35

NUMERYCZNA SYMULACJA WYPŁYWU METANU DO WYROBISKA KORYTARZOWEGO

WPROWADZENIE

Szczegółowe wymagania dotyczące prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych, obowiazujące obecnie jak również wcześniejsze stanowiły, że steżenie metanu w powietrzu płynącym w wyrobiskami górniczymi należy mierzyć pod stropem wyrobiska, nad obudowa w najwyższym dostępnym miejscu oraz w innych miejscach możliwych wypływów lub gromadzenia się metanu. W trakcie drażenia wyrobiska korytarzowego najwieksze trudności sprawia wskazanie innych miejsc występowania możliwych miejsc wypływów lub nagromadzeń metanu o niebezpiecznych steżeniach niż pod stropem i nad obudowa wyrobiska. Na pewno beda to miejsca występowania deformacji nieciągłych lub występowania skał o osłabionej spoistości czy też skał szczelinowatych. Jednak o miejscu wypływu metanu może decydować także położenie drażonego wyrobiska względem głównego źródła metanu, którym najczęściej jest pokład węglowy. Intuicyjnie wyczuwalne jest, że w innych miejscach może wypływać metan do wyrobiska w zależności czy drażone wyrobisko znajduje sie pod pokładem czy nad pokładem. Można również postawić pytanie, czy w przygotowawczym wyrobisku weglowo-kamiennym najwyższe stężenie metanu będzie występowało ponad obudową w najwyższej części wyrobiska, czy też za obudową w ociosie wyrobiska. Inaczej może się także kształtować rozkład stężenia w wyrobisku i za jego obudową, gdy będzie drążone w warstwie przystropowej pokładu, którego grubość znacznie przekracza wysokość wyrobiska w wyłomie.

W przedstawionym artykule przedstawiono rozważania, które odnoszą się do powyższych zagadnień i po części je wyjaśniają.

METODA SYMULACJI NUMERYCZNEJ

Do modelowania numerycznego, przeprowadzonego na potrzeby niniejszej pracy, wykorzystano program komputerowy *FLAC* (Fast Lagrangian Analysis of Continua) firmy Itasca Consulting Group, oparty na metodzie różnic skończonych, a opracowany przez dr. Petera Cundalla w 1986 roku, wraz ze współpracownikami z University of Minnesota i Itasca Consulting Group, Inc. [2].

Program *FLAC* służy do budowy numerycznych modeli górotworu i symulowania zachowania się ośrodków gruntowych i skalnych, które doznają plastycznego płynięcia lub kruchego pękania po osiągnięciu punktu plastyczności lub granicy wytrzymałości. Program ten jest szczególnie polecany do rozwiązywania zagadnień inżynierii skalnej. Wykorzystywany on jest zarówno do oceny zachowania się górotworu w rejonie wyrobisk górniczych, jak i do symulacji zjawisk zachodzących w "dużych" obszarach. Program *FLAC* umożliwia modelowania nieciągłości w ośrodkach skalnych, symulowanie zachowania się masywu skalnego i budowli przy wymuszeniach dynamicznych oraz przepływu w ośrodkach porowatych.

W procedurze numerycznej jako pierwszy jest obliczany przyrost odkształcenia wynikający z zastosowania prawa Hooke'a, a następnie na podstawie wartości odkształceń, określane są naprężenia. Jeżeli otrzymane wartości naprężeń znajdują się poza powierzchnią graniczną (definiującą przyjęte kryterium wytrzymałościowe) to przyjmuje się, że zachodzą plastyczne deformacje. W takim wypadku tylko odkształcenia sprężyste uczestniczą w procedurze kolejnych obliczeń przyrostów naprężenia.

Rozważany proces przepływu gazu w ośrodku porowatym bazuje na teorii jednofazowego przepływu Darcy'ego [1, 2]:

$$q_{i} = -k_{ij} \cdot k(s) \cdot \frac{\partial}{\partial x_{j}} \cdot \left(P - \rho \cdot g_{k} \cdot x_{k}\right)$$
⁽¹⁾

gdzie:

$$q_i$$
 – wektor przepływu,

- k_{ij} tensor przepuszczalności,
- *k(s)* przepuszczalność względna (funkcja nasycenia *s*),

P – ciśnienie gazu,

g_k – wektor przyśpieszenia ziemskiego,

 ρ_w – gęstość właściwa medium.

