

Marian MADAJ

Politechnika Śląska, Gliwice

Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Zarządzania Ochroną Powierzchni

Marek WESOŁOWSKI

Politechnika Śląska, Gliwice

Instytut Eksploatacji Złóż

## WYBÓR KIERUNKU DRAŻENIA CHODNIKA F-22 W WARUNKACH KWK „BORYNIA”

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono sposoby wyboru kierunku drażenia bliźniaczego wyrobiska korytarzowego dla ściany F-22 w pokładzie 405/1 łg w warunkach KWK „Borynia”. Stosując metodę modelowania numerycznego autorzy przeanalizowali stateczność analizowanego wyrobiska w dwóch wariantach jego drażenia. Jako kryterium oceny przyjęto rozkład stref zniszczeń w górotworze stanowiącym bezpośrednie otoczenie rozpatrywanego wyrobiska.

## SELECTION OF DIRECTION OF A HEADING F-22 DRIVAGE IN “BORYNIA” COAL MINE

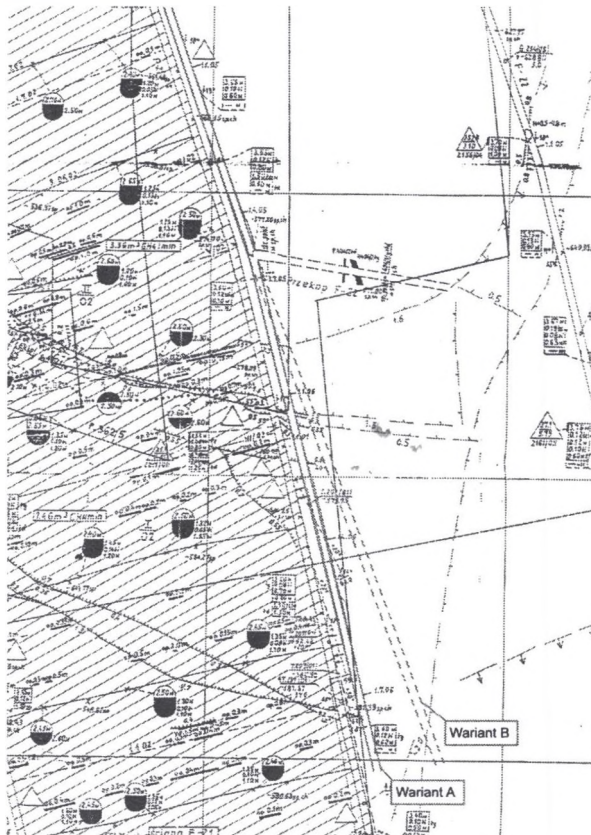
**Summary.** The method of selection of direction of a heading drivage for longwall F-22 in the seam 405/1 łg of “Borynia” coal mine has been presented in this paper. Using the finite element method a heading’s stability has been analyzed in both options. As a criterion of the estimation, the size of failure zone in the rock mass has been accepted.

### 1. Wprowadzenie

Przy projektowaniu wyrobisk podziemnych podstawowym problemem jest określenie wielkości naprężeń w otoczeniu nowego wyrobiska. Prowadzone roboty udostępniające naruszają pierwotny stan równowagi w górotworze, co prowadzi do zaburzenia stanu naprężeń. Skutkiem tego w otoczeniu wyrobiska powstają strefy koncentracji naprężeń, w których wartość naprężeń niejednokrotnie przekracza wytrzymałość skał otaczających

wyrobisko. Konsekwencją przekroczenia wytrzymałości skał w górotworze jest zniszczenie struktury skalnej oraz powstanie deformacyjnego ciśnienia działającego na obudowę wyrobiska. Rozkład i wielkość naprężeń w otoczeniu wyrobiska mają zatem decydujący wpływ na stateczność oraz funkcjonalność ruchową wyrobiska i zależy w głównej mierze od lokalnych warunków geologicznych i górnictwo-technicznych.

Najczęściej stosowaną metodą zapewnienia stateczności wyrobisk górnictwa jest dobór właściwej obudowy, najczęściej podporowej wraz z dodatkowymi wzmocnieniami. Zabezpieczenia takie niejednokrotnie nie są w stanie zapewnić pełnej funkcjonalności ruchowej wyrobiska. W takim przypadku jedynym możliwym rozwiązaniem jest drażnienie bliźniacze go wyrobiska korytarzowego.



