

Tadeusz Majcherczyk, Zbigniew Niedbalski*, Piotr Małkowski**

OKREŚLENIE LOKALIZACJI CHODNIKA PRZYŚCIANOWEGO W WARUNKACH ODDZIAŁYWANIA ZROBÓW W POKŁADZIE NIŻEJ LEŻĄCYM**

1. Wprowadzenie

Stateczność wyrobisk górniczych jest jednym z podstawowych warunków funkcjonowania podziemnych zakładów górniczych, decyduje ona bowiem nie tylko o prowadzeniu bez zakłóceń podstawowej działalności, jaką jest wydobywanie, ale też o bezpieczeństwie załogi pracującej pod ziemią.

Wyrobiska korytarzowe w trakcie użytkowania narażone są często na działanie wzmożonych naprężeń pochodzących od czynników naturalnych, takich jak uskoki, pofałdowania, nachylenie warstw skalnych. Z reguły jednak większe zagrożenie stanowią dla nich roboty górnicze, głównie eksploatacyjne [5, 7]. Taka sytuacja wystąpiła także w przypadku chodnika nadścianowego D-15 w pokładzie 328/1 planowanego do wykonania powyżej niedawno powstałych zrobów zawałowych ściany D-12 w pokładzie 329/1. Odległość pionowa pomiędzy przedmiotowymi pokładami, zgodnie z wykonanymi otworami geologicznymi wynosiła około 23÷35 m.

Artykuł zawiera analizę możliwości poprowadzenia chodnika nadścianowego D-15 w pokładzie 328/1 w taki sposób, aby nie był on narażony na oddziaływanie zrobów niżej leżących w trakcie drążenia i w trakcie wybierania ściany D-15 w pokładzie 328/1 [6].

W związku z powyższym dla określenia położenia chodnika nadścianowego D-15 w pokładzie 328/1 względem zrobów ściany D-12 w pokładzie 329/1 zdecydowano się na przeprowadzenie serii obliczeń numerycznych (metodą elementów skończonych — MES) [1, 4]. Przeprowadzono je na podstawie dostępnych danych na temat warunków górniczo-geologicznych i technicznych występujących w analizowanym rejonie.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Praca wykonana w ramach prac statutowych AGH, nr umowy 11.11.100.588/TM

2. Założenia przyjęte do obliczeń

2.1. Warunki górniczo-geologiczne w rejonie pokładu 328/1 oraz pokładu 329/1

Pokład 328/1 w analizowanym rejonie zalega na głębokości od 840 do 950 m (chodnik D-15 zalega na głębokości 900 m) i składa się z warstwy węgla i łupków ilastych oraz łupków węglowych o sumarycznej miąższości od 1,7 do 2,9 m. Niekiedy przerosty łupku przekraczają 1,0 m, co wpływa na zwiększenie ogólnej miąższości warstwy. Nachylenie pokładu jest znaczne i wynosi średnio od 10 do 17° w kierunku północnym. W stropie, podobnie jak i w spągu pokładu 328/1, zalega głównie iłowiec oraz iłowiec zapiaszczony bądź mułowiec. Lokalnie, w zależności od otworu, wystąpić mogą warstwy piaskowca, ale ich miąższość nie przekracza zwykle kilku metrów. Wyeksploatowany ścianą D-12 pokład 329/1 ma miąższość około 2,5÷3,0 m wraz z przerostami iłowców oraz łupków węglowych. Skały stropowe i spągowe, podobnie jak w pokładzie 328/1, stanowią iłowce oraz mułowce, rzadziej piaskowce. Ściana D-12 w pokładzie 329/1, 329/1-2, która odebrała rejon planowanego do drażenia chodnika nadścianowego D-15 w pokładzie 328/1, prowadzona była z zawałem stropu i miała wysokość około 3,0 m.

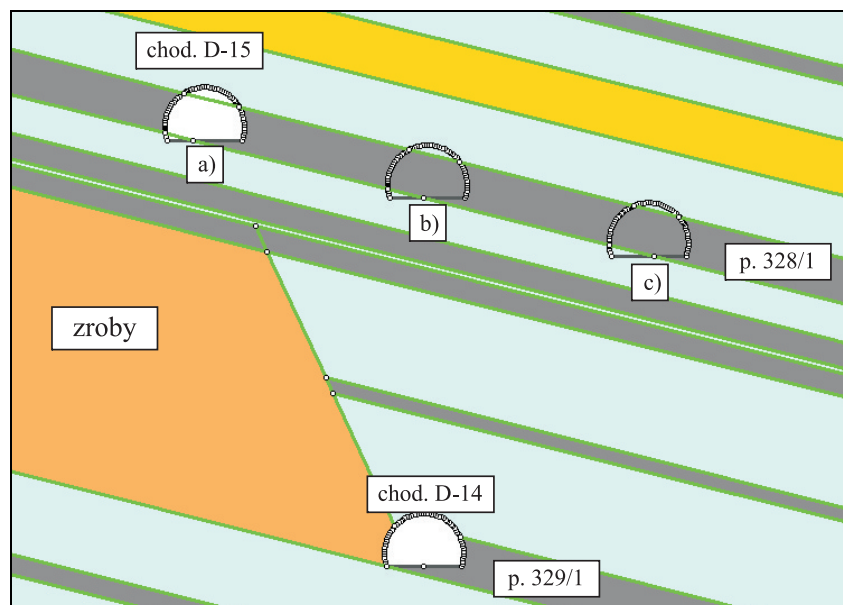
2.2. Modele obliczeniowe

Z analizy warunków górniczo-geologicznych w pokładzie 328/1 w rejonie chodnika nadścianowego D-15 wynikało, że minimalna pionowa odległość do pokładu 329/1 wynosi około 23 m. Dla takiego przypadku wykonano obliczenia na trzech modelach o szerokości 80 m i wysokości 90 m, obejmujących położenie chodnika nadścianowego D-15 w pokładzie 328/1 w stosunku do zrobów w pokładzie 329/1 w następujący sposób (rys. 1):

- chodnik D-15 zlokalizowany jest nad zrobami w odległości 11 m od ociosu chodnika nadścianowego D-14 w pokładzie 329/1;
- chodnik D-15 zlokalizowany jest bezpośrednio nad chodnikiem nadścianowym D-14 w pokładzie 329/1;
- chodnik D-15 zlokalizowany jest nad calizną w odległości 10 m od ociosu chodnika nadścianowego D-14 w pokładzie 329/1.

W artykule określono metodą elementów skończonych (MES) stan wyężenia i przemieszczenia wokół chodnika nadścianowego D-15 w pokładzie 328/1, uwzględniając wpływ oddziaływania zrobów występujących poniżej. Na podstawie otworów geologicznych dla obu modeli przyjęto jeden, najniekorzystniejszy układ warstw, zakładając nachylenie na poziomie 14° oraz przyjmując sprężysty model górotworu.

Poczynając od chodnika nadścianowego D-14 w pokładzie 329/1, 329/1-2, założono w lewym ociosie strefę zawału i spekań o wysokości 18 m od stropu przedmiotowego pokładu. Ponadto przyjęto, że w ociosie zalega 3,0 m węgla wraz z przerostami łupku węglowego oraz iłowca. Powyżej zamodelowano 7,6 m iłowca zapiaszczonego oraz 0,9 m węgla. Dalej występują głównie łupki ilaste z przerostami węgla.



Rys. 1. Schemat modelu numerycznego wraz z położeniem chodnika D-15:
a) nad zrobami, b) nad chodnikiem w pokładzie niżej leżącym,
c) nad calizną w odległości 10 m od prawego ociosu chodnika D-14

W spągu chodnika D-14 w pokładzie 329/1 zalega iłowiec zapiaszczony (5,5 m), węgiel (1,3 m) i ponownie iłowiec zapiaszczony (10,6 m). Poniżej występują cienkie warstwy węgla w otoczeniu iłowców.

Ponadto założono, że naprężenie pionowe pierwotne na poziomie zalegania chodnika nadścianowego D-15 pokład 328/1 wynosiło będzie $p_z = 22,50$ MPa, co odpowiada głębokości 900 m.

2.3. Kryterium wytrzymałościowe wykorzystane do obliczeń numerycznych

Na podstawie dostępnych danych określono własności fizykomechaniczne warstw skalnych występujących w otoczeniu rozpatrywanego wyrobiska chodnikowego. Ponieważ istnieją znaczne różnice we własnościach pomiędzy parametrami próbek skalnych określonymi w warunkach laboratoryjnych a parametrami górotworu, do obliczeń przyjęto parametry górotworu określone z próbek skalnych z wykorzystaniem warunku Hoeka–Browna [2].

Stan wyężenia w górotworze według warunku Hoeka–Browna dla spękanego masywu skalnego definiowany jest jako [3]

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (1)$$

gdzie:

- σ'_1 i σ'_3 — efektywne naprężenie maksymalne i minimalne przy zniszczeniu,
- m_b — wartość stałej Hoeka–Browna dla masywu skalnego,
- s i a — stałe, wyznaczone w oparciu o własności górotworu,
- σ_{ci} — wytrzymałość graniczna materiału skalnego na jednoosiowe ściskanie.

Parametry m_b , a i s wyznacza się z następujących zależności

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right) \quad (2)$$

gdzie:

- m_i — stała dla nienaruszonej skały zależna od jej rodzaju, wyznaczana w oparciu o test trójosiowego ściskania lub na podstawie danych tabelarycznych,
- GSI — parametr jakości górotworu (*Geological Strength Index*) określany na podstawie klasyfikacji geomechanicznej (wskaźnik *RMR*) Bieniawskiego,
- D — współczynnik zruszenia górotworu zależny od rodzaju skał i sposobu urabiania.

Dla wartości parametru $GSI > 25$, czyli dla analizowanych warunków, pozostałe parametry warunku Hoeka–Browna, tj. s i a , wyznacza się z zależności:

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \quad (3)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right) \quad (4)$$

Wartości parametrów fizykomechanicznych przyjęte do obliczeń umieszczono w tabeli 1 [8, 9]. Dodatkowo założono, że chodnik D-15 w pokładzie 328/1 zabezpieczony będzie obudową ŁP9-V29/9, co zostało zamodelowane za pomocą elementów belkowych.

TABELA 1

Własności warstw skalnych przyjęte do obliczeń numerycznych

Rodzaj skały	Moduł Younga E , MPa	Współczynnik Poissona ν	Wytrzymałość na ściskanie σ_c , MPa	Stała kryterium Hoeka–Browna m_b	Stała kryterium Hoeka–Browna s
węgiel / łupek węglowy	1320	0,30	17,80	0,705	0,0007
iłowiec / iłowiec zapiaszczony	3362	0,26	46,70	0,655	0,0010
mułowiec	9290	0,23	60,00	1,341	0,0039
piaskowiec	14193	0,21	80,20	2,901	0,0094
zrobry	500	0,40	4,00	0,275	0,0002

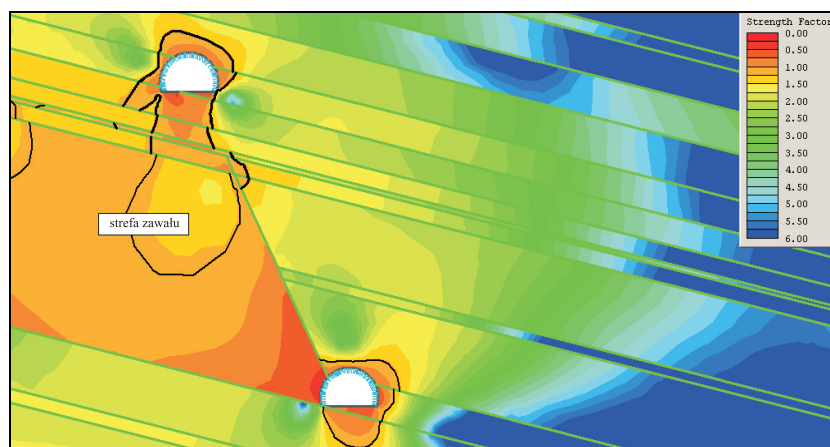
Wyniki obliczeń uzyskano w postaci naprężeń głównych σ_1 , σ_3 , naprężeń stycznych τ_{xy} , wyężenia, przemieszczenia. Ze względu na ich znaczną liczbę i objętość w artykule przedstawiono tylko mapy wyężenia i przemieszczenia obejmujące otoczenie chodnika nadścianowego D-15 pokład 328/1 oraz rejon płaszczyzny zawału pokładu niżej leżącego. Uznano bowiem, że właśnie te parametry będą miały największy wpływ na stateczność analizowanego chodnika.

3. Analiza wyników obliczeń numerycznych

3.1. Model I

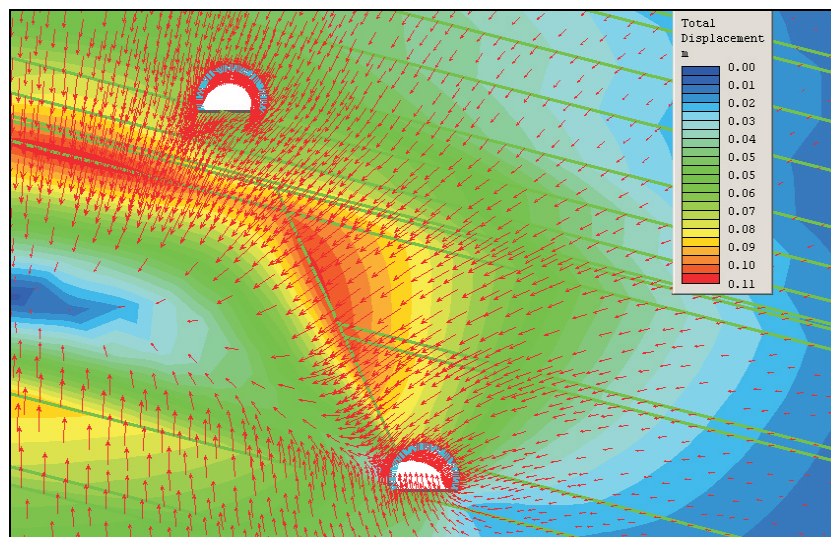
W pierwszym modelu założono, że chodnik D-15 w pokładzie 328/1 zlokalizowany jest nad zrobami w odległości poziomej 11 m od ociosu chodnika nadścianowego D-14 w pokładzie 329/1. Założono też, że odległość pomiędzy pokładami wynosi 23 m, co jest najniższą wartością stwierdzoną otworem badawczym.

Na rysunku 2 w postaci mapy pokazano zmianę wyężenia górotworu określonego za pomocą warunku Hoeka–Brown. Wyężenie wyraża stan zbliżenia górotworu do zniszczenia, które wystąpi, gdy jego wartość jest niższa od jedności. Z mapy wynika, że zniszczenie wystąpić może w następujących odległościach od konturu chodnika nadścianowego D-15: 2,0 m od ociosu lewego, 1,6 m od ociosu prawego, 2,0 m w stropie, 6,5 m w spągu. Z mapy wynika więc, że strefa spękań wokół chodnika nadścianowego D-15 występująca w spągu może się połączyć ze strefą zawału ściany D-12 w pokładzie 329/1. Jest to oczywiście sytuacja bardzo niekorzystna, ponieważ poza trudnościami w utrzymaniu stateczności chodnika wystąpi duże zagrożenie metanowe spowodowane migracją gazu ze zrobów. Dostęp powietrza do zrobów może prowadzić też do samozapłonu w zawale ze względu na występowanie pomiędzy pokładami wybieranymi pozabilansowych warstw węgla.



Rys. 2. Mapa wyężenia wokół chodnika D-15 dla modelu I

W ramach obliczeń numerycznych przeprowadzono także analizę przemieszczeń sprężystych w rejonie przedmiotowego chodnika (rys. 3).



Rys. 3. Mapa przemieszczeń całkowitych wokół chodnika D-15 dla modelu I

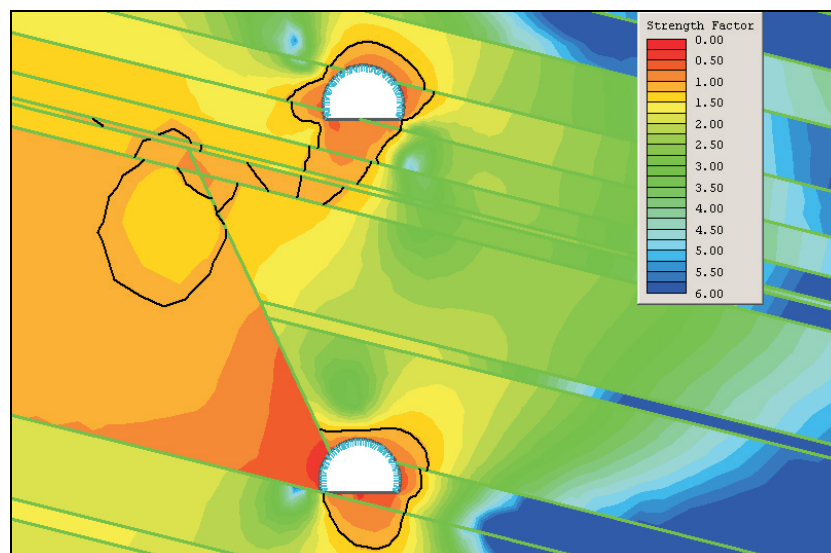
Z przedstawionej mapy wynika, że chodnik nadścianowy D-15 w pokładzie 328/1 znajduje się w strefie znacznych przemieszczeń w kierunku strefy zawałowej w pokładzie 329/1. Uzyskane wartości przemieszczeń należy jednak traktować jako schemat przebiegu procesu deformacji w analizowanej sytuacji górniczo-geologicznej.

3.2. Model II

W drugim modelu założono, że chodnik nadścianowy D-15 w pokładzie 328/1 zlokalizowany jest bezpośrednio nad chodnikiem D-14 w pokładzie 329/1, 329/1–2 (położenie „b” na rys. 1).

Na rysunku 4 przedstawiono mapę wyłączenia uzyskaną na podstawie obliczeń numerycznych za pomocą warunku Hoeka–Browna.

Z mapy wynika, że zniszczenie wystąpić może w następujących odległościach od konturu chodnika nadścianowego D-15: 2,2 m od ociosu lewego, 1,5 m od ociosu prawego, 1,9 m w stropie, 5,5 m w spągu. Z mapy wynika więc, że strefa spękań wokół chodnika nadścianowego D-15 występująca w spągu nieco się zmniejszyła w porównaniu do lokalizacji pierwszej wyrobiska, jednak istnieje pewne prawdopodobieństwo połączenia się strefy spękań wokół chodnika ze strefą zawału ściany D-12 w pokładzie 329/1.



Rys. 4. Mapa wyężenia wokół chodnika D-15 dla modelu II

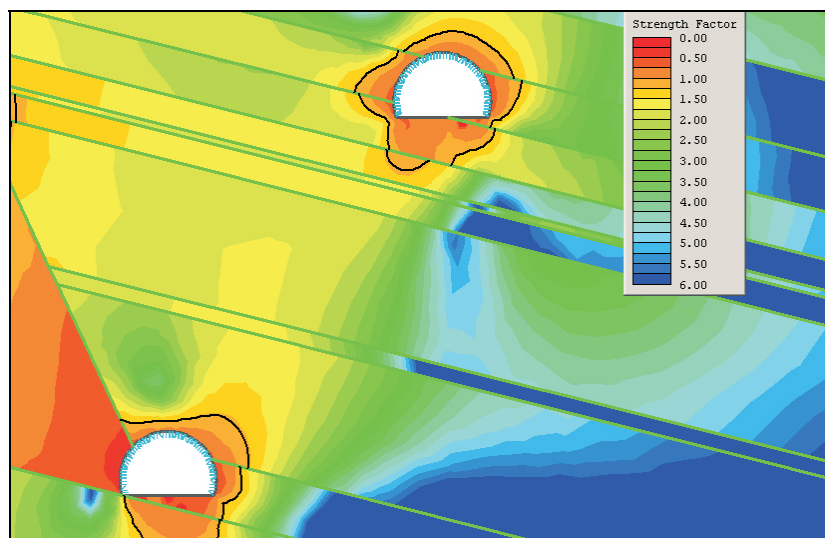
3.3. Model III

W trzecim modelu założono, że chodnik nadścianowy D-15 w pokładzie 328/1 zlokalizowany jest nad calizną w odległości poziomej 10 m od ociosu chodnika D-14 w pokładzie 329/1 (położenie „c” na rys. 1).

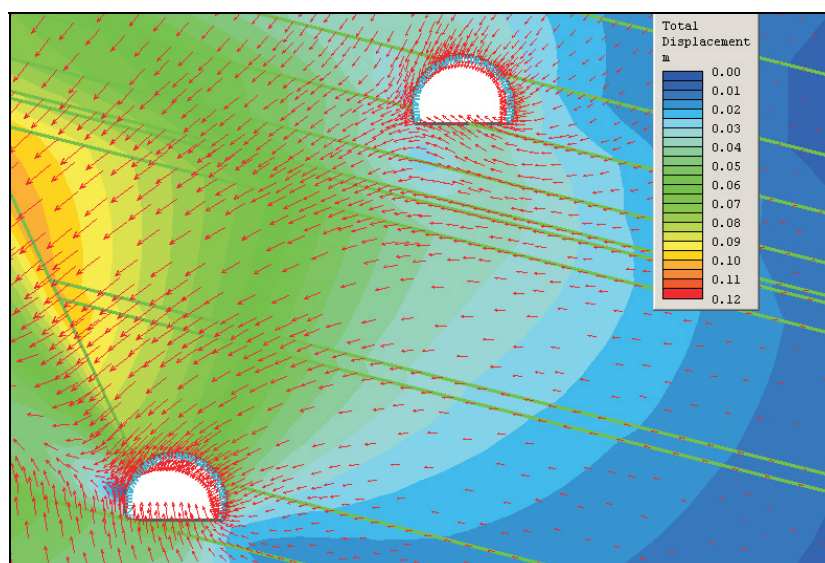
Z rysunku 5, na którym przedstawiono mapę wyężenia górotworu, wynika, że zniszczenie wystąpić może w następujących odległościach od konturu chodnika nadścianowego D-15: 2,2 m od ociosu lewego, 1,7 m od ociosu prawego, 1,2 m w stropie oraz 3,0 m w spągu. Wartości te wskazują, że nie ma zagrożenia od strony zawału ściany D-12 w pokładzie 329/1 i drażnienie chodnika nadścianowego D-15 powinno odbywać się w strefie nienaruszonej.

Powyższe stwierdzenie potwierdza mapa przemieszczeń (rys. 6), z której wynika, że chodnik nadścianowy D-15 w pokładzie 328/1 znajduje się w strefie nieznacznych przemieszczeń w kierunku strefy zawałowej w pokładzie 329/1.

Analizując wyniki obliczeń dla wszystkich modeli, należy zwrócić uwagę, że w pierwotnych założeniach chodnik D-15 miał przebiegać nad zrobami ściany D-12 w pokładzie 329/1, równolegle do krawędzi eksploatacyjnej, w odległości poziomej od tej krawędzi około 11 m (model I). Określenie lokalizacji chodnika powyżej zrobów było istotne nie tylko ze względu na zachowanie stateczności wyrobiska, ale również ze względu na zagrożenie metanowe oraz pożarowe. Trudność w rozwiązaniu tego zagadnienia polegała również między innymi na braku możliwości przeprowadzenia wierceń geologicznych dla określenia zasięgu strefy spękań i kierunku przebiegu płaszczyzny tworzenia się zawału. W związku z tym rozwiązanie problemu w oparciu o obliczenia numeryczne było jedyną metodą możliwą do zastosowania.



Rys. 5. Mapa przemieszczeń całkowitych wokół chodnika D-15 dla modelu III



Rys. 6. Mapa przemieszczeń całkowitych wokół chodnika D-15 dla modelu III

Na podstawie wyników obliczeń stwierdzono, że usytuowanie przedmiotowego wyrobiska zgodnie z danymi przedstawionymi w modelu III pozwoli na bezpieczne jego drażnienie i minimalizację zagrożeń.

4. Wnioski

Rozważania na temat lokalizacji chodnika przyścianowego w bliskim sąsiedztwie nowopowstałych zrobów zawałowych skłaniają do następujących spostrzeżeń:

- 1) Najdokładniejszym sposobem określenia wielkości strefy zawału i spękań powyżej wybranej ściany są bezpośrednie badania kopalniane w postaci m.in. wierceń. Brak takich możliwości sprawia jednak, że w praktyce pozostaje tylko jedna w miarę jednoznaczna metoda, tj. obliczenia numeryczne.
- 2) Wyniki obliczeń numerycznych wskazują, że dla istniejących warunków górniczo-geologicznych zlokalizowanie chodnika przyścianowego w niewielkiej odległości od krawędzi zrobów, tj. 10 m, spowoduje zminimalizowanie negatywnych skutków w drążonym wyrobisku.
- 3) Warto również zwrócić uwagę, że w przypadku dużego zagrożenia metanowego lub pozostawienia w zrobach pozabilansowych warstw węgla połączenie strefy spękań zrobów oraz strefy spękań powstającej wokół drążonego wyrobiska może prowadzić do wzrostu zagrożenia metanowego i pożarowego.
- 4) Dotychczasowe roboty górnicze prowadzone w oparciu o wykonaną analizę w pełni potwierdzają słuszność przyjętej lokalizacji oraz przyjętej technologii wykonywania chodnika.

LITERATURA

- [1] Filcek H., Walaszczyk J., Tajduś A.: Metody komputerowe w geomechanice górniczej. Katowice, Śląskie Wydawnictwo Techniczne 1994
- [2] Hoek E.: Practical Rock Engineering. Rockscience Inc. 1998 (<http://www.rockscience.com>)
- [3] Hoek E. Carranza-Torres C., Corkum B.: Hoek-Brown failure criterion — 2002 edition. Proc. North American Rock Mechanics Society Meeting in Toronto, 2002
- [4] Jing L.: A review of techniques, advances and outstanding issues in numerical modelling for rock mechanics and rock engineering. Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 40, 3, 2003, 283–353
- [5] Kleczek Z.: Geomechanika górnicza. Katowice, Śląskie Wydawnictwo Techniczne 1994
- [6] Majcherczyk T.: Określenie możliwości prowadzenia chodnika nadśc. D-15 w pokładzie 328/1 w warunkach oddziaływania zrobów ściany D-12 w pokładzie 329/1,329/1–2 KWK „Krupiński”. Kraków 2007 (praca niepublikowana)
- [7] Majcherczyk T., Szaszenko A., Sdwiżkowa E.: Podstawy Geomechaniki. AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne 2006
- [8] Majcherczyk T., Małkowski P., Niedbalski Z.: Ocena masywu skalnego w oparciu o parametry geotechniczne skał. Mat. Konf. Geotechnika w Górnictwie i Budownictwie Specjalnym, Kraków 1999, 171–183
- [9] Pilecki Z.: Wyznaczanie parametrów górotworu na podstawie klasyfikacji geotechnicznych. Kraków, Wyd. Drukpol 2002