W metodzie różnic skończonych równanie (35.1) musi być opisane równaniem algebraicznym, uwzględniającym poszczególne strefy siatki różnic. Prędkość przepływu *Q* między poszczególnymi węzłami siatki jest opisana równaniem:

$$\{Q\} = [\Re] \cdot \{P - (x_i - x_i^{(1)}) \cdot g_i \cdot \rho_w\}$$
⁽²⁾

gdzie:

[\Re] – macierz sztywności,

P – ciśnienie w węźle danej strefy,

 $x_i, x_i^{(1)}$ – współrzędne węzła siatki,

 g_i – przyspieszenie ziemskie.

Numeryczna stabilność rozwiązania osiągana jest w przypadku, gdy czas kroku obliczeniowego jest mniejszy od założonej wartości oraz gdy moduł odkształcenia objętościowego płynu powoduje wzrost sztywności nasycanego elementu.

Zakładając, że w poszczególnych strefach siatki występuje ciśnienie P_0 , to prędkość przepływu Q jest opisana równaniem:

$$Q = P_o \cdot \sum \mathfrak{R}$$
(3)

gdzie:

 $\sum \Re$ – jest sztywnością czterech przyległych stref w warunkach związku między ciśnieniem a przepływem.

Gradient prędkości przepływu *Q* powoduje zmianę ciśnienia porowego w czasie *t*, zgodnie z równaniem równowagi:

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{M}{V} \left(\sum Q + \alpha \frac{\partial V}{\partial t} \right)$$
(4)

gdzie:

V – objętość elementów związanych z danym węzłem.

W każdym węźle strefy siatki, ciśnienie porowe jest zwiększane, w celu zrównoważenia objętości *V* zgodnie z zależnością:

$$P \coloneqq P - \frac{M \cdot \left(\sum Q \cdot \Delta t + \alpha \Delta V_{mech}\right)}{V}$$
(5)

gdzie:

 $\varDelta V_{mech}$ – przyrost objętości w węźle (stref przyległych) wynikającej z deformacji siatki,

 Δt – czas, w którym dokonuje się przyrost.

Przepływ międzywęzłowy powodujący wzrost ciśnienia porowego równy:

$$\Delta P = -\frac{M \cdot Q \cdot \Delta t}{V} \tag{6}$$

Nowe ciśnienie *P_i* w danym węźle wynosi wówczas:

$$P_{i} = P_{o} + \Delta P = P_{o} \cdot \left(1 - \frac{M \cdot \sum (\Re_{kk} \cdot \Delta t)}{V}\right)$$
(7)

gdzie:

 $[\Re]$ – jest macierzą sztywności w relacji ciśnienie porowe a prędkości przepływu.

W ogólności uwzględnienie ciśnienia porowego *P* powoduje zmianę naprężeń σ_{ij} zgodnie z przyjętym modelem konstytutywnym. W programie *FLAC* przepływ może być realizowany wyłącznie dla określenia zmian nasycenia lub w sposób sprzężony z obliczeniami deformacji modelowanego ośrodka [2].

2018 Volume	Redakcja naukowa tomu: W. BIAŁY, H. BADURA, A. CZERWIŃSKA-LUBSZCZYK
7 issue 1	

MODEL GÓROTWORU

Do analizy zachowania się górotworu w rejonie wyrobiska korytarzowego oraz migracji metanu z pokładów węgla, zbudowano model górotworu, w płaskim stanie odkształcenia, o wymiarach 60 m x 60 m, składający się z 230 400 stref o wymiarach 0,125 m x 0,125 m. Na głębokości 830 m zlokalizowane zostało wyrobisko korytarzowe w obudowie ŁP9/V32/A. Schemat struktury modelu górotworu przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1 Schemat modelu górotworu

Model górotworu podzielono na warstwy o zróżnicowanych parametrach odkształceniowych i wytrzymałościowych. Strukturę warstwową modelu opisano (w zależności od analizowanego wariantu) na podstawie przedstawionych na rys. 2 profili litologicznych warstw przedstawiających fragment górotworu w jednej z kopalń GZW. Dla każdego z rozpatrywanych wariantów przyjęto, że nachylenie warstw wynosi 10°.