Rys. 1. Kierunki drażenia chodnika F-22a [10]. Wariant A – równoległe do chodnika F-22 z pozostawieniem filara węglowego o szerokości 5 m, wariant B – prostoliniowo z pozostawieniem filara węglowego o zmiennej szerokości

Fig. 1. Direction of a heading F-22a [22]. Alternative solution A – parallel to the heading F-22 with 5m wide coal safety pillar, alternative solution B – rectilinearly with coal safety pillar of changeable width

W referacie, wykorzystując do modelowania numerycznego parametry górnico-geologiczne, podjęto próbę określenia najkorzystniejszego kierunku drażenia bliźniaczego wyrobiska korytarzowego dla ściany F-22 w pokładzie 405/1 łg w warunkach KWK „Borynia” (rys. 1). Chodnik F-22a w pokładzie 405/1 łg od początku wybiegu do około 970 m prowadzono równoległe do zrobów ściany F-21 pokład 405/1 łg warstwa I, w których istnieje zbiornik wodny Wp 327/01 o pojemności 50000 m<sup>3</sup>. W związku z powyższym od początku wybiegu chodnik F-22a prowadzono z zastosowaniem otworów wyprzedzających.

## 2. Model górotworu

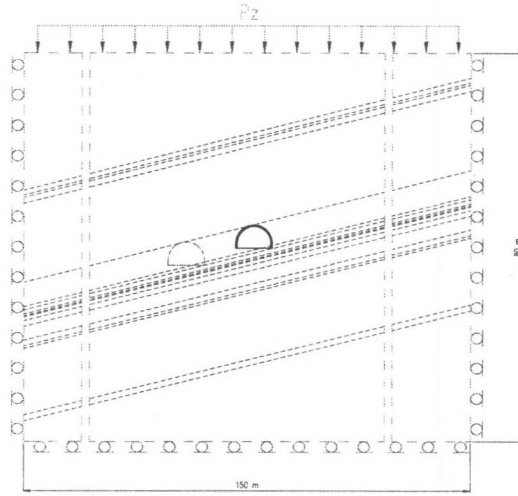
Model górotworu, na podstawie którego prowadzono analizę numeryczną, stanowi płaską tarczę o wymiarach 150 m w kierunku poziomym oraz 80 m w kierunku pionowym. Na głębokości 800 m zamodelowano pokład węgla o grubości 3,96 m. Stanowi on cel symulowanej eksploatacji górniczej.

Pokład 405/1 łg ma około 3,96 m miąższości. W jego stropie występuje około 12,90 m łupka ilastego. Powyżej leży pozabilansowy pokład 404/2 łd o miąższości około 1 m. W stropie tego pokładu zalega łupek z laminami węgla o grubości około 0,40 m, nad którym znajduje się pokład 404/2 łg. W stropie tego pokładu znajduje się łupek ilasty.

W spągu pokładu 405/1 łg zalegają naprzemianległe warstwy łupka węglowego, węgla i łupka ilastego o łącznej miąższości około 3,14 m. Pod tą warstwą znajduje się pokład 405/1 łd o grubości około 2,17 m, w spągu którego znajduje się około 0,90 m łupka ilastego, 0,39 m węgla, 10,40 m łupka ilastego i 0,97 m łupka węglowego. Poniżej znajduje się łupek ilasty.

Każda z wyodrębnionych w modelu warstw stanowi jednorodny ośrodek skalny. Założenie takie pozwoli uprościć proces budowy modelu górotworu przy zachowaniu najistotniejszych cech rzeczywistego ośrodka skalnego. Schemat modelu górotworu przedstawia rys. 2.

Budując siatkę elementów modelu górotworu, przyjęto zasadę, że punkty węzłowe, znajdujące się na skrajnych krawędziach bocznych tarczy, mogą przemieszczać się jedynie wzdłuż osi Z (pionowa oś głębokości). Punkty węzłowe, które znajdują się na dolnej krawędzi tarczy, mogą natomiast przemieszczać się jedynie wzdłuż kierunku wyznaczonego przez poziomą oś X. Pozostałe węzły przynależne do modelu mogą swobodnie przemieszczać się w dowolnym kierunku płaszczyzny X-Z [2, 3, 9].



