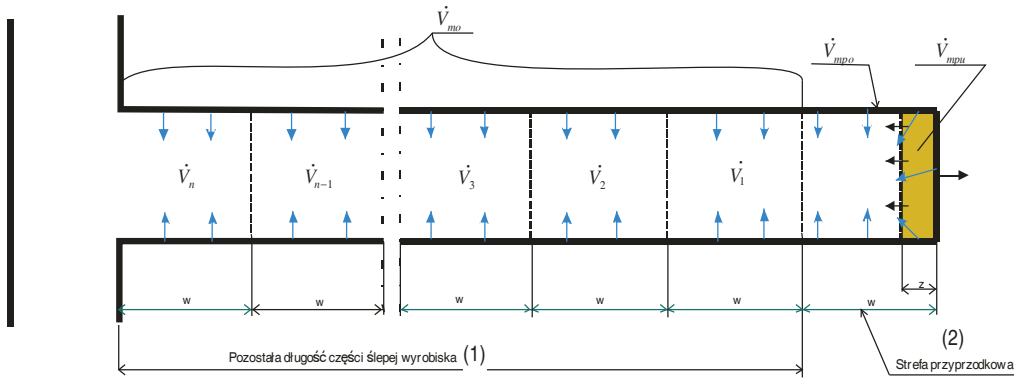
4.3. Budowa modelu matematycznego prognozy metanowości bezwzględnej wyrobisk korytarzowych drażonych kombajnami w kopalniach węgla kamiennego

Do sporządzania modelu matematycznego prognozy metanowości bezwzględnej wyrobisk korytarzowych (węglowych i węglowo-kamiennych), drażonych kombajnami, zostały przyjęte następujące założenia:

- metan wydziela się do przestrzeni wyrobiska z pokładu, w którym jest ono drażone, względnie warstw węgla zalegających w strefie desorpcji,
- pokład, w którym jest drażone wyrobisko, jest jednorodny na całej długości pod względem właściwości fizykochemicznych,
- zasięg strefy desorpcji odpowiada zasięgowi strefy zniszczenia górotworu wokół wyrobiska korytarzowego określonej na podstawie kryterium Hoeka-Browna,
- do określenia ilości metanu wydzielającego się z węgla zostaną wykorzystane wzory wynikające z metody J.P. Seidla, bazującej na równaniu II prawa Ficka,
- w modelu nie będą uwzględniane nagłe wypływy metanu do wyrobiska na skutek zaistnienia wstrząsu górotworu, wyrzutu czy też występowania tzw. fukaczy metanu,
- w modelu nie zostanie uwzględniony dodatkowy dopływ metanu ze zrobów poeksploatacyjnych w przypadku, gdy wyrobisko będzie drażone w ich sąsiedztwie.

Prace związane z drażeniem wyrobisk korytarzowych są skoncentrowane przede wszystkim w strefie przyprzodkowej, dlatego też ilość wydzielającego się metanu, a zatem i jego prognozowanie w tej strefie mają znaczący wpływ na bezpieczeństwo prowadzenia prac. Mając powyższe na uwadze, w modelu matematycznym, ilość metanu wydzielającego się do drażonego wyrobiska korytarzowego \dot{V}_m (zgodnie z rys. 6) została określona jako suma:

- ilości metanu wydzielającego się z urobku \dot{V}_{mpu} podczas wykonywania pojedynczego zabioru, czyli na długości równej odległości z między sąsiednimi odrzwiami obudowy chodnikowej,
- ilości metanu wydzielającego się z węgla zalegającego w strefie desorpcji wokół wyrobiska w założonej strefie przyprzodkowej \dot{V}_{mpo} , czyli na długości odpowiadającej dobowemu postępowi drażenia w ,
- ilości metanu wydzielającego się z węgla \dot{V}_{mo} zalegającego w strefie desorpcji na pozostałej długości części ślepej (poza strefą przyprzodkową) drażonego wyrobiska korytarzowego.



Rys. 6. Schemat stref wydzielania się metanu do drążonego wyrobiska korytarzowego, przyjęty w modelu

Fig. 6. Scheme of methane emission zones to driven dog heading, applied in model:
1 – remaining distance of blind part of excavation, 2 – near-front zone

Zatem ogólna ilość metanu wydzielającego się do drążonego kombajnem wyrobiska korytarzowego wynosi

$$\dot{V}_m = \dot{V}_{mpu} + \dot{V}_{mpo} + \dot{V}_{mo}, \text{ m}^3/\text{min} \quad (2)$$

Z powyższego wzoru można wyodrębnić sumaryczną ilość metanu, jaka wydziela się w strefie przyprzodkowej podczas urabiania

$$\dot{V}_{mp} = \dot{V}_{mpu} + \dot{V}_{mpo}, \text{ m}^3/\text{min} \quad (3)$$

Wydzielanie się metanu z węgla urobionego \dot{V}_{mpu} w przodku wyrobiska, podczas wykonywania pojedynczego zabioru, czyli w czasie drążenia umożliwiającego zabudowę kolejnych odrzwi obudowy, można określić jako ilość metanu desorbującą z objętości węgla urobionego w czasie wykonywania zabioru i obliczyć według wzoru

$$\dot{V}_{mpu} = \frac{F_z z \gamma_w (M_0 - q_d)}{\tau_z} \cdot \left[1 - \frac{6}{\pi^2} \exp\left(-\frac{60\pi^2 D_e \tau_z}{R_{zz}^2}\right) \right], \text{ m}^3/\text{min} \quad (4)$$

gdzie:

γ_w – gęstość węgla, Mg/m^3 ;

q_d – pojemność sorpcyjna węgla względem metanu w warunkach dołowych, przy ciśnieniu 10^5 Pa, z uwzględnieniem temperatury pierwotnej górotworu zawartości wilgoci całkowitej oraz popiołu w węglu, obliczona według wzoru

$$q_d = \frac{q_s [1 - 0,008(T_z - 25)]}{(1 + 0,3W_t) \cdot (1 - 0,01A^a)}, \text{ cm}^3/\text{g}_{\text{CSW}} \quad (5)$$

gdzie:

q_s – pojemność sorpcyjna węgla w warunkach standardowych, cm^3/g ;

T_z – temperatura pierwotna górotworu w miejscu prowadzonych robót, $^\circ\text{C}$;

W_t – wilgoć całkowita w węglu, %;

A^a – zawartość popiołu w węglu, % (przy założeniu, że $A^a < 100\%$);
 M_0 – metanonośność złożowa pokładu, m^3/Mg_{csw} ;
 D_e – efektywny współczynnik dyfuzji metanu w węglu pokładu, cm^2/s ;
 z – głębokość zabioru (odległość między odrzwiami obudowy), m;
 F_z – powierzchnia odsłoniętych warstw węgla w przodku, m^2 ;

gdy $d \leq b \rightarrow F_z = da = a \sum d_w$;

gdy $d > b \rightarrow F_z = 0,8ab = 0,8a \sum d_w$;

gdzie:

d – miąższość pokładu, m;

b – wysokość wyrobiska, m;

a – szerokość wyrobiska, m;

$d = \sum d_w$ – miąższość pokładu (suma grubości odsłoniętych warstw węgla w przodku wyrobiska), m;

τ_z – czas trwania jednego zabioru, min.

Czas trwania jednego zabioru τ_z można obliczyć według wzorów, jeżeli:

- miąższość pokładu d jest większa lub równa wysokości wyrobiska b ($d \geq b$)

$$\tau_z = \frac{\gamma_w F_w z}{G_k}, \text{ min} \quad (6)$$

- miąższość pokładu d jest mniejsza od wysokości wyrobiska b ($d < b$)

$$\tau_z = \frac{\gamma_w dza + \gamma_s z(F_w - da)}{G_k}, \text{ min} \quad (7)$$

gdzie:

F_w – powierzchnia przekroju poprzecznego wyrobiska (w wyłomie), m^2 ;

γ_s – gęstość skały płonnej, Mg/m^3 ;

G_k – wydajność kombajnu, Mg/min .

Wydzielanie się metanu z węgla \dot{V}_{mpo} zalegającego w strefie desorpcji wyrobiska w strefie przyprzodkowej, czyli z czoła przodka i ociosów na długości odpowiadającej dobowemu postępowi drążenia w , określono jako ilość metanu wydzielającą się z objętości warstw węgla w strefie desorpcji w przeliczeniu na sumaryczny czas trwania zmian roboczych, podczas których jest prowadzone drążenie

$$\dot{V}_{mpo} = \frac{(F_d w + Q_p) \gamma_w (M_0 - q_d)}{720c} \cdot \left[1 - \frac{6}{\pi^2} \exp\left(-\frac{21600\pi^2 c D_e}{R_{zz}^2}\right) \right], \text{ m}^3/\text{min} \quad (8)$$

gdzie:

F_d – przekrój poprzeczny części węglowej strefy desorpcji wokół wyrobiska, uzależniony od miąższości pokładu, głębokości, wytrzymałości węgla na ściskanie i zastosowanej obudowy, obliczony odpowiednio według wzorów i danych z tablic zawartych w pracy doktorskiej (Koptoń 2009);

Q_p – objętość części węglowej strefy desorpcji przed frontem przodka zależna od miąższości pokładu, głębokości, wytrzymałości węgla na ściskanie i zastosowanej obudowy, obliczona odpowiednio według wzorów i danych z tabelic zawartych w pracy doktorskiej (Koptoń 2009);

w – postęp dobowy wyrobiska, m/dobę;

c – liczba sześciogodzinnych zmian, podczas których prowadzone jest drażnienie wyrobiska (od 1 do 4);

R_{zz} – średni promień ziarn węgla w strefie desorpcji, cm.

(Pozostałe oznaczenia, jak wyżej.)

Do powyższego wzoru, z uwagi na rozkład ciśnienia w strefie desorpcji, od wartości odpowiadającej q_d do wartości odpowiadającej M_0 , do równania desorpcji przyjmuje się wartość średnią $(M_0 - q_d)/2$.

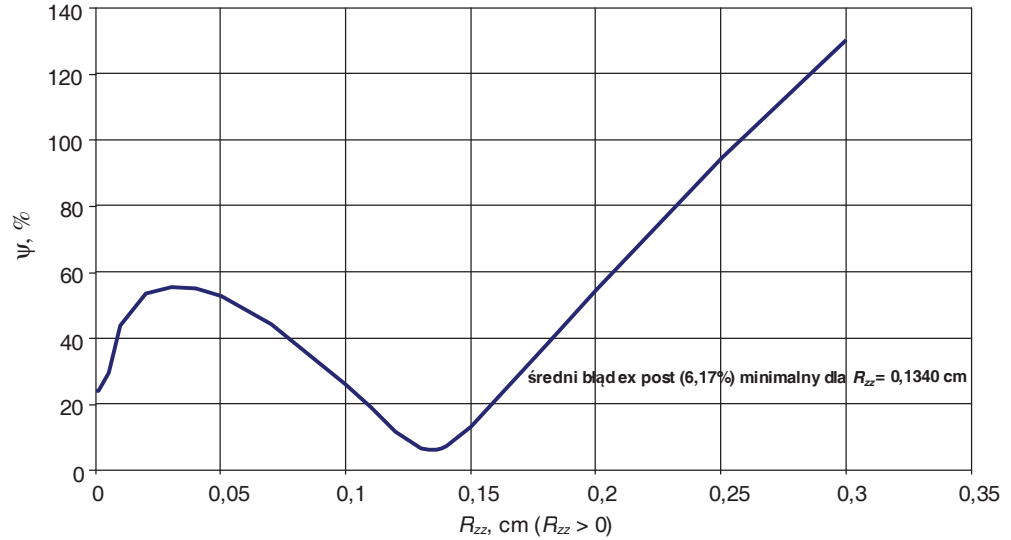
Wydzielanie się metanu z węgla \dot{V}_{mo} , zalegającego w strefie desorpcji na pozostałej długości części ślepej (poza strefą przyprzodkową) drażonego wyrobiska korytarzowego, stanowi sumę ilości metanu wydzielającego się na dobę jednocześnie z n odcinków strefy o długościach w odpowiadających dobowemu postępowi drażenia wyrobiska (rys. 6). Wykazano, że ilość metanu wydzielającą się z kolejnych odcinków strefy można wyrazić kolejnymi wyrazami ciągu geometrycznego. Mając powyższe na uwadze, wydzielanie się metanu \dot{V}_{mo} z węglowej części strefy desorpcji na pozostałej długości części ślepej (poza strefą przyprzodkową) drażonego wyrobiska korytarzowego, można przedstawić jako sumę kolejnych wyrazów ciągu, wyrażających ilości metanu wydzielającego się jednocześnie z n odcinków strefy o długościach w , odpowiadających dobowemu postępowi drażenia wyrobiska. Oczywiście, przy założeniu, że wyrobisko jest drażone w sposób ciągły (bez uwzględnienia postoju w dni wolne od pracy). Założenie to, w przypadku dłuższych wybiegów, powoduje nieznaczne zawyżanie wyników, jednak nie wpłynie to niekorzystnie na bezpieczeństwo prowadzonych robót

$$\dot{V}_{mo} = \frac{\gamma_w F_d w (M_0 - q_d)}{480 \pi^2} \exp\left(\frac{-86400 \pi^2 D_e}{R_{zz}^2}\right) \frac{1 - \left[\exp(-86400 \pi^2 D_e / R_{zz}^2)\right]^w}{1 - \exp(-86400 \pi^2 D_e / R_{zz}^2)}, \text{ m}^3/\text{min} \quad (9)$$

(Oznaczenia, jak wyżej).

Przyjęty do sporządzenia modelu zastępczy promień ziarn węgla R_{zz} , zalegającego w strefie desorpcji, został wyznaczony w następujący sposób (Koptoń 2009): Na podstawie wspomnianej bazy danych, stanowiącej zestawienie maksymalnej na wybiegu rzeczywistej metanowości bezwzględnej oraz wymaganych parametrów geologiczno-górnicznych i organizacyjno-technicznych 60 wytypowanych losowo wyrobisk korytarzowych drażonych kombajnami, została obliczona wartość prognozy *ex post* zgodnie z opracowanym modelem matematycznym. Następnie, przeprowadzono analizę symulacyjną polegającą na podstawianiu różnych wartości R_{zz} , obserwowaniu wpływu zmian promienia na wartość średniego względnego błędu prognozy *ex post* Ψ i określeniu, dla jakiej wartości błąd ten jest najmniejszy. W wyniku przeprowadzo-

nych obliczeń uzyskano zależność między długością zastępczego promienia ziarn węgla w strefie desorpcji a wartością średniego względnego błędu prognozy *ex post*, przedstawioną w formie wykresu (rys. 7); przy wartości promienia $R_{zz} = 0,1340$ cm, błąd był najmniejszy i wynosił $\Psi = 6,17\%$. Taką wartość R_{zz} przyjęto do wzorów opracowanego modelu matematycznego prognozy metanowości bezwzględnej wyrobisk korytarzowych drażonych kombajnami w kopalniach węgla kamiennego. Wartość ta była jednocześnie kolejnym założeniem do opracowanego modelu.



Rys. 7. Wpływ długości promienia zastępczego ziarn węgla R_{zz} zalegającego w strefie desorpcji wokół wyrobiska na wartość średniego względnego błędu prognozy *ex post* Ψ

Fig. 7. Influence of effective radius length of coal grain R_{zz} covering in the desorption zone along the excavation on value of average relative prognosis error *ex post* Ψ

W związku z powyższym, podstawowe wzory opracowanego modelu matematycznego analizowanej prognozy, po uproszczeniu, można przedstawić w następujący sposób:

$$\dot{V}_m = \dot{V}_{mpu} + \dot{V}_{mpo} + \dot{V}_{mo}$$

gdzie:

$$\dot{V}_{mpu} = \frac{F_z \tau \gamma_w (M_0 - q_d)}{\tau_z} \left[1 - \frac{6}{\pi^2} \exp(-3341,5 \pi^2 D_e \tau_z) \right], \text{ m}^3/\text{min} \quad (10)$$

$$\dot{V}_{mpo} = \frac{(F_d w + Q_p) \gamma_w (M_0 - q_d)}{720 \cdot c} \left[1 - \frac{6}{\pi^2} \exp(-1202940,52 \pi^2 c D_e) \right], \text{ m}^3/\text{min} \quad (11)$$

$$\dot{V}_{mo} = \frac{\gamma_w F_d w (M_0 - q_d)}{480 \cdot \pi^2} \exp(-4811762,09 \cdot \pi^2 D_e) \cdot \frac{[\exp(-4811762,09 \cdot \pi^2 D_e)]^{\left(\frac{L}{w}-1\right)}}{1 - \exp(-4811762,09 \cdot \pi^2 D_e)}, \quad (12)$$

m³ / min

(Pozostałe oznaczenia i dodatkowe zależności – jak wyżej).

Z powyższych wzorów wynika, że ilość metanu wydzielająca się do drążonego wyrobiska korytarzowego \dot{V}_m jest wprost proporcjonalna do różnicy między wartością metanonośności złożowej M_0 i wartością pojemności sorpcyjnej węgla względem metanu w warunkach dołowych (przy ciśnieniu 10^5 Pa), z uwzględnieniem temperatury pierwotnej górotworu, zawartości wilgoci całkowitej oraz popiołu w węglu q_d . Powyższe wzory mają sens dla wartości $M_0 \geq q_d$. W przypadku, gdy $M_0 \leq q_d$, zgodnie z założeniami do niniejszego modelu matematycznego, wydzielanie się metanu nie występuje.

5. WERYFIKACJA MODELU PROGNOZY METANOWOŚCI BEZWZGLĘDNEJ

Weryfikacja modelu prognozy metanowości bezwzględnej polegała na porównaniu wartości metanowości bezwzględnej rzeczywistej maksymalnej 60 drążonych wyrobisk korytarzowych z wartościami prognozowanymi, obliczonymi zgodnie z opracowanym modelem dla zadanych warunków oraz oszacowaniu trafności prognozy. Oczywiście, weryfikacja, w świetle analizy przeprowadzonej w związku z wyznaczeniem długości zastępczego promienia ziarn w strefie desorpcji, miała częściowo charakter formalny. Bazą danych do prowadzenia weryfikacji było wyżej wymienione zestawienie wymaganych parametrów geologiczno-górnicznych i organizacyjno-technicznych 60 wyrobisk korytarzowych drążonych kombajnami. Należy zaznaczyć, że na podstawie tych samych danych, dotyczących tych samych wyrobisk, przeprowadzono wcześniejszą weryfikację dotychczas stosowanych metod prognozowania metanowości bezwzględnej. Założono, że opracowaną prognozę można uznać za dopuszczalną, jeżeli względny błąd *ex post*, czyli odchylenie między wartością prognozowaną a rzeczywistą, nie przekroczy 25%. Z dokonanej weryfikacji wynikało, że względny błąd prognozy *ex post*, obliczony z wykorzystaniem modelu matematycznego dla danych dotyczących analizowanego zbioru drążonych wyrobisk korytarzowych, mieścił się w zakresie od -16,52 do +15,08%, czyli w żadnym przypadku nie przekraczał 25%. Wartość błędu podana ze znakiem „-” dotyczyła prognoz przeszacowanych, czyli zawyżonych (w 29 przypadkach na 60). Średni względny błąd prognoz *ex post* wynosił 6,17% i był również mniejszy od 25%. Wyniki przeprowadzonej analizy świadczą o tym, że model matematyczny prognozy metanowości bezwzględnej może zostać zastosowany do opracowania nowej metody prognozowania wydzielania się metanu do wyrobisk korytarzowych drążonych kombajnami w kopalniach węgla kamiennego, której wyniki będą bardziej zbliżone do rzeczywistego poziomu wydzielania się metanu, co jest celem pracy.

6. NOWA METODA PROGNOZOWANIA METANOWOŚCI BEZWZGLĘDNEJ WYROBISK KORYTARZOWYCH DRAŻONYCH KOMBAJNAMI W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

Celem sporządzenia prognozy zagrożenia metanowego jest możliwie ściśle określenie wydzielania się metanu do wyrobiska górniczego, w tym przypadku wyrobiska korytarzowego, węglowego lub węglowo-kamiennego. W prognozie powinno być określone największe wydzielanie się metanu w czasie drażenia, dlatego do jej wykonania przyjmuje się zawsze maksymalną wartość metanonośności, jaka występuje lub może wystąpić w sąsiedztwie drażonego wyrobiska. Do sporządzenia prognozy metanowości bezwzględnej są konieczne następujące materiały wyjściowe:

- mapy pokładowe z zaznaczonym wybiegiem projektowanego wyrobiska oraz naniesionymi wynikami badań metanonośności w rejonie, a także z naniesionymi uskokami, krawędziami eksploatacji itp.,
- zestaw przekrojów geologicznych z naniesioną grubością pokładu, w którym będzie drażone wyrobisko i pokładów sąsiednich, kotami ich zalegania oraz, jeżeli to możliwe, metanonośnościami,
- dane dotyczące węgla w pokładzie, jak: wilgoć całkowita, zawartość popiołu, wytrzymałość węgla na ściskanie, pojemność sorpcyjna względem metanu, wartość efektywnego współczynnika dyfuzji,
- dane techniczno-górnice projektowanego wyrobiska: wybieg, rodzaj obudowy, rodzaj i wydajność kombajnu, zabiór, założony postęp dobowy, liczba zmian roboczych itp.

Po zebraniu danych należy obliczyć ilość prognozowanego wydzielania się metanu na podstawie wzorów opisujących opracowany model matematyczny prognozy. Należy zaznaczyć, że założenia modelu matematycznego prognozy metanowości stanowią jednocześnie założenia do nowej metody prognozowania metanowości bezwzględnej wyrobisk korytarzowych drażonych kombajunami w kopalniach węgla kamiennego. Opracowana metoda, od stosowanej metody KD „Barbara”, różni się tylko modelem matematycznym prognozy i przyjętymi do jego sporządzania założeniami z zakresu mechanizmu kinetyki wydzielania się metanu i określania tzw. strefy desorpcji dla wyrobiska korytarzowego. Prognoza metanowości stanowi zawsze podstawę do racjonalnego doboru środków profilaktyki metanowej, a w szczególności do zaprojektowania systemu przewietrzania, czy nawet sposobu odmetanowania górotworu.

W czasie drażenia wyrobiska jest istotna aktualizacja wykonanej prognozy metanowości. Dotyczy to zarówno konieczności porównywania wyników prognozy ze stanem faktycznym i stosowania współczynników korekcyjnych, jak również celowości aktualizacji danych do prognozy, ze szczególnym uwzględnieniem zmiany założonej metanonośności pokładu, czy też własności sorpcyjnych uzyskanych w wyniku kolejnych badań.

WNIOSKI

1. Potencjalny zbiór czynników, które wpływają na kształtowanie wydzielania się metanu do drażonych wyrobisk korytarzowych został określony metodą heurystyczną na podstawie wyników ankiety eksperckiej przeprowadzonej wśród 70 specjalistów z tej dziedziny. W opinii ekspertów, oprócz czynników uwzględnianych w dotychczas stosowanych metodach prognozowania, na wydzielanie się metanu do wyrobisk korytarzowych mają wpływ własności sorpcyjne węgla (pojemność sorpcyjna węgla względem metanu oraz efektywny współczynnik dyfuzji metanu w węglu), jak i zaleganie warstw węgla w stropie (lub/i) w spażu wyrobiska.
2. Analiza statystyczna zależności korelacyjnych istotnych czynników, mających wpływ na wydzielanie się metanu do 60 drażonych, losowo wybranych, wyrobisk korytarzowych, przeprowadzona na zbiorze wyjściowym, potwierdziła ten wpływ (stopień i wzajemną zależność).
3. Szczegółowa analiza i określenie zależności opisujących kinetykę wydzielania się metanu z urobionego węgla, jak i węgla zalegającego w strefie desorpcji wokół wyrobiska oraz określenie zasięgu tej strefy, pozwoliły na przyjęcie założeń do modelu matematycznego nowej prognozy metanowości bezwzględnej dla wyrobisk korytarzowych.
4. Z weryfikacji opracowanego modelu matematycznego prognozy metanowości bezwzględnej wyrobisk korytarzowych drażonych kombajnami w kopalniach węgla kamiennego wynika, że względny błąd prognoz *ex post*, obliczonych dla danych dotyczących analizowanego zbioru 60 wyrobisk korytarzowych, zmienia się w zakresie od $-16,52$ do $+15,08\%$, czyli w żadnym przypadku nie przekracza założonego błędu dopuszczalności prognozy, wynoszącego 25% . Średni względny błąd prognoz *ex post* wynosi $6,17\%$ i jest również mniejszy od 25% .
5. Stwierdzono, że opracowany model matematyczny prognozy metanowości bezwzględnej może być podstawą nowej metody prognozowania wydzielania się metanu do wyrobisk korytarzowych, drażonych kombajnami w kopalniach węgla kamiennego, której wyniki będą bardziej zbliżone do rzeczywistego wydzielania się metanu.
6. Duży wpływ na wydzielanie się metanu do drażonych wyrobisk korytarzowych mają własności sorpcyjne węgla, które obecnie są określane jedynie w aspekcie zagrożenia wyrzutami metanu i skał. Rozpowszechnienie tych badań pozwoli nie tylko na monitorowanie zagrożenia wyrzutowego, ale również na bardziej dokładne prognozowanie metanowości bezwzględnej, czyli na poprawę bezpieczeństwa prowadzonych robót.
7. Kontynuacja modelowania wydzielania się metanu do wyrobisk korytarzowych drażonych przy użyciu MW, jak i do wyrobisk ścianowych, jest możliwa i potrzebna.
8. Prognoza metanowości zawsze stanowi podstawę do racjonalnego doboru środków profilaktyki metanowej, a w szczególności do projektowania systemu przewietrzania, czy nawet sposobu odmetanowania górotworu. Nowa metoda umożliwi bardziej dokładne określenie ilości metanu wydzielającego się w strefie

przyrodkowej. Roboty związane z drażeniem wyrobisk korytarzowych koncentrują się przede wszystkim w tej strefie, a zatem prognoza wydzielania się metanu do tej strefy ma znaczący wpływ na bezpieczeństwo ich prowadzenia.

Literatura

1. Frączek R. (2003): *Aerologia górnicza. Przykłady i zadania*. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej.
2. Gajda J.B. (2001): *Prognozowanie i symulacja a decyzje gospodarcze*. Warszawa, Wydaw. Beck.
3. Greń J. (1978): *Statystyka matematyczna. Modele i zadania*. Warszawa, PWN.
4. Kalisz J., Kozłowski B., Sobala E. (1978): Porównanie metod prognozowania metanowości dla wyrobisk chodnikowych w górnictwie węglowym. *Przegląd Górniczy* nr 4.
5. Koptoń H. (2009): *Metoda prognozowania metanowości bezwzględnej wyrobisk korytarzowych drażonych kombajnami w kopalniach węgla kamiennego*. Praca doktorska. Katowice, GIG (niepublikowana).
6. Kozłowski B., Grębski Z. (1982): *Odmetanowanie górotworu w kopalniach*. Katowice, Wydaw. „Śląsk”.
7. Kozłowski B. (1986): *Prognozowanie zagrożeń metanowych w kopalniach głębinowych*. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej.
8. Krause E., Krzystalik P., Łukowicz K. (2001): *Rozpoznawanie, prognozowanie, kontrola i zwalczanie zagrożenia metanowego w kopalniach węgla kamiennego*. Katowice, Wydaw. GIG.
9. Metcalfe R.S., Yee D., Seidle J.P., Puri R. (1992): *Review of Research Efforts in Coalbed Methane Recovery*. Workshop on the Recovery and End – Use of Coal – Bed Methane, Report No. A-10. Katowice, GIG.
10. *Metoda MPM/3 prognozowania metanowości chodników w zależności od sposobu urabiania* (1986). Katowice, GIG.
11. Olajossy A. (1993): *Relacja: laboratorium – in situ w badaniach desorpcji metanu z pokładów węgla*. Zeszyty Naukowe AGH.
12. Prusek S., Walentek A. (2005): *Wielkość strefy zniszczenia górotworu wokół wyrobiska korytarzowego w oparciu o kryteria Hoeka-Browna*. Prace Naukowe GIG, Seria Konferencje nr 49, s. 13–24.
13. Tarnowski J. (1987): *Prognoza gazowości wyrobisk chodnikowych drażonych w pokładach o małej i średniej miąższości*. *Archiwum Górnictwa* t. 32, z. 2.
14. Tarnowski J. (1996): *Uproszczona metoda opracowania metody prognozy gazowości wyrobisk chodnikowych drażonych w gazonośnych pokładach węgla*. Materiały konferencyjne: *Zagrożenia metanowe i pożarowe w górnictwie, wykorzystanie metanu z pokładów węgla*. Prace Naukowe GIG, Seria Konferencje nr 14.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Paweł Krzystalik