Różnice pomiędzy poszczególnymi profilami dotyczą przede wszystkim położenia i grubości pokładu węgla (warstwy metanonośnej) względem wyrobiska korytarzowego.

2018 Volume 7

SYSTEMY WSPOMAGANIA w INŻYNIERII PRODUKCJI GÓRNICTWO- PERSPEKTYWY i ZAGROŻENIA. Wegiel, tania czysta energia i miejsca pracy

issue 1



Rys. 2 Profile litologiczne warstw wykorzystane do budowy poszczególnych modeli

2018 Volume	Redakcja naukowa tomu: W. BIAŁY, H. BADURA, A. CZERWIŃSKA-LUBSZCZYK
7 issue 1	

Pod względem matematycznym, warstwy budujące model górotworu opisane zostały przez ośrodek ubiquitous joint (rys. 3). Model ten jest anizotropowym modelem plastycznym zawierającym płaszczyzny osłabienia określonej orientacji. W modelu tym zaimplementowany został, podobnie jak w przypadku modelu sprężystoplastycznego izotropowego, warunek wytrzymałościowy (uplastycznienia) Coulomba-Mohra. Do uplastycznienia może dojść zarówno w obrębie płaszczyzn osłabienia jak i samego masywu skalnego. Płaszczyzny izotropii oraz płaszczyzny osłabienia mogą być nachylone pod dowolnym kątem α do kierunku osi *X*.



Parametry wytrzymałościowe oraz odkształceniowe warstw przyjęte do obliczeń zestawiono w tabeli 1.

	Jednostka	Mułowiec	Łupek ilasty	Piaskowiec	Węgiel		
Parametry masywu skalnego							
Współczynnik sprężystości							
postaciowej G	[MPa]	3790	2680	4350	864		
Współczynnik sprężystości							
objętościowej K	[MPa]	3730	2630	4760	1830		
Kohezja <i>c</i>	[MPa]	7,2	6,1	11,3	3,3		
Kąt tarcia wewnętrznego ϕ	[stopnie]	25	24	25	24		
Wytrzymałość na rozciąganie Rr	[MPa]	2,1	1,9	3,3	1,3		
Gęstość objętościowa $ ho$	[kg/m ³]	2550	2610	2450	1400		
Kąt dylatacji $arPsi$	[stopnie]	12	12	13	12		
Parametry płaszczyzn osłabienia							
Kohezja <i>c</i>	[MPa]	0,07	0,06	0,1	0,03		
Kąt tarcia wewnętrznego ϕ	[stopnie]	24	24	25	24		
Wytrzymałość na rozciąganie Rr	[MPa]	0,02	0,02	0,03	0,01		
Kąt dylatacji Ψ_j	[stopnie]	12	12	13	12		
Kąt nachylenia płaszczyzn $lpha$	[stopnie]	10	10	10	10		

Tabela 1 Przyjęte do obliczeń parametry odkształceniowe i wytrzymałościowe warstw modelu ubiquitous joint

Podstawę, założonych w modelu parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych warstw skalnych stanowiły wyniki badań kopalnianych. Określając wartości parametrów płaszczyzn osłabienia posłużono się przypadkiem opisanym w pracy [6].

Budując siatkę różnic, przyjęto założenie, że punkty węzłowe, znajdujące się na pionowych krawędziach bocznych tarczy, mogą swobodnie przemieszczać się w kierunku pionowym, a w kierunku poziomym ich przemieszczenia są równe zero. Węzły znajdujące się na podstawie modelowej tarczy oraz jego górnej krawędzi mogą swobodnie przemieszczać się w kierunku poziomym. Pionowa wartość przemieszczeń tych punktów określona została jako zerowa. Pozostałe punkty węzłowe przynależne do modelu mają możliwość swobodnego przemieszczania się w dowolnym kierunku płaszczyzny *X-Z* [4, 8].

Do symulacji obudowy odrzwiowej zastosowano elementy typu "pile" [2, 3], które budują łuk o wymiarach zbliżonych do obudowy ŁP9/V32/A. Przyjęte na tej podstawie gabaryty wyrobiska korytarzowego wynoszą: szerokość wyłomu 5,0 m, wysokość wyłomu 3,5 m. Własności elementów typu "pile" przyjęte w obliczeniach odzwierciedlają parametry kształtowników stalowych typu V 29 i przedstawiają się następująco:

- moduł Younga E = 200 GPa,

- współczynnik Poissona v = 0,2,

- powierzchnia przekroju *A* = 0,0036 m².