Rys. 2. Model górotworu  
Fig. 2. Strata model

Warstwom tworzącym model górotworu przyporządkowano model Coulomba – Mohra opisany warunkiem wytrzymałościowym [5, 8] lub warunkiem największego naprężenia rozciągającego [6]. Parametry wytrzymałościowe warstw skalnych przyjęte do obliczeń zestawiono w tabeli nr 1 [4, 6, 10].

Tabela 1

Parametry wytrzymałościowe warstw

Warstwa	E [MPa]	$\nu$ [-]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_c$ [MPa]	$R_r$ [MPa]	k [MPa]	$\phi$ [stopnie]
Piaskowiec	10000	0,12	2300	56	5,6	4	30
Łupek ilasty	6000	0,15	2450	34	3,4	3	30
Pokład 405/1łg	2200	0,25	1500	10	1,0	1,2	24
Zawał	120	0,25	2300	0	0	0	10

Określając warunki brzegowe, założono, że wartość pierwotnych naprężeń w górotworze pochodzi jedynie od sił grawitacyjnych. Poziome naprężenie pierwotne zostało wyznaczone na podstawie klasycznej teorii sprężystości i stanowi ułamek właściwy naprężenia pionowego (zależny od współczynnika Poissona) [1, 5].

Obudowę wyrobiska korytarzowego zamodelowano przy użyciu elementów prętowych oraz zespołu sił działających w kierunku prostopadłym do wewnętrznej powierzchni wyłomu wyrobiska (prętów) [7].

### 3. Omówienie wyników obliczeń

Na podstawie przedstawionego powyżej numerycznego modelu górotworu przeprowadzono wieloetapową analizę numeryczną, której celem było wyznaczenie stref zniszczeń w rejonie projektowanego chodnika F-22a dla przyjętych wariantów jego prowadzenia.

Na bazie uzyskanych wyników sformułowano następujące wnioski:

#### Wariant A

Chodnik F-22a na całej długości prowadzony będzie równoległe do zlikwidowanego chodnika F-21 z pozostawieniem filara węglowego o stałej szerokości równej 5 m. Ze względu na zmienne warunki górnictwo-geologiczne przyjęto do obliczeń dwa przekroje:

- przekrój I, zlokalizowany na 400 m wybiegu chodnika F-22a,
- przekrój II, zlokalizowany w strefie uskokowej na 1050 m wybiegu chodnika.

Po przeprowadzeniu pełnego cyklu obliczeń i ustabilizowaniu sił w modelu wyznaczono strefy zniszczeń dla przyjętych powyżej przekrojów.

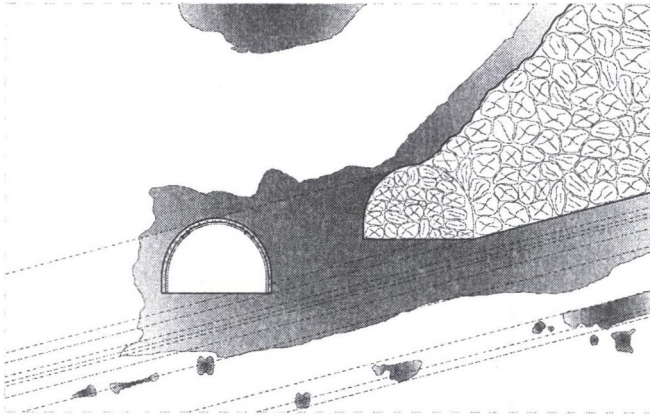
#### Przekrój I

Wydrążenie wyrobiska z pozostawieniem filara oporowego o szerokości 5 m spowoduje rozległe zniszczenia w ociosach chodnika F-22a (rys. 3). Zniszczenia obejmą całą szerokość pozostawionego filara węglowego oraz lewy ocios chodnika do głębokości ok. 1,6 m. Zniszczenia pasa węglowego rozdzielającego chodnik F-22a od zrobów ściany F-21 mogą być przyczyną deformacji odrzwi obudowy oraz migracji powietrza pomiędzy projektowanym chodnikiem a zrobami ściany.

W spągu chodnika F-22a zniszczenia struktury skalnej będą sięgały do głębokości 3 m. Zniszczenia struktury skalnej w tej części górotworu mogą być przyczyną wzmożonego wypiętrzania spągu do wyrobiska. Przewidywana wartość wypiętrzenia przed czołem ściany może dochodzić do 1,2 m (rys. 10).

W stropie wyrobiska zniszczenia struktury skalnej będą sięgały do wysokości 1,3 m. W połączeniu z rozgniataniem pasa węglowego należy spodziewać się trwałych deformacji odrzwi obudowy przed frontem prowadzonej ściany (rys. 9).

Analogicznie do etapu I wystąpią oddzielane strefy zniszczeń, szczególnie w spągu, które na obecnym etapie nie stanowią dodatkowego zagrożenia dla wyrobiska.



Rys. 3. Strefy zniszczeń w górotworze wyznaczone w przekroju I

Fig. 3. Failure zones in rock mass determined in vertical section – alternative I

### Przekrój II

Znacznie większe strefy zniszczeń pojawią się w przypadku prowadzenia wyrobiska w strefie uskokowej znajdującej się na wybiegu chodnika F-22a (rys. 4). W odniesieniu do przekroju I, istotnemu powiększeniu ulegnie strefa zniszczeń w spągu i stropie wyrobiska.

W spągu wyrobiska zniszczenia struktury skalnej, wyznaczone na podstawie modelowania numerycznego, będą sięgały do głębokości ok. 6 m. Strefa ta powiększy się w miarę przesuwania się w kierunku zrobów ściany F-21. Tak istotne powiększenie zniszczeń spągowych będzie spowodowane skróceniem przez uskoki nośnej części pokładu 405/1. Przewidywane wypiętrzenie spągu do wyrobiska przedstawiono na rys. 10.

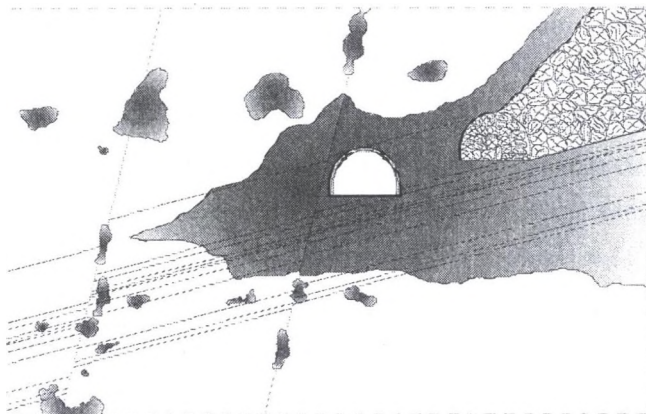
W stropie wyrobiska wysokość strefy zniszczeń będzie sięgała ok. 4 m, co może w znaczący sposób wpływać na deformacje obudowy podporowej w wyrobisku.

Podobnie jak w przypadku przekroju I, zniszczeniu ulegnie cały filar węglowy rozdzielający projektowany chodnik F-22a od zrobów ściany F-21. W połączeniu z rozległymi zniszczeniami stropowymi należy oczekiwać poważnych deformacji obudowy, zagrażających stabilności wyrobiska (rys. 9).

Zniszczenia struktury skalnej obejmą również rejon górotworu znajdujący się za pierwszym uskokiem. Zniszczenia te będą dotyczyły zarówno części pokładu 405/1 łg, jak i stropu oraz spągu tego pokładu.

Odnosząc się do przedstawionych wyników modelowania numerycznego, należy mieć na uwadze fakt, że uwzględnione w obliczeniach uskoki są uskokami prognozowanymi zarówno w aspekcie ich zrzutu, jak i nachylenia płaszczyzn uskokowych. Przedstawione zatem wyniki

należy traktować w tej części górotworu jako niepewne i wymagające praktycznej weryfikacji.



Rys. 4. Strefy zniszczeń w górotworze wyznaczone w przekroju II

Fig. 4. Failure zones in rock mass determined in vertical section – alternative II

### Wariant B

Chodnik F-22a prowadzony będzie prostoliniowo z pozostawieniem filara węglowego o zmiennej szerokości. Do wybiegu 970 m chodnik F-22a prowadzony będzie analogicznie do wariantu A, tzn. równoległe do zlikwidowanego chodnika F-21 z pozostawieniem filara węglowego o szerokości 5 m. Od wybiegu 970 m pomiędzy chodnikiem F-22a a zrobami ściany F-21 szerokość filara węglowego będzie systematycznie zwiększana do szerokości ok. 50 m. Zmienna szerokość filara węglowego wynika z geometrii zrobów ściany F-21 i prostoliniowego sposobu drażenia chodnika F-22a. W tej części pracy analizowano następujące przekroje:

- przekrój I, zlokalizowany na 400 m wybiegu chodnika F-22a w rejonie oddziaływania krawędzi pokładu 404/1 – szerokość filara 5 m,
- przekrój II – szerokość filara węglowego 10 m,
- przekrój III – szerokość filara węglowego 20 m,
- przekrój IV – szerokość filara węglowego 30 m,
- przekrój V, zlokalizowany w strefie uskokowej znajdującej się na 1050 m wybiegu chodnika F-22a – szerokość filara węglowego 40 m.

Po przeprowadzeniu pełnego cyklu obliczeń i ustabilizowaniu sił w modelu wyznaczono strefy zniszczeń dla przyjętych powyżej przekrojów.

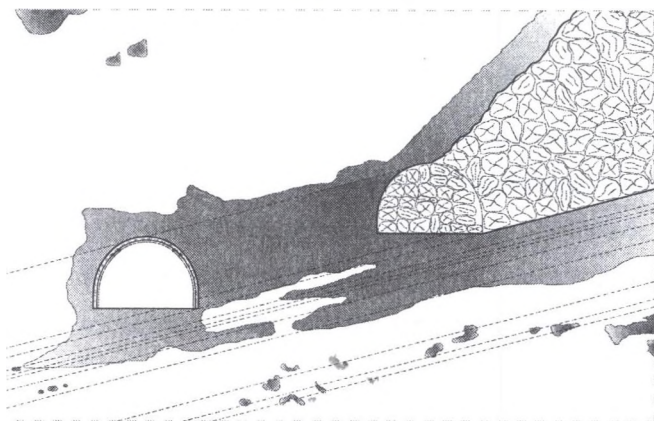
### Przekrój I

Chodnik F-22a do długości 450 m prowadzony będzie dla obu rozpatrywanych wariantów w tym samym miejscu, z pozostawieniem filara węglowego o szerokości 5 m. Wariant ten omówiono dokładnie powyżej (rys. 3).

### Przekrój II

Zwiększenie szerokości filara węglowego do szerokości 10 m, wynikające z kierunku prowadzenia chodnika F-22a, nie wpłynie w znaczący sposób na redukcję stref zniszczeń w górotworze (rys. 5). Jak wynika z przedstawionego rysunku, cała szerokość filara węglowego ulegnie zniszczeniu. Wyświetlenie lewego ociosu chodnika F-22a w odniesieniu do przekroju I (wariant A) nie ulegnie zmianom. Nieznacznie zmniejszy się natomiast strefa zniszczeń spagowych pod filarem węglowym.

W pozostałych rejonach górotworu nie pojawią się większe zmiany.



Rys. 5. Strefy zniszczeń w górotworze wyznaczone w przypadku pozostawienia filara węglowego o szerokości 10 m

Fig. 5. Failure zones in rock mass determined in case with 10 m wide coal safety pillar

### Przekrój III

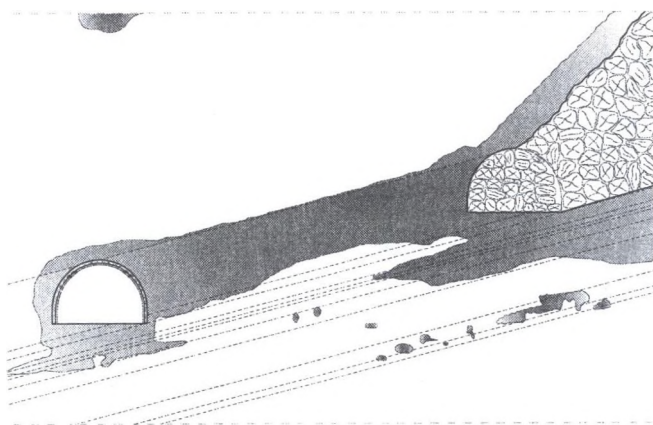
Znacznie mniejsze zniszczenia pojawią się w bezpośrednim sąsiedztwie chodnika F-22a w przypadku powiększenia szerokości filara węglowego do 20 m. Redukcji ulegną w tym przypadku przede wszystkim zniszczenia lewego ociosu chodnika F-22a. Wyznaczona głębokość zniszczeń lewego ociosu wyniesie ok. 1,2 m.

Zniszczenia struktury skalnej w stropie wyrobiska ulegną również zmniejszeniu i wyniosą ok. 1,1 m. W odniesieniu do poprzednio analizowanego wariantu A, nieznacznie zmniejszy się zatem obciążenie obudowy podporowej wyrobiska.



W spągu wyrobiska wyznaczone w tym przekroju zniszczenia struktury skalnej będą sięgały do głębokości 2,7 m. W dalszym ciągu należy spodziewać się dużego wypiętrzenia spągu przed czołem ściany. Przewidywana wartość wypiętrzenia w rejonie frontu ściany wyniesie ok. 0,9 m (rys. 10).

Pomimo powiększenia szerokości pozostawionego pasa węglowego do 20 m zniszczenia jego struktury będą na tyle rozległe, że spowodują całkowitą utratę jego nośności. W dalszym ciągu rozgniatały prawy ocios chodnika F-22a będzie główną przyczyną deformacji obudowy podporowej (rys. 9). Schemat zniszczeń wyznaczonych dla przekroju III przedstawia rys. 6.



Rys. 6. Strefy zniszczeń w górotworze wyznaczone w przypadku pozostawienia filara węglowego o szerokości 20 m

Fig. 6. Failure zones in rock mass determined in case with 20 m wide coal safety pillar

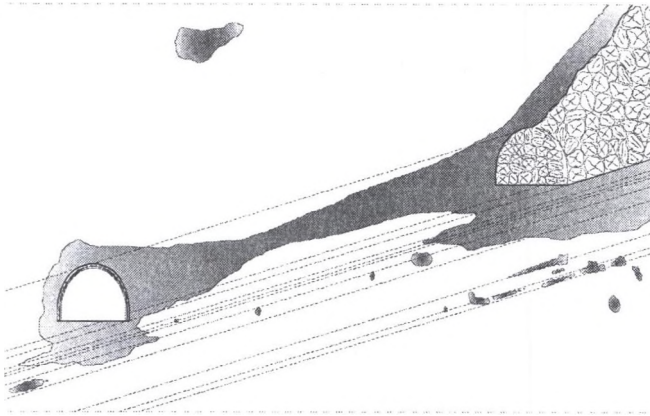
#### Przekrój IV

Powiększenie szerokości pasa do 30 m wpłynie jedynie na redukcję strefy zniszczeń w pasie podporowym. Nadal jednak zniszczenia te będą na tyle rozległe, że pozostawiony filar węglowy nie będzie całkowicie nośny.

Pozostałe strefy zniszczeń w odniesieniu do poprzedniego przekroju (przekroju III) nie ulegną większym zmianom. Wyraźnie widoczne będzie natomiast stopniowe rozdzielanie wpływów zrobów ściany F-21 na stabilność górotworu w rejonie chodnika F-22a.

Schemat zniszczeń wyznaczony dla przekroju IV przedstawiono na rysunku 7.

Przewidywaną wartość wypiętrzenia spągu do przestrzeni roboczej chodnika F-22a oraz deformacje obudowy podporowej przedstawiają rysunki 9 i 10.



Rys. 7. Strefy zniszczeń w górotworze wyznaczone w przypadku pozostawienia filara węglowego o szerokości 30 m

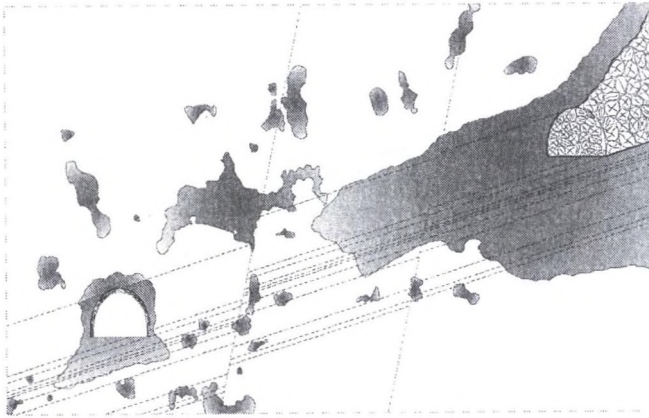
Fig. 7. Failure zones in rock mass determined in case with 30 m wide coal safety pillar

### Przekrój V

Zwiększenie szerokości filara węglowego do 40 m, wynikające z kierunku prowadzenia chodnika F-22a, wpłynie w znaczący sposób na redukcję stref zniszczeń w górotworze (rys. 8). Jak wynika z przedstawionego rysunku, filar węglowy nie ulegnie całkowitemu zniszczeniu, przez co częściowo zachowa swoją nośność.

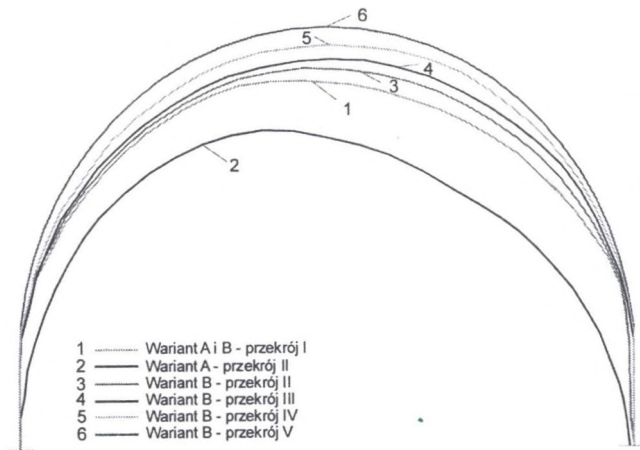
Znacznie mniejsze zniszczenia pojawiają się też w bezpośrednim sąsiedztwie chodnika F-22a. Zniszczenia struktury skalnej ociosów chodnika F-22a nie przekroczą 1 m. W spagu wyrobiska wyznaczone w tym przekroju zniszczenia będą sięgały do głębokości ok. 2,6 m, a w stropie wyrobiska do ok. 1,3 m.

W odniesieniu do poprzednio analizowanego przekroju nieznacznie zmniejszy się obciążenie obudowy podporowej wyrobiska (rys. 9).



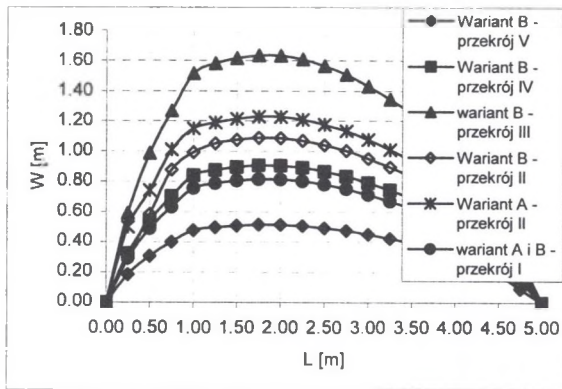
Rys. 8. Strefy zniszczeń w górotworze wyznaczone w przypadku pozostawienia filara węglowego o szerokości 40 m – strefa uskokowa

Fig. 8. Failure zones in rock mass determined in case with 40 m wide coal safety pillar – downthrow zone



Rys. 9. Przewidywane deformacje obudowy wyrobiska wyznaczone dla rozpatrywanych wariantów

Fig. 9. Expected numerical deformations of the road support determined in alternatives options



Rys. 10. Przewidywana wartość wypiętrzenia spagu do wyrobiska w zależności od rozpatrywanego wariantu

Fig. 10. Expected numerical forecasting of the the floor heave for alternatives options

#### 4. Wnioski

Na bazie uzyskanych wyników wieloetapowych symulacji komputerowych sformułowano następujące wnioski końcowe:

1. Stosując metodę elementów skończonych, istnieje możliwość określenia najbardziej korzystnego kierunku prowadzenia chodnika F-22a na podstawie lokalnych warunków górniczo-geologicznych.
2. Jako kryterium oceny przyjęto rozkład stref zniszczeń w górotworze stanowiącym bezpośrednie otoczenie rozpatrywanego wyrobiska. Wielkość zniszczeń struktury skalnej w górotworze w sposób zasadniczy wpływa na obciążenie obudowy, a co za tym idzie stateczność rozpatrywanego wyrobiska podścianowego. Proces ten wymaga jednak dokładnej znajomości parametrów wytrzymałościowych górotworu w rejonie projektowanych wyrobisk.
3. Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń numerycznych można stwierdzić, że z punktu widzenia stateczności obudowy korzystniejsze będzie prowadzenie chodnika prostoliniowo, co zostało opisane w wariantcie II. Taki sposób drążenia chodnika jest szczególnie korzystny ze względu na utrzymanie wyrobiska w strefach uskokowych.
4. Prostoliniowe prowadzenie chodnika F-22a ułatwi również odstawę urobku z projektowanej ściany. Eliminuje to konieczność dodatkowych przesypów przenośników taśmowych na zakrętach wyrobiska.

5. Z uwagi na fakt, że pokład 405/1 łg nie jest zaliczony do pokładów tąpniących, a węgiel z tego pokładu jest mało skłonny do samozapalenia, pozostawienie filarów oporowych pomiędzy chodnikami F-21 i F-22a nie będzie powodowało dodatkowych zagrożeń (pożarowych i tąpnięć).
6. Prowadzenie chodnika F-22a z pozostawieniem filara węglowego o szerokości 5 m może powodować w początkowym okresie przepływ gazów pomiędzy chodnikiem F-22a a zrobami ściany F-21.
7. Prowadzenie chodnika F-22a z pozostawieniem filara węglowego o stałej szerokości równiej 5 m może powodować mniejsze straty węgla w pokładzie 405/1 łg.

## BIBLIOGRAFIA

1. Chudek M.: Mechanika górotworu. Skrypt centralny nr 956/61, Gliwice 1981.
2. Drzęzła B., Wesołowski M.: Określenie stref deformacji w górotworze w czasie rozruchu wyrobiska ścianowego. Część I – Ogólne zasady numerycznego modelowania górotworu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 239, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999.
3. Filcek H., Walaszczyk J., Tajduś A.: Metody komputerowe w geomechanice górniczej. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1994.
4. Kidybiński A.: Podstawy Geotechniki Kopalnianej. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1982.
5. Kłęczek Z.: Geomechanika górnicza. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1994.
6. Kwaśniewski M., Wang J.: Analiza numeryczna deformacji górotworu wywołanych eksploatacją górniczą. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej'96, Kraków 1996.
7. Madaj M., Majchrzak R., Klimas W., Wesołowski M.: Dobór optymalnego sposobu ochrony chodnika przyścianowego ściany zawałowej w świetle badań numerycznych. Materiały Konferencyjne, Ustroń 2001.
8. Wesołowski M. i in.: Sposób wyznaczania trwałych zniszczeń w caliznie węglowej powstających w trakcie eksploatacji. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 242, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999.
9. Wesołowski M.: Numeryczny model wyrobiska korytarzowego w górotworze uwarstwionym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 254, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.

10. Projekt techniczny drażenia chodnika F-22a w pokł. 405/1łg. Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. KWK „Borynia”.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Kazimierz PODGÓRSKI

### **Abstract**

The method of choice of direction of a heading F-22 drivage for longwall F-22 in the seam 405/1 łg of “Borynia” hard coal mine has been presented in this paper. Using the finite element method a heading’s stability has been analyzed in both options. The accepted criterions of the estimation for alternatives options are following: the size of failure zone in the rock mass, magnitude of deformation of road support and floor heave.