

Tadeusz Majcherczyk, Zbigniew Niedbalski*, Piotr Małkowski**

WPŁYW SZEROKOŚCI FILARA OPOROWEGO DLA CHODNIKA PRZYŚCIANOWEGO NA STAN NAPRĘŻENIA W JEGO OTOCZENIU**

1. Wprowadzenie

W trakcie prowadzenia eksploatacji ścianowej kluczową rolę odgrywają chodniki przyścianowe. Zachowanie ich gabarytów gwarantuje jednocześnie zachowanie funkcji, do jakiej zostały przeznaczone. Najkorzystniejszym rozwiązaniem pod względem ekonomicznym jest utrzymanie wyrobiska przyścianowego dla potrzeb kolejnej ściany. Niestety często warunki górniczo-geologiczne zmuszają do drażenia nowego wyrobiska, bezpośrednio przy wcześniej wykonanym i użytkowanym wyrobisku, co powoduje pozostawienie filara oporowego. Z punktu widzenia geomechaniki pozostawienie filara wzdłuż wyrobiska w wybieranej części pokładu nie jest dobrym rozwiązaniem. Część pokładu, która nie zostaje wybrana jest zawsze miejscem koncentracji naprężeń, a w przypadku występowania mocnej warstwy węgla w przekroju wyrobiska może to prowadzić do zjawiska dynamicznego [1]. Jeżeli węgiel i skały otaczające są słabe i gazonośne, dochodzi do ich spękania i rozkruszenia, co wpływa na wzrost zagrożenia metanowego [5, 8].

Zastosowanie odpowiedniego schematu obudowy w chodniku przyścianowym wpływa na wymiary filara [10, 12, 13]. Wykonywane symulacje numeryczne i badania na materiałach ekwiwalentnych pokazują, że filar o szerokości równej $7,5 \div 10$ m może skutecznie przenosić naprężenia górotworu [13], a w 16-metrowym filarze może tworzyć się nienaruszony rdzeń [12]. Jest to zgodne z rozważaniami teoretycznymi, które pokazują, że istnieje taka szerokość filara oporowego, dla której eksploatacja z jednej strony filara wpływa istotnie na stan naprężenia, natomiast z drugiej strony filara tylko w nieznacznym stopniu [1].

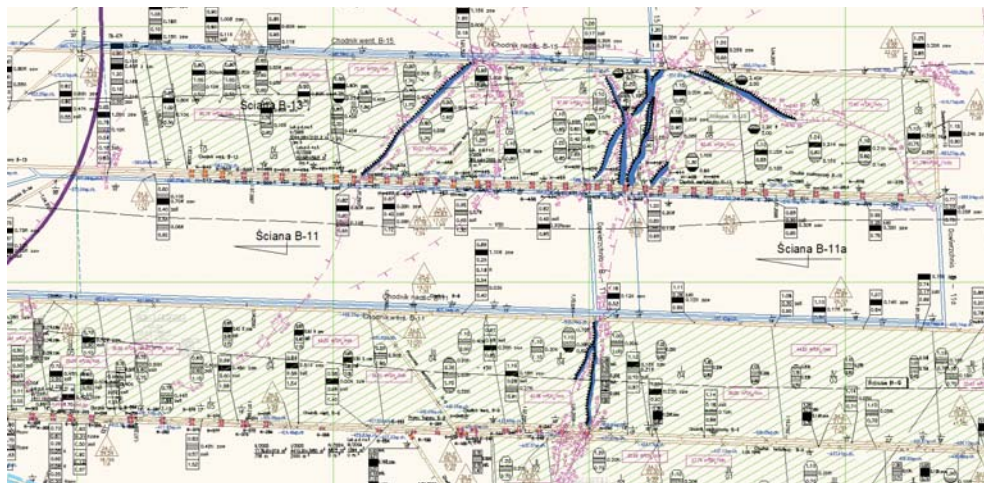
Sytuacja pogarsza się, gdy drugi równoległy chodnik przyścianowy znajdzie się w otoczeniu zrobów, a dodatkowo warstwy skalne są mocno nachylone. Pomiaru wykonywane w wy-

* Katedra Geomechaniki. Budownictwa i Geotechniki, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Praca wykonana w ramach umowy MNiSW, nr umowy w AGH 18.18.100.477

robiskach znajdujących się w obustronnym otoczeniu zrobów pokazują, że przy skałach mających wytrzymałość ok. 15÷20 MPa, konwergencja wyrobiska może sięgać ponad 70% [8].