Określając warunki brzegowe, założono, że wartość pierwotnych naprężeń pionowych w modelu górotworu będzie sumą sił masowych odpowiadającą głębokości 800 m. Zgodnie z tym założeniem przyjęto, że inicjowana wartość naprężeń pionowych wynosić będzie $\sigma_z = 20$ MPa (wartość odpowiadająca górnej krawędzi modelu). Ponadto wewnątrz modelu naprężenie pionowe powiększone zostanie o ciężar warstw budujących ten model Poziome naprężenie pierwotne σ_x przyjęto jako równe naprężeniu pionowemu σ_z , co jest na ogół zgodne dla większych głębokości w górotworze [5, 7].

Przypisując warunki przepływu gazu wewnątrz siatki różnic skończonych przyjęto, że kontury modelu są jednocześnie granicą możliwego przepływu. Nie istnieje zatem możliwość przenikania gazu pomiędzy modelem, a jego zewnętrznym otoczeniem (rys. 1). Jedynym miejscem, w którym metan może wypływać z modelu jest kontur wyrobiska korytarzowego.

Źródłem dopływu metanu wewnątrz modelu będzie wyłącznie pokład węgla. Wykorzystano tu polecenie *initial pp*. Polega ono na zadeklarowaniu wartości ciśnienia porowego w węzłach przynależnych do punktów węzłowych siatki różnic, odpowiednio zlokalizowanych w obrębie pokładu węgla. Przyjęte do obliczeń parametry dotyczące przepływu metanu w modelu przedstawia tabela 2.

Tabela 2 Przyjęte do obliczeń parametry przepływu metanu									
	Jednostka	Mułowiec	Łupek ilasty	Piaskowiec	Węgiel				
Parametry masywu skalnego stanie przedkrytycznym									
Wartość ciśnienia porowego <i>pp</i> Przepuszczalność <i>k</i>	kPa cm/s	 0,005	0,003	 0,001	1 0,004				
Parametry masywu skalnego stanie pokrytycznym									
Wartość ciśnienia porowego <i>pp</i> _k Przepuszczalność k _k	kPa cm/s	obliczenia 100	obliczenia 100	obliczenia 100	1 100				

Jak wskazano w tabeli 2 przedstawione współczynniki filtracji poszczególnych warstw dotyczą stanu przedzniszczeniowego. W trakcie obliczeń numerycznych współczynniki filtracji będą cyklicznie zmieniane w zależności od stanu poszczególnych stref siatki różnic skończonych. Jeżeli stan naprężeń w strefie osiąga stan graniczny (definiowany przez kryterium wytrzymałościowe) to przyjmuje się, że zachodzą plastyczne deformacje. W takim wypadku następuje automatyczna zamiana współczynnika filtracji dla danej strefy na wartości pozniszczeniowe. Pewnym uproszczeniem stosowanej metody obliczeniowej jest fakt, że wykorzystano tu moduł charakterystyczny dla przepływu wody w ośrodkach porowatych. Metoda ta, wymaga określenia gęstości przepływającego medium oraz współczynnika sprężystości objętościowej K. Dla celów obliczeniowych przyjęto, że współczynnik sprężystości objętościowej metanu wynosi K = 1.01×10^5 Pa.

W związku z tym, że przestrzeń wyrobiska korytarzowego powstała przez usunięcie stref siatki różnic, w dalszych obliczeniach rejon te stanowi wyizolowany obszar, nie będący powiązany z modelem dyskretnym (nie ma tu przepływającego powietrza). Celem przeprowadzenia obliczeń przyjęto zatem, że gęstość przepływającego przez model gazu wyznaczona zostanie jako różnica pomiędzy gęstością metanu i gęstością powietrza:

(8)

gdzie:

 $\rho_{\rm mod}$ – gęstość metanu w modelu,

 ρ_m – gęstość metanu w warunkach normalnych, przyjęto ρ_m = 0,717kg/m³,

 $\rho_{\rm mod} = \rho_m - \rho_{pow}$

 ρ_{pow} – gęstość powietrza, przyjęto ρ_{pow} = 1,290kg/m³.

Wyznaczona na tej podstawie modelowa wartość gęstości metanu wynosi $\rho_{mod} = -0,573$ kg/m³. Znak minus oznacza, że metan jest lżejszy od powietrza, które w modelu nie zostało uwzględnione.

WYNIKI OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

Dla każdego z przyjętych wariantów obliczeniowych (zależnych od profilu geologicznego i lokalizacji pokładu węgla względem wyrobiska korytarzowego) przeprowadzono pełen cykl obliczeniowy obejmujący następujące etapy:

- wytworzenie w modelu pierwotnego stanu naprężeń,
- symulację powstających stref zniszczeń połączoną w przepływem metanu z pokładu węgla do wyrobiska korytarzowego.

Dla wszystkich etapów symulacji komputerowej obliczenia mechaniczne (stany naprężeniowo-odkształceniowe) oraz symulacje przepływu metanu prowadzone były jednoczenie. Wyniki obliczeń numerycznych dla poszczególnych wariantów przedstawiono poniżej na rysunkach od 4 do 7.

W oparciu o uzyskane wyniki obliczeń numerycznych sformułowano następujące wnioski:

- 1. W przypadku, gdy wyrobisko korytarzowe prowadzone jest pod warstwą metanonośną (pokład węgla), strefy zniszczeń stropowych stanowią główną drogę migracji metanu do wyrobiska (rys. 4). Wysokość zniszczeń w części stropowej modelu wynosi około 2,8 m. Zniszczenia te obejmują swym zasięgiem zarówno pokład węgla jak i część warstwy łupka zalegającej powyżej. Wyznaczona z obliczeń numerycznych ilość metanu dopływająca do wyrobiska wynosi około 0,12 m³/min. Zniszczenia w pozostałej części górotworu otaczającego wyrobisko nie wpływają na warunki wypływu metanu do wyrobiska. Prowadzenie pomiarów stężenia metanu pod stropem wyrobiska i nad obudową w najwyższym miejscu wyrobiska jest w tym przypadku najbardziej uzasadnione.
- 2. Przeprowadzone symulacje komputerowe dla wariantu II (pokład węgla zlokalizowany poniżej wyrobiska korytarzowego) wykazały, że główną drogę dopływu metanu do wyrobiska stanowić będą zniszczenia w spągu wyrobiska. Ich maksymalna głębokość wynosić będzie w tym przypadku około 3,66 m. Zniszczenia te obejmują swym zasięgiem pokład węgla oraz część warstw zalegających poniżej. Jak wynika z przedstawionych na rysunku 5 wektorów przepływu metanu, przeważająca część metanu dopływa do wyrobiska ze stref zniszczeń spągowych. Niewielka jednak część metanu migrować może poprzez strefy zniszczeń w ociosach i stropie do wyrobiska. Wyznaczona z obliczeń numerycznych ilość metanu dopływająca do wyrobiska wynosi około 0,15 m³/min. W przypadkach występowania metanonośnego pokładu w pobliżu spągu wyrobiska pomiary stężenia metanu należy prowadzić pod stopem jak i przy spągu wyrobiska.

2018 Volume 7 issue 1 Redakcja naukowa tomu: W. BIAŁY, H. BADURA, A. CZERWIŃSKA-LUBSZCZYK



wyznaczone dla wariantu II



Rys. 7 Strefy zniszczeń oraz wektory przepływu metanu do wyrobiska wyznaczone dla wariantu IV

- 3. Jak wynika z wykonanych obliczeń numerycznych dla wariant III obecność w ociosach pokładu węgla, spowodowało zwiększenie zasięgu zniszczeń struktury skalnej w tej części górotworu (rys. 6). Po stronie wzniosu pokładu głębokość zniszczeń wynosi około 1,7 m, natomiast po stronie upadu pokładu zniszczenia w pokładzie sięgają około 2,6 m. Strefy te stanowią jednocześnie główną drogę migracji metanu w modelu. Część metanu wydzielać się będzie bezpośrednio do wyrobiska z jego ociosów, natomiast część migrować będzie wewnątrz stref zniszczeń do części stropowej a następnie do wyrobiska. Wyznaczona z obliczeń numerycznych ilość metanu dopływająca do wyrobiska dla tego wariantu wynosi około 0,19 m³/min. W omawianym przypadku najistotniejsze pomiary stężenia metanu będą występowały w najwyższym punkcie wyrobiska pod i nad obudową. Dodatkowe pomiary stężenia metanu należy wykonywać za obudową w ociosie wyrobiska, szczególnie od strony wzniosu pokładu.
- 4. Najbardziej niekorzystnym ze względu na możliwość wypływu metanu do wyrobiska korytarzowego jest przypadek opisany w wariancie IV (rys. 7). Znaczna grubość pokładu węgla, przy stosunkowo niskich jego parametrach wytrzymałościowych powoduje, wzrost zniszczeń struktury skalnej wokół wyrobiska korytarzowego. Jak wynika z przeprowadzonych obliczeń zniszczenia w stropie wyrobiska wynoszą około 2,8 m, w spągu około 4,2 m, natomiast w ociosach 2,4 m (po stronie wzniosu) oraz 2,9 m (po stronie upadu warstw). Wszystkie strefy stanowić będą rejon migracji metanu. Należy zatem przypuszczać, że cały kontur wyrobiska będzie miejscem dopływu gazu do wyrobiska. Wyznaczona z obliczeń numerycznych ilość metanu dopływająca do wyrobiska wynosi w tym przypadku około 0,23 m³/min. Pomiary stężenia metanu należy prowadzić pod stropem i ponad obudową, przy spągu wyrobiska oraz za obudową wyrobiska w jego ociosie, szczególnie od strony wzniosu pokładu.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

W artykule przedstawione zostały wyniki modelowania numerycznego wpływu zniszczenia struktury skalnej górotworu na możliwość wypływu metanu do wyrobiska korytarzowego. Do procesu modelowania wykorzystano program różnic skończonych *FLAC*. Ocenę zmian zachodzących w rejonie wyrobiska wykonano przy wykorzystaniu anizotropowego modelu ubiquitous joint. Na podstawie wyników modelowania numerycznego sformułowano następujące wnioski:

1. Właściwości migracji metanu poprzez zniszczenia struktury skalnej wokół wyrobiska korytarzowego są bezpośrednio związane z procesem deformowania się i pękania górotworu otaczającego.

- 2. Dopływ metanu do wyrobiska jest ściśle związany z lokalizacją warstwy metanonośnej oraz istniejącą siecią zniszczeń struktury skalnej. Strefa zniszczeń wokół wyrobiska korytarzowego stanowi główną drogę migracji gazu.
- 3. Z pośród analizowanych wariantów obliczeniowych największy dopływ metanu około 0,23 m³/min. wystąpił w przypadku, gdy cały kontur zlokalizowany został w pokładzie węgla. Część gazu wypływa bezpośrednio z pokładu do wyrobiska, natomiast część migruje przez sieć spękań struktury skalnej do warstw stropowych, a następnie do wyrobiska.
- 4. Przedstawione obliczenia wykazały, że jest uzasadnione prowadzenie dodatkowych pomiarów stężenia metanu (oprócz wymaganych pomiarów pod stropem i za obudową w najwyższym miejscu przekroju poprzecznego wyrobiska) mimo, że w skałach otaczających wyrobisko nie występują zaburzenia tektoniczne, sedymentacyjne czy też erozyjne.
- 5. Przedstawione wyniki symulacji komputerowej wypływu metanu do wyrobiska korytarzowego należy oceniać w charakterze jakościowym. Wyniki te pokazują możliwości stosowanego programu komputerowego *FLAC*. Bardzo dużym uproszczeniem zastosowanym w pracy jest dwuwymiarowy model górotworu, który umożliwia ocenę miejsc wypływu metanu w wydrążonym wyrobisku (z pominięciem przodkowej strefy drążonego wyrobiska).

LITERATURA

- 1. Dyba M., Pilecki Z.: Wpływ sposobu zawodnienia na ciśnienie porowe i naprężenie efektywne w obliczeniach numerycznych programem *FLAC 2D.* Warsztaty z cyklu: Zagrożenia naturalne w górnictwie. 2012.
- 2. FLAC User's Manual 1992. Itasca Consulting Group. Minneapolis.
- 3. Jendryś M.: Wpływ eksploatacji górniczej na nadbierane korytarzowe wyrobiska udostępniające w świetle obliczeń numerycznych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009.
- 4. Kwaśniewsk M., Lasek S.: Analiza numeryczna migracji metanu z warstw spągowych do wyrobiska ścianowego. Górnictwo i Geoinżynieria, Zeszyt 3/1, Kraków 2007.
- 5. Marczak H.: Analiza wpływu pierwotnego stanu naprężenia na obciążenie obudowy wyrobiska korytarzowego. Przegląd Górniczy, nr 6, 2006.
- 6. Sainsbury B., Pierce M., Mas Ivars D.: Simulation of rock mass strength anisotropy and scale effects using a ubiquitous joint rock mass (UJRM) model. Continuum and Distinct Element Numerical Modeling in Geo-Engineering, Detournay & Cundall (eds.) Paper: 06-02 Itasca Consulting Group, Inc., Minneapolis 2008. ISBN 978-0-9767577-1-9.
- 7. Walaszczyk J., Florkowska L.: Komputerowa symulacja stanu naprężenia w sąsiedztwie wyrobiska górniczego z uwzględnieniem przepływu gazu, Górnictwo i Geoinżynieria, Zeszyt 2, Kraków 2010.
- 8. Wesołowski M.: Numeryczny model wyrobiska korytarzowego w górotworze uwarstwionym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 254, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 03.2018 Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 04.2018

2018

Volume 7 issue 1

NUMERYCZNA SYMULACJA WYPŁYWU METANU DO WYROBISKA KORYTARZOWEGO

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki modelowania numerycznego przepływu metanu do wyrobiska korytarzowego w zależności od położenia warstwy metanonośnej względem tego wyrobiska. Ocenę zmian zachodzących w rejonie wyrobiska wykonano przy użyciu anizotropowego modelu ubiquitous joint. Rozważany proces przepływu gazu w ośrodku porowatym symulowany był w oparciu o warunek jednofazowego przepływu Darcy'ego. Do modelowania numerycznego, wykorzystano program różnic skończonych FLAC. Określenie przepływu metanu w górotworze było realizowane w sposób sprzężony z obliczeniami zmian naprężeń i deformacji modelowanego ośrodka. Przedstawione wyniki symulacji komputerowej wypływu metanu do wyrobiska korytarzowego należy oceniać w charakterze jakościowym. Wyniki te pokazują możliwości stosowanego programu komputerowego FLAC. Bardzo dużym uproszczeniem zastosowanym w pracy jest dwuwymiarowy model górotworu, który umożliwia ocenę miejsc wypływu metanu w wydrążonym wyrobisku (z pominięciem przodkowej strefy drążonego wyrobiska).

Słowa kluczowe: deformacje wyrobiska, model górotworu, naprężenia, strefy zniszczeń, metanowość

NUMERICAL SIMULATION OF METHANE OUTFLOW INTO ROADWAY

Abstract: This paper presents the results of numerical modeling of methane outflow into roadway depending on the location of the methane-bearing layer in relation to this roadway. The assessment of changes in the roadway area was made using the anisotropic ubiquitous joint model. The process of gas flow through porous medium was simulated based on the single-phase Darcy flow condition. For numerical modelin, the FLAC finite difference program was used. Determination of the methan flow in the rock mass was coupled with calculations of changes in stress and deformation of the modeled medium. Presented results of computer simulated methane outflow into roadway should be assessed as qualitative. These results show the capabilities of used FLAC program. Use of two-dimensional rock mass model is a very big simplification, which enables assessment of methane outlets in the excavated raodway (excluding the face zone of the excavated roadway).

Key words: excavation deformation, rock mass model, damage zones, methane content

dr hab. inż. Marek Wesołowski Politechnika Śląska Wydział Górnictwa i Geologii ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska

dr inż. Piotr Kołodziejczyk

Politechnika Śląska Wydział Górnictwa i Geologii ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska **dr hab. inż. Henryk Badura, prof. PŚ.** Politechnika Śląska Wydział Górnictwa i Geologii ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska

dr hab. inż. Piotr Bańka, prof. PŚ. Politechnika Śląska Wydział Górnictwa i Geologii ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska