Seria GÓRNICTWO z.221

Mirosław CHUDEK, Stanisław DUŻY, Henryk KLETA Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej

WPŁYW STREFY USKOKOWEJ NA STATECZNOŚĆ WYROBISKA KORYTARZOWEGO W ŚWIETLE BADAŃ NA MODELACH NUMERYCZNYCH

<u>Streszczenie.</u> W artykule przedstawiono analizę wpływu strefy uskokowej na stan naprężenia w górotworze w aspekcie optymalizacji lokalizacji wyrobiska korytarzowego. Do przeprowadzenia analizy wykorzystano metodę elementów brzegowych. Wyniki analizy numerycznej przedstawiono w postaci map rozkładu naprężeń w rejonie uskoku.

INFLUENCE OF FAULT'S ZONE ON DOG HEADING'S STABILITY IN RESEARCH ON NUMERICAL MODELS

<u>Summary.</u> The article analises of the fault zone of the influence on the state of stress in rock mass in the aspect of optimization of dog heading location. Boundary Elements Method was used in the analysis. Results of this numerical analysis are presented in maps of the stress pattern in a fault region.

ВЛИЯНИЕ СБРОСНОЙ ЗОНЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ КОРИДОРНОЙ ВЫРАБОТКИ В СВЕТЕ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТОДОМ ЧИСЛИТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

<u>Резюме.</u> В работе представлено влияние сброса на величину и распределение напряжений в горном массиве с точки зренияоптимального расположения горной выработки. Для анализа использовано метод краевых элементов. Результаты расчета показано в виде карт распределения напряжений в зоне сброса.

1. WSTĘP

Dotychczasowe doświadczenia wskazują, że w rejonie zaburzeń tektonicznych, w tym również uskoków występuje koncentracja naprężeń powodująca trudności w utrzymaniu wyrobisk.

Wieloletnie badania prowadzone przez różnych autorów [1, 6, 7, 8, 9, 10, 11] wskazują, że występujące zwiększone naprężenia w rejonie uskoków swoją genezą sięgają czasów ruchów skorupy ziemskiej, które spowodowały powstanie uskoku. Teorie opisujące stan naprężenia [7, 8, 10] w otoczeniu uskoków wychodzą z założenia, że w momencie powstania uskoku w górotworze występował stan graniczny, który spowodował ścięcie warstw skalnych. Po wystąpieniu ścięcia w górotworze wystąpił stan, w którym naprężenia uległy zmniejszeniu w wyniku relaksacji. Rozkład i wielkość występujących w górotworze naprężeń tektonicznych miał decydujący wpływ na wielkość i rodzaj powstającego uskoku.

Określenie wielkości i rozkładu naprężeń w rejonie uskoku wiąże się bezpośrednio z modelem tego uskoku. W literaturze spotyka się najczęściej trzy sposoby uwzględniania uskoku w masywie skalnym, a mianowicie:

- występowanie w górotworze płaszczyzny nieciągłości, po której powstałe bloki tektoniczne mogą się swobodnie przemieszczać względem siebie,
- występowanie w górotworze płaszczyzny nieciągłości, po której powstałe bloki tektoniczne mogą się przemieszczać względem siebie, jednak siły powodujące ruch bloków masywu skalnego muszą pokonać siły tarcia występujące na płaszczyźnie uskoku,
- występowanie w masywie skalnym szczeliny o stosunkowo niedużej szerokości wypełnionej materiałem skalnym (lub niewypełnionej), usytuowanej w górotworze pod odpowiednim katem do pionu.

Zastosowanie odpowiedniego modelu uskoku pociąga za sobą przyjęcie odpowiednich założeń, które następnie decydują o wielkości i rozkładzie naprężeń w bezpośrednim sąsiedztwie uskoku. Określenie wielkości i rozkładu naprężeń w rejonie uskoku jest zagadnieniem niezmiernie złożonym i trudnym do opisu za pomocą formuł matematycznych. Istniejące rozwiązania analityczne [7], obejmujące zagadnienie określania wpływu uskoku na wielkość i rozkład naprężeń w górotworze, oparte są na podstawowych równaniach teorii sprężystości dla płaskiego stanu naprężenia. Możliwe jest rozwiązanie układu płaskiego odwzorowującego przekrój pionowy górotworu jednorodnego i izotropowego, prostopadłego do uskoku.

Biorąc powyższe pod uwagę, można stwierdzić, że o wiele bardziej efektywne okazuje się wykorzystanie metod numerycznych do określania rozkładów naprężeń w otoczeniu stref uskokowych w aspekcie oceny warunków lokalizacji i stateczności wyrobisk korytarzowych.

2. CHARAKTERYSTYKA MODELI NUMERYCZNYCH GÓROTWORU W OBRĘBIE STREFY USKOKOWEJ

Do określenia naprężeń w rejonie oddziaływania modelowanego uskoku wykorzystano metodę elementów brzegowych.

Metoda ta opisująca modelowany ośrodek za pomocą małych, regularnych elementów o dowolnej ilości stopni swobody pozwala na odwzorowanie ośrodka niejednorodnego, charakteryzującego się zróżnicowanymi własnościami fizycznymi i mechanicznymi, jak również pozwala na uwzględnienie siły ciężkości.

Do analizy wpływu uskoku na wielkość i rozkład naprężeń w jego rejonie przyjęto płaski model górotworu zbudowanego z warstw o zmiennych własnościach fizyko - mechanicznych, poddanego oddziaływaniu sił ciężkości, oraz złokalizowane w nim uskoki o dwóch modelach współpracy bloków tektonicznych na płaszczyźnie poślizgu uskoku, a mianowicie:

Model I - oparty na założeniu, że w górotworze istnieje płaszczyzna nieciągłości, po której może odbywać się poślizg warstw skalnych. W płaszczyźnie poślizgu (nieciągłości) ruch może odbywać się bez tarcia.

Model II - oparto na założeniu, że w górotworze istnieje plaszczyzna nieciągłości, po której może odbywać się poślizg warstw skalnych. W plaszczyźnie poślizgu (nieciągłości) ruch może odbywać się po pokonaniu sił tarcia występujących na płaszczyźnie poślizgu w wyniku działania naprężeń stycznych.

Dla przyjętych modeli uskoku zbudowano model geometryczny górotworu i przeprowadzono obliczenia numeryczne, które przyjęto za podstawę do określenia zasięgu koncentracji naprężeń w rejonie uskoku.

Górotwór w rejonie modelowanym zbudowany jest przez warstwy wykształcone jako grube warstwy piaskowca przedzielane cieńszymi warstwami łupku ilastego i warstwami węgla. Założono, że modelowane wyrobisko korytarzowe w analizowanym rejonie zalega na głębokości około 500 m.

1.

Do obliczeń numerycznych przyjęto bryłę górotworu o wymiarach 400 m (w poziomie) oraz 170 m (w pionie) zbudowaną z warstw górotworu o własnościach odpowiadających poszczególnym warstwom przyjętym z profilu geologicznego górotworu w analizowanym rejonie. W środkowej części modelu (odnosząc się do wymiaru pionowego przyjętej bryły górotworu) zlokalizowano pokład węgla o grubości około 6.0 m.

W stropie tego pokładu zalegały warstwy łupku ilastego o grubości 1.80 m, węgla o grubości 0.70 m, łupku ilastego o grubości 0.40 m, piaskowca o grubości 0.60 m, łupku ilastego o grubości 0.80 m, węgla o grubości 0.20 m, piaskowca o grubości 11.9 m, łupku ilastego o grubości 7.1 m, piaskowca o grubości 14.4 m.

Przedstawiony powyżej pakiet skał zalegających bezpośrednio nad pokładem węgla posiada grubość 37.90 m. Powyżej tego pakietu przyjęto warstwę o grubości około 20 m posiadającą własności fizyko-mechaniczne przyjęte jako średnio ważone z własności skal zalegających w tej części profilu litologicznego górotworu w analizowanym rejonie.

W spągu pokładu zalegały warstwy piaskowca o grubości 9.00 m, łupku ilastego o grubości 3.80 m, węgla o grubości 0.80 m, piaskowca o grubości 0.80 m, łupku ilastego o grubości 12.80 m, węgla o grubości 0.6 m.

Pakiet skał zalegających bezpośrednio pod pokładem węgla posiada grubość około 27.80 m. Poniżej tego pakietu warstw skalnych przyjęto warstwę o grubości około 90 m posiadającą własności fizyko-mechaniczne przyjęte jako średnio ważone z własności skał zalegających w tej części profilu litologicznego górotworu w analizowanym rejonie.

Do obliczeń przyjęto następujące wartości własności mechanicznych dla poszczególnych rodzajów skał:

piaskowiec
wytrzymałość na ściskanie - 60 MPa, moduł sprężystości podłużnej - 12 GPa, współczynnik Poissona - 0.22, kąt tarcia wewnętrznego - 32°, ciężar objętościowy skał - 0.022 MN/m3,
łupek ilasty
wytrzymałość na ściskanie - 38 MPa, moduł sprężystości podłużnej - 8.1 GPa, współczynnik Poissona - 0.27, kąt tarcia wewnętrznego - 30°,

ciężar objętościowy skał - 0.025 MN/m3,

węgiel

wytrzymałość na ściskanie - 25 MPa,

moduł sprężystości podłużnej - 2.5 GPa,

współczynnik Poissona - 0.35,

kat tarcia wewnętrznego - 26°,

ciężar objętościowy skał - 0.012 MN/m3.

W środkowej części modelu (w odniesieniu do wymiaru poziomego modelowanej bryły górotworu) zlokalizowano uskok. Parametry modelowanego uskoku przedstawiają się następująco:

- wysokość zrzutu uskoku - 10 m,

- kat nachylenia płaszczyzny zrzutu uskoku - 62°.

Opierając się na tych danych zbudowano dwa modele numeryczne górotworu, a mianowicie: Model I - z płaszczyzną nieciągłości, po której może odbywać się poślizg warstw skalnych bez tarcia (na płaszczyźnie poślizgu nie działają naprężenia styczne) (rys. 1),

Model II - z płaszczyzną nieciągłości, po której może odbywać się poślizg warstw skalnych po pokonaniu sił tarcia występujących na płaszczyźnie poślizgu w wyniku działania naprężeń stycznych (rys. 2).



Rys.1. Model geometryczny strefy uskokowej wraz z rodzajem warstw - model I Fig.1. Geometrical model of fault zone with kinds of strata - model I



Rys.2. Model geometryczny strefy uskokowej wraz z rodzajem warstw - model II Fig.2. Geometrical model of fault zone with kinds of strata - model II

3. ROZKŁADY NAPRĘŻEŃ I WYTĘŻENIE GÓROTWORU W REJONIE USKOKU

Obliczenia wykonane przy użyciu programu BEASSY opartego na metodzie elementów brzegowych objęły:

- przemieszczenie poziome,
- przemieszczenie pionowe,
- naprężenie poziome w kierunku osi x,
- naprężenie pionowe w kierunku osi y,
- naprężenie ścinające,
- naprężenie maksymalne w kierunku głównym,
- naprężenie minimalne w kierunku głównym,
- naprężenie średnie w kierunku głównym,
- naprężenie zredukowane wg Missesa,
- naprężenie zredukowane wg Tresca.



Rys.3. Rozkład naprężeń poziomych w rejonie strefy uskokowej - model I Fig.3. Distribution of horizontal stresses in fault zone region - model I



Rys.4. Rozkład naprężeń poziomych w rejonie strefy uskokowej - model II Fig.4. Distribution of horizontal stresses in fault zone region - model II

Obliczenia wielkości i rozkładu naprężeń oraz stopnia wytężenia górotworu w rejonie modelowanego uskoku przeprowadzono dwuetapowo, a mianowicie:

etap I - obejmował obliczenia naprężeń i przemieszczeń dla calej zamodelowanej bryły

górotworu w rejonie uskoku,

etap II- obejmował obliczenia koncentracji naprężeń pionowych, koncentracji naprężeń poziomych oraz wytężenia skał w określonym w etapie I obliczeń polu.

Przeprowadzone obliczenia dla modelu I wykazały, że gdyby w górotworze występowały nieciagłości w postaci płaszczyzn poślizgu, po których bloki skalne przemieszczałyby się względem siebie bez występowania sił tarcia, zasięg oddziaływania takich dyslokacji byłby znaczny.





Rozważając wpływ uskoku o modelu I na rozkład naprężeń poziomych (rys. 5) można stwierdzić, że w skrzydłe zrzuconym zasięg koncentracji naprężeń poziomych jest znaczny i wynosi nawet do 100 m, przy czym koncentracja naprężeń w wyniku oddziaływania uskoku, powodująca działanie naprężeń poziomych większych od naprężeń poziomych - pierwotnych o ponad 30% generalnie występuje w odległości mniejszej niż 30 m od uskoku, zaś na odcinku w odległości od uskoku od około 20 m do około 100 m występuje koncentracja naprężeń poziomych nie przekraczająca 20 - 30%.

Wpływ uskoku o modelu I na zmianę rozkładu i wielkości naprężeń pionowych ma inny

charakter niż w przypadku naprężeń poziomych. W tym przypadku w bezpośrednim sąsiedztwie uskoku, w wyniku oddziaływania poślizgu odbywającego się bez tarcia, występuje nieznaczne odprężenie, które sięga na odległość około 20 - 25 m od uskoku. Na odcinku bardziej oddalonym od uskoku nie obserwuje się większych zmian naprężeń pionowych w stosunku do naprężeń pionowych - pierwotnych w górotworze nienaruszonym.

Przeprowadzone obliczenia dla modelu II wykazały, że gdyby w górotworze występowały nieciągłości w postaci płaszczyzn poślizgu, po których bloki skalne przemieszczałyby się względem siebie i występowały na nich siły tarcia, zasięg oddziaływania takich dyslokacji byłby mniejszy niż w modelu I uskoku.

Rozważając wpływ uskoku o modelu II na rozkład naprężeń poziomych można stwierdzić, że w skrzydle zrzuconym zasięg koncentracji naprężeń poziomych jest dość znaczny i wynosi od 30 m do 40 m, przy czym koncentracja naprężeń w wyniku oddziaływania uskoku, powodująca działanie naprężeń poziomych większych od naprężeń poziomych - pierwotnych o ponad 30% generalnie występuje w odległości mniejszej niż 30 m od uskoku, zaś na odcinku w odległości od uskoku od około 20 m do około 40 m występuje koncentracja naprężeń poziomych nie przekraczająca 20 - 30%.

Wpływ uskoku o modelu II na zmianę rozkładu i wielkości naprężeń pionowych ma inny charakter niż w przypadku naprężeń poziomych. W tym przypadku w bezpośrednim sąsiedztwie uskoku w skrzydle zrzuconym, w wyniku oddziaływania poślizgu odbywającego się po pokonaniu sił tarcia, występuje nieznaczne odprężenie, które sięga na odległość około 80 m od uskoku, zaś w skrzydle wiszącym występuje koncentracja naprężeń pionowych przekraczająca naprężenia pionowe w górotworze nienaruszonym. Na odcinku bardziej oddalonym od uskoku nie obserwuje się większych zmian naprężeń pionowych w stosunku do naprężeń pionowych - pierwotnych w górotworze nienaruszonym.

Podsumowując analizę wyników obliczeń, można stwierdzić, że występowanie uskoku w górotworze w znacznym stopniu oddziałuje na rozkład i wielkość naprężeń poziomych, zaś w znacznie mniejszym stopniu wpływa na zmianę rozkładu i wielkości naprężeń pionowych.

W celu lepszego zobrazowania wyników obliczeń koncentrację naprężeń pionowych wyrażono współczynnikiem koncentracji naprężeń pionowych będących stosunkiem obliczonych naprężeń pionowych w danym punkcie zależnych zarówno od głębokości, jak i oddziaływania uskoku do naprężeń pionowych - pierwotnych wynikających tylko z głębokości zalegania analizowanego horyzontu. Koncentrację naprężeń poziomych wyrażono współczynnikiem koncentracji naprężeń poziomych będących stosunkiem obliczonych naprężeń poziomych w danym punkcie zależnych zarówno od głębokości, jak i oddziaływania uskoku do naprężeń poziomych - pierwotnych wynikających tylko z głębokości zalegania analizowanego horyzontu.

Koncentracja naprężeń występuje w przypadku, gdy współczynnik koncentracji naprężeń osiągnie wartość przekraczającą 1, zaś odprężenie wystąpi, gdy współczynnik koncentracji naprężeń osiągnie wartość mniejszą od 1.

Wytężenie materiału wyrażono przez stosunek naprężeń zredukowanych do wytrzymałości skał na ściskanie. Materiał znajdzie się poza stanem granicznym w przypadku, gdy wytężenie osiągnie wartość przekraczającą 1.

Obliczony rozkład koncentracji naprężeń pionowych w obrębie obszaru możliwej lokalizacji projektowanego chodnika przy przyjęciu modelu I uskoku wskazuje, że w odległości około 30 m od uskoku naprężenia pionowe odpowiadają co do wielkości naprężeniom pierwotnym.

Analiza koncentracji naprężeń poziomych dla modelu I uskoku wskazuje, że w odległości około 30 m od uskoku naprężenia poziome uległy powiększeniu o około 30%, zaś w rejonie stropu wyrobiska lokalnie nawet do 40%.

W przypadku modelu II w obrębie obszaru możliwej lokalizacji projektowanego chodnika wyniki obliczeń wskazują, że w odległości około 30 m od uskoku naprężenia pionowe odpowiadają co do wielkości naprężeniom pierwotnym, a naprężenia poziome uległy powiększeniu o około 20%, zaś w rejonie stropu wyrobiska lokalnie nawet do 30%.

4. PODSUMOWANIE

Stateczność wyrobisk korytarzowych zlokalizowanych w sąsiedztwie uskoków zależy od wielu czynników. Do najbardziej istotnych zaliczyć należy:

- charakterystykę zachowania się uskoku w czasie, szczególnie w czasie prowadzenia robót eksploatacyjnych,
- głębokość i związane z nią naprężenia pionowe i poziome, zaszłości eksploatacyjne nad i pod projektowaną eksploatacją, wielkości przemieszczeń płaszczyzn uskokowych względem siebie i związane z nimi siły tarcia, wielkość i kierunek zrzutu, sztywność warstw skalnych

masywu w otoczeniu szczeliny uskokowej oraz