W pracy przedstawiono wyniki analizy dla określenia optymalnej lokalizacji chodnika przyścianowego niezbędnego dla wybrania ścian B-11 i B-11a w pokładzie 348. Duże nachylenie wybieranego po rozciągłości pokładu ($20\div 25^\circ$) oraz metanonośność węgla sprawiają, że dla wybrania przedmiotowych ścian niezbędne jest wykonanie trzech chodników przyścianowych: tj. chodnika podścianowego B-11 oraz dwóch chodników nadścianowych, z których jeden spełnia funkcję wentylacyjną. Sytuację dodatkowo komplikuje fakt, że eksploatacja planowana jest pomiędzy zrobami zawałowymi ścian B-9 i B-13 (rys. 1) w rejonie zaliczonym do IV kategorii zagrożenia metanowego [6].



Rys. 1. Lokalizacja chodników przyścianowych ścian B-11 i B-11a w pokładzie 348 [6]

2. Charakterystyka warunków górniczo-geologicznych

Chodnik nadścianowy B-11 oraz chodnik wentylacyjny B-11 w pokładzie 348 znajdują się na głębokości 740÷770 m, natomiast chodnik podścianowy znajduje się na głębokości 840÷870 m. Pokład 348 w omawianym rejonie ma miąższość od 2,0m do 3,4 m wraz z przestrzami iłowca oraz iłowca zawęglonego. Miąższość pokładu generalnie wzrasta ze wschodu na zachód. Rozciągłość warstw przyjmuje kierunek wschód-zachód przy zapadaniu na północ pod kątem $20\div 240$.

Warstwy stropowe pokładu 348 stanowią: iłowiec zapiaszczony (2,0 m), piaskowiec (1,6 m), ponownie iłowiec zapiaszczony (3,1 m) oraz piaskowiec (5,7 m). Powyżej zalega warstwa iłowca o miąższości około dwudziestu kilku metrów wraz z warstwami węgla pokładu 347/1 oraz 347/2. Dalej zalega natomiast iłowiec zmiennie zapiaszczony o miąższości około 20 m. Spąg pokładu stanowi iłowiec (1,4 m), węgiel (0,3 m) oraz iłowiec zapiaszczony o miąższości około 15 m, który zawiera pokład węgla 349/1.

Na wybiegu chodnika podścianowego B–11 przewiduje się wystąpienie kilku uskoków o zrzućcie maksymalnym około 3,0 m. Właśnie strefa uskokowa stwierdzona w drugiej części ścian B–9 oraz B–13 spowodowała podzielenie przewidzianej do eksploatacji ściany na część B–11 oraz B–11a z pominięciem strefy uskokowej o długości około 80 m [6].

Wartości parametrów wytrzymałościowych i strukturalnych warstw skalnych z rejonu chodników przyścianowych ścian B–11 i B–11a w pokładzie 348 przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Właściwości warstw skalnych w omawianym rejonie pokładu 348

Rodzaj skał	Wytrzymałość na ściskanie R_c [MPa]	Rozmakalność r	Gęstość objętościowa ρ [kg/m ³]
skały stropowe	36,9–50,7	—	—
węgiel	16,5–25,4	—	—
skały spągowe	25,5–86,8	0,8–1,0	2600–2620

3. Określenie lokalizacji chodników przyścianowych

Nietypowy problem geomechaniczny związany z koniecznością drażenia dodatkowego chodnika wentylacyjnego, jako trzeciego wyrobiska przyścianowego spowodował, że do jego rozwiązania wykorzystano obliczenia numeryczne. Wykonano je za pomocą programu Phase2, bazującego na metodzie elementów skończonych, dla tarczy znajdującej się w płaskim stanie odkształcenia. Dla analizowanego rejonu pokładu 348 przyjęto typowy układ warstw skalnych (rys. 2), których właściwości geomechaniczne przedstawiono w tabeli 2. Wzięto pod uwagę wpływ czasu na parametry wytrzymałościowe oraz różnice w parametrach pomiędzy górotworem a próbką. Do obliczeń przyjęto parametry górotworu określone z próbek skalnych z wykorzystaniem warunku Hoeka-Browna [7, 11]. Obliczenia przeprowadzono dla modelu sprężysto-plastycznego z osłabieniem, przyjmując kryterium wyężeniowe Hoeka-Browna [3, 4].

TABELA 2

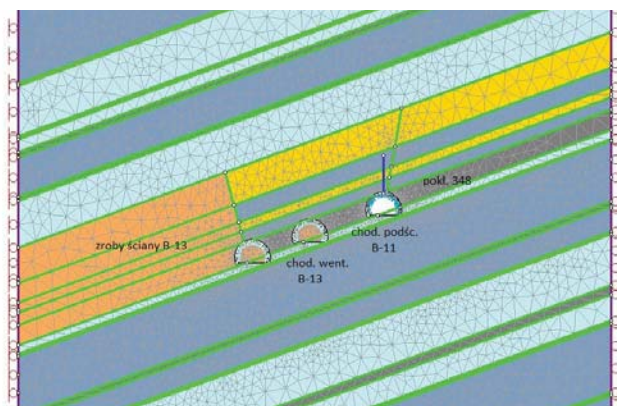
Właściwości warstw skalnych przyjęte do obliczeń numerycznych

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	1750	0,26	16,5	0,892	0,0005
iłowiec	5200	0,24	36,9	0,982	0,0022
iłowiec zapiaszczony	6080	0,22	50,7	1,341	0,0039
piaskowiec	6470	0,20	75,0	2,806	0,0067
zroby	500	0,30	5	0,275	0,0002

Ze względu na sąsiedztwo zrobów, rejon analizowanego chodnika podścianowego ścian B–11 i B–11a pokładu 348 został poddany wpływom ciśnienia eksploatacyjnego. W związku

z powyższym analizę przeprowadzono etapowo (obliczenia typu stage), uwzględniając zmiany, jakie zachodzą w górotworze w rejonie chodnika podścianowego B-11:

- etap I — wykonanie chodnika nadścianowego B-13 oraz chodnika wentylacyjnego B-13 w pokładzie 348,
- etap II — wybranie ściany B-13 i pozostawienie zrobów oraz likwidacja chodników przyścianowych tej parceli,
- etap III — likwidacja chodnika B-13 oraz chodnika wentylacyjnego B-13,
- etap IV — wykonanie chodnika podścianowego B-11 w pokładzie 348 (rys. 2),
- etap V — wybranie ściany B-11 i pozostawienie filara między zrobami ścian B-11 i B-13.



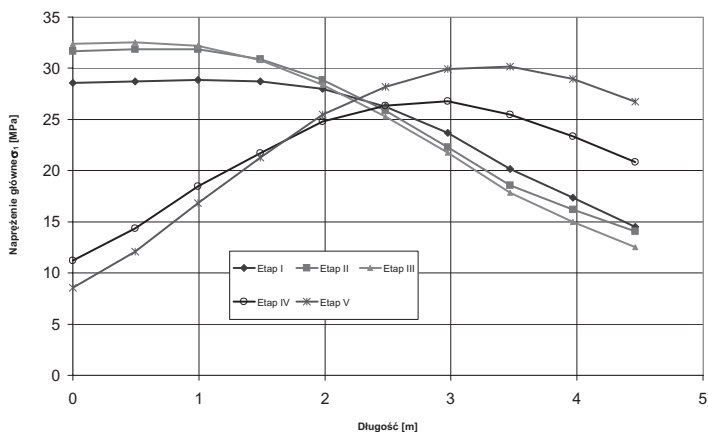
Rys. 2. Sytuacja górniczo-geologiczna wokół chodnika podścianowego B-11

Obliczenia lokalizacji chodnika podścianowego B-11 w stosunku do chodnika wentylacyjnego B-13 przeprowadzono dla różnej odległości w poziomie zmieniając ją w zakresie od 4,0 m do 10,0 m. W artykule przedstawiono wyniki dla szerokości filara 4,0m, 6,5 m, 8,5 m i 10,0 m. Obudowę chodnika B-11 stanowiła stalowa obudowa łukowa podatna ŁP10/V32 o rozstawie odrzwi 1,0 m. Zamodelowano ją jako strukturalne elementy belkowe typu beam, przyjmując sztywność elementów odpowiadającą parametrom kształtownika V32 i standardowej stali. Obudowa została wzmocniona jednym rzędem przykotwionych podciągów. Zamodelowane kotwy miały długość 6,0 m i nośność 0,32 MN.

3.1. Analiza wyników obliczeń dla chodnika podścianowego B-11

Na rysunku 3 przedstawiono rozkład naprężeń w filarze pomiędzy chodnikiem podścianowym B-11 a chodnikiem wentylacyjnym B-13 przy szerokości filara w poziomie 4 m (rys. 3). Określono go wzdłuż linii pomiędzy wymienionymi chodnikami począwszy od ociosu chodnika podścianowego B-11. Linia pomiarowa znajduje się ok. 1,2 m od spągu pokładu.

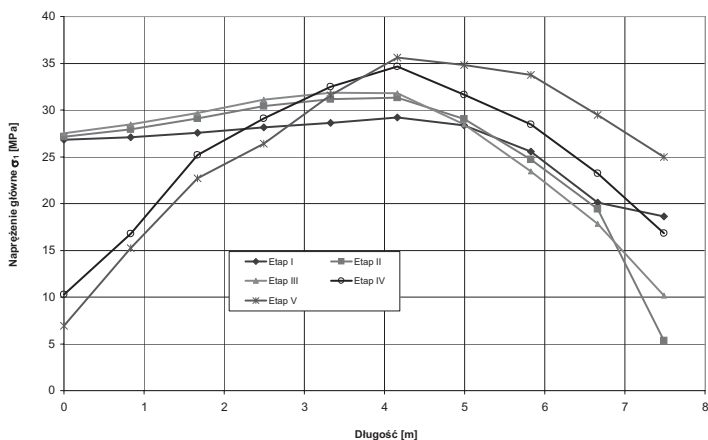
Z rysunku 3 wynika, że na etapie wydrążenia chodników przyścianowych ściany B-13 oraz powstania zrobów w tej ścianie, w ociosie planowanego chodnika podścianowego B-11



Rys. 3. Rozkład naprężeń głównych σ_1 w filarze pomiędzy chodnikiem podścianowym B-11 a chodnikiem wentylacyjnym B-13 przy szerokości filara 4,0 m

występuje koncentracja naprężeń, bowiem wartości sięgają 30÷32 MPa. Można zauważyć również, że w okresie pomiędzy etapem I, w którym występują tylko chodniki przyścianowe ściany B-13, a etapem III, w którym występują zroby oraz likwidacja chodników dla ściany B-13, mamy do czynienia z podwyższonymi naprężeniami. Dopiero wykonanie chodnika podścianowego B-11 powoduje relaksację naprężeń do 8÷12 MPa wynikającą z powstania strefy odprężonej w wyniku spękań.

Można zatem stwierdzić, że lokalizacja chodnika w sąsiedztwie zrobów oraz zlikwidowanych chodników w odległości około 4,0 m byłaby przyczyną koncentracji naprężeń na etapie drażenia.

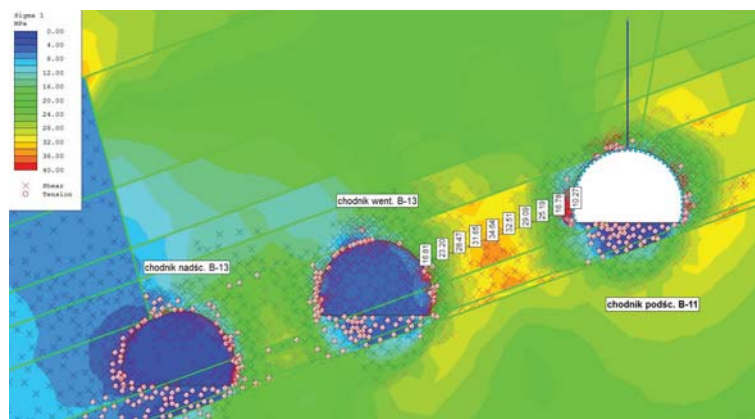


Rys. 4. Rozkład naprężeń głównych σ_1 w filarze pomiędzy chodnikiem podścianowym B-11 a chodnikiem wentylacyjnym B-13 przy szerokości filara 6,5 m

Zwiększenie filara pomiędzy analizowanymi chodnikami do 6,5 m (rys. 4) powoduje, że w jego ociosie naprężenia przyjmują wartości około 27 MPa, przy czym wartości maksymal-

ne zlokalizowane są w odległości około 3,0÷4,0 m. Zamodelowanie chodnika B–11, a potem powstanie zrobów ściany B–11 powoduje spadek naprężeń w ociosie wyrobiska oraz wzrost naprężeń w środkowej części filara do 36 MPa.

Spadek naprężeń w ociosie chodnika podścianowego B–11 po wydrążeniu powoduje zmianę rozkładu naprężeń wokół całego wyrobiska (rys. 5). Na rysunku zaznaczono dodatkowo linię pomiarową pomiędzy chodnikami, wzdłuż której określano zmiany naprężeń. Koncentracja naprężeń może prowadzić do pojawienia się strefy zniszczenia w omawianym filarze, a także na pozostałym konturze wyrobiska. Uzyskana w obliczeniach nieciągła strefa spękań w filarze, jedynie w ograniczonym zakresie może prowadzić do połączeń wentylacyjnych ze zrobami ściany B–13.

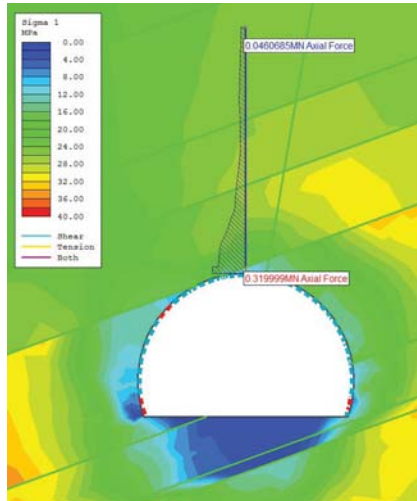


Rys. 5. Rozkład naprężeń głównych σ_1 oraz stref uplastycznienia wokół chodnika podścianowego B–11 po jego wykonaniu

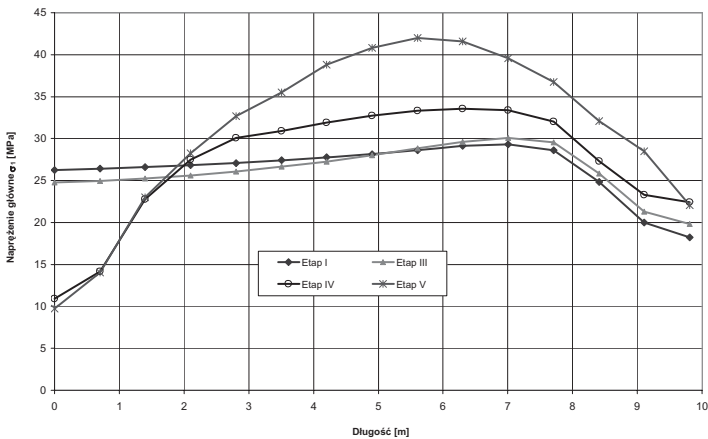
Na podstawie powyższego można stwierdzić, że dla przyjętych warunków górnictwo-geologicznych istnieje stosunkowo korzystna sytuacja dla utrzymania stateczności chodnika podścianowego B–11 oraz dla ograniczenia dopływu metanu ze zrobów ściany sąsiedniej.

Dla tego etapu wykonano dodatkowo mapę potencjalnego uplastycznienia obudowy chodnika podścianowego B–11 (rys. 6). Wynika z niej, że nieznaczne deformacje mogą pojawić się w bardzo ograniczony sposób w części przyspagowej obu łuków ociosowych oraz w rejonie zakładki ociosu lewego. Wartości sił w kotwi wskazują, że najwyższe wartości występują w bezpośrednim sąsiedztwie konturu i wynoszą 0,32 MN, a w dalszej odległości systematycznie maleją osiągając wartość 0,046 MN na końcu długości kotwy. Można więc stwierdzić, że zabudowa kotew jest zasadna, bowiem przenoszą one część obciążenia pochodzącego od skał stropowych, zmniejszając obciążenie obudowy.

Dalsze zwiększanie szerokości filara do 8,5 m spowodowało (rys. 7), że w ociosie planowanego wyrobiska występują stabilne warunki, nawet po powstaniu zrobów ściany sąsiedniej. Wartości naprężeń głównych wynoszą 25÷27 MPa. Wydrążenie chodnika powoduje odprężenie górotworu do odległości od ociosu około 2,0 m, a na samym konturze



Rys. 6. Rozkład sił w kotwi oraz uplastycznienie obudowy podporowej chodnika podścianowego B-11 po jego wykonaniu

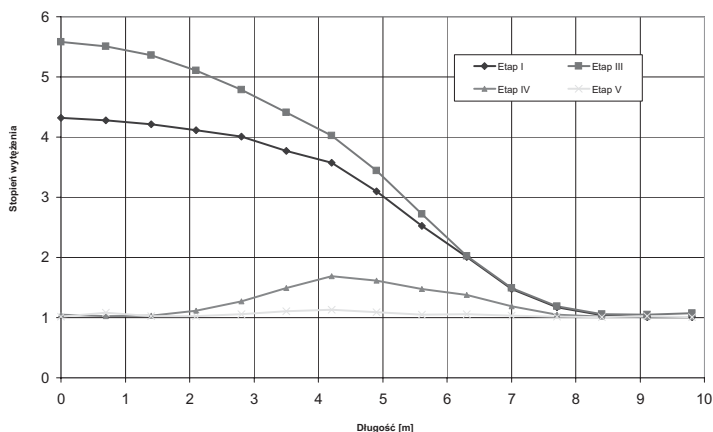


Rys. 7. Rozkład naprężeń głównych σ_1 w filarze pomiędzy chodnikiem podścianowym B-11 a chodnikiem wentylacyjnym B-13 przy szerokości filara 8,5 m

naprężenia spadają do 10÷12 MPa. Maksymalne naprężenia pojawiają się po powstaniu zrobów kolejnej ściany osiągając wartość 42 MPa w odległości około 5÷6 m od analizowanego chodnika.

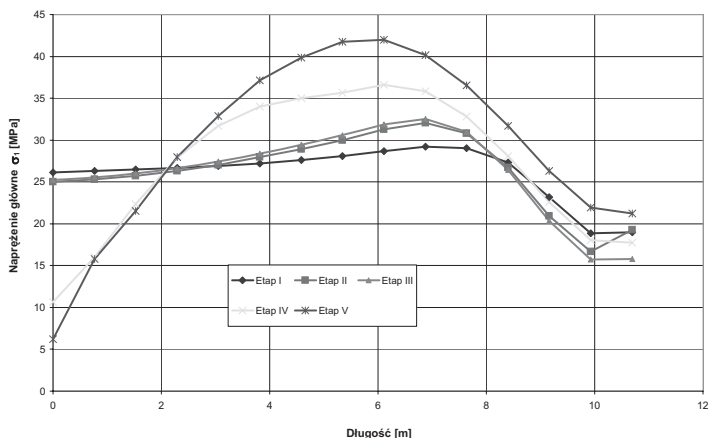
Można więc stwierdzić, że w tym przypadku wpływ zrobów sąsiedniej ściany na chodnik podścianowy B-11 jest znikomy, co prowadzi również do ograniczenia strefy spękań (rys. 8). Z obliczeń wynika jednak także, że filar może akumulować energię sprężystą, co może prowadzić do generowania w ograniczonym zakresie zjawisk sejsmicznych. Z przedstawionego rysunku wynika, że po powstaniu zrobów ściany B-11 najmniej na zniszczenie narażona jest

środkowa część filara, bowiem wartość stopnia wyężenia jest większa od 1,1. Wartości niższe należy utożsamiać z możliwością powstania uplastycznienia, oraz stref spękań.



Rys. 8. Rozkład stopnia wyężenia w filarze pomiędzy chodnikiem podścianowym B-11 a chodnikiem wentylacyjnym B-13 przy szerokości filara 8,5 m

Jako ostatni przeanalizowano filar o szerokości poziomej 10 m (rys. 9). Na podstawie wykresu zmian naprężeń głównych σ_1 można stwierdzić, że w tym przypadku ich rozkład w filarze jest bardzo zbliżony do tego jaki występował przy szerokości 8,5 m. Tak więc zauważa się tylko nieznaczny wpływ ściany sąsiedniej na rejon chodnika podścianowego B-11, natomiast występują duże koncentracje naprężeń po wybraniu ściany B-11.



Rys. 9. Rozkład naprężeń głównych σ_1 w filarze pomiędzy chodnikiem podścianowym B-11 a chodnikiem wentylacyjnym B-13 przy szerokości filara 10,0 m

Podsumowując wyniki obliczeń numerycznych wykonanych dla chodnika podścianowego B-11 w pokładzie 348 można stwierdzić, że położenie tego wyrobiska w odległości

6,0 m od chodnika wentylacyjnego B–13 pozwoli na znaczne ograniczenie przedostawania się szkodliwych gazów ze strefy zrobów ściany B–13. Przyjęta obudowa ŁP10/V32 budowana z rozstawem 1,0 m przy wzmocnieniu jednym rzędem podciągów przykotwionych kotwami strunowymi o długości 6,0 m w otworze, powinna zapewnić stateczność chodnika podścianowego B–11 do czasu wybrania ściany B–11.

4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Stateczność i funkcjonalność wyrobisk górniczych ma bezpośredni wpływ na efektywność i bezpieczeństwo prowadzonych prac. Utrzymanie równoległych chodników przyścianowych rozdzielonych filarem oporowym to zagadnienie, które występuje w kopalniach węgla kamiennego w warunkach dużego zagrożenia metanowego. Analizie poddano szczególnie przypadek chodników przyścianowych dla ścian B–11 i B–11a w pokładzie 348. Główny nacisk położono na lokalizację chodników względem zrobów sąsiednich ścian, a więc określono optymalne szerokości filara oporowego, w zależności od rozkładu naprężeń dla analizowanych wariantów.

Analiza pozwoliła na określenie takiej lokalizacji, która uwzględni trzy najważniejsze zagadnienia tj.: zapewnienie stateczności wyrobisk, ograniczenie przedostawania się gazów ze zrobów ścian sąsiednich w wyniku minimalizacji stref spękań, oraz efektywne wybranie węgla.

Przeprowadzone obliczenia numeryczne dla konkretnych warunków górniczo-geologicznych wykazały, że w zależności od szerokości filara pomiędzy wyrobiskami strefy zawalowej sąsiedniej ściany a planowanym chodnikiem zmienia się stan naprężeń w następujący sposób:

- przy szerokości filara 4,0 m planowane wyrobisko znajduje się w strefie koncentracji naprężeń tj. około 33 MPa, redukcja naprężeń następuje po wykonaniu tego wyrobiska w wyniku pojawienia się stref spękań; w tym przypadku przewiduje się znaczne strefy spękań powodujące połączenia ze zrobami ściany sąsiedniej;
- zwiększenie filara do 6,5 m powoduje zmniejszenie naprężeń na konturze planowanego wyrobiska z jednoczesnym niewielkim wzrostem maksymalnych naprężeń do 36 MPa w filarze po wystąpieniu zrobów kolejnej ściany tj.: B–11; w tym przypadku obserwuje się nieco mniejszą strefę spękań filara, co ogranicza możliwość przedostawania się metanu ze zrobów;
- zwiększenie filara do 8,5 czy 10,0 m powoduje nieznaczne zmniejszenie naprężeń na konturze planowanego wyrobiska z jednoczesnym wzrostem maksymalnych naprężeń do 42 MPa w filarze po wystąpieniu zrobów kolejnej ściany tj.: B–11; dzięki znacznej szerokości filara w obustronnym otoczeniu zrobów może on akumulować energię sprężystą.

Przeprowadzona seria obliczeń wykazała więc, że w przypadku złożonych warunków górniczo-geologicznych, obliczenia numeryczne mogą być podstawą do szerokich analiz konkretnego zagadnienia praktycznego. W analizowanym przypadku stwierdzono, że zloka-

lizowanie chodnika podścianowego B–11 wzdłuż istniejących zrobów powinno oscylować w granicach 6,5 m od przedmiotowych zrobów. Wyniki obliczeń są zbliżone do analiz wykonywanych w warunkach kopalń angielskich [13].

LITERATURA

- [1] *Chudek M.*: Geomechanika z podstawami ochrony środowiska górniczego i powierzchni terenu. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002
- [2] *Kushawa A., Banerjee G.*: Exploitation of Developed Coal Mine Pillars by Shortwall Mining – a Case Example. Int. Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences nr 42, 2005, pp. 127–136
- [3] *Majcherczyk T., Malkowski P.*: Wytężenie górotworu w rejonie zagrożonym spągowym wydzielaniem metanu. Przegląd Górniczy nr 10, 2005, s. 31–37
- [4] *Majcherczyk T., Malkowski P., Niedbalski Z.*: Badania nowych rozwiązań technologicznych w celu rozrzedzania obudowy podporowej w wyrobiskach korytarzowych, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2008
- [5] *Majcherczyk T., Szaszenko A., Sdwiżkowa E.*: Podstawy geomechaniki. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2006
- [6] *Majcherczyk T., Szlązak N.*: Określenie wpływu eksploatacji ścian B–11 i B–11a w pokładzie 348 na chodnik podstawowy 334/1, 334/2 na wschód poz. 420 i przekop E poz. 420 oraz określenie wpływu sąsiedztwa zrobów ścian B–13 i B–9 na chodniki przyścianowe ścian B–11 i B–11a dla KWK „Krupiński. Wydawnictwo SITG, Katowice 2010 (praca niepublikowana)
- [7] *Malkowski P.*: Wykorzystanie badań laboratoryjnych i kopalnianych do określania stałych warunku Hoek’a–Browna. Przegląd Górniczy nr 11, 2010, s. 4–52
- [8] *Prusek S.*: Ruchy górotworu w chodniku przyścianowym, utrzymywanym za frontem eksploatacji w obustronnym otoczeniu zrobów. XXVII Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu: Geotechnika i Budownictwo Specjalne 2004, Wydawnictwo Katedry Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki, Zakopane–Kraków 2004, s. 1001–1012
- [9] *Szlązak N., Obracaj D., Tor A., Jakubów A.*: Sposób profilaktyki i monitorowania zagrożenia pożarowego w ścianie eksploatowanej systemem podbierkowym. XXXVI Dni Techniki ROP’2010: Pożary podziemne — teoria i praktyka, Rybnik 20.10.2010. Instytut Eksploatacji Złóż WGiG, Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010, s. 129–144
- [10] *Whittles D.N., Lowndes I.S., Kingman S.W., Yates C., Jobling S.*: The Stability of Methane Capture Boreholes Around a Long Wall Coal Panel. International Journal of Coal Geology, no 71, 2007, pp. 313–328
- [11] *Wojtaszek A.*: Ocena obciążeń obudów wyrobisk górniczych z wykorzystaniem kryteriów Hoeka–Browna i Coulomba–Mohra. Prace Naukowe Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej nr 65, 1994, s. 269–280
- [12] *Yaşith N.E., Ünver B., Ceyhan M.M.*: Investigation of Rib Pillar Stability at Ömerler Underground Mine by Numerical Modelling. The 19th International Mining Conference and Fair in Turkey IMCET2005, 09–12 June 2005, Izmir, pp. 153–159
- [13] *Yavuz H., Fowell R.J.*: A Physical and Numerical Modelling Investigation of the Roadway Stability in Longwall Mining, with and without Narrow Pillar Protection. Mining Technology, Vol. 113, March 2004, pp. A59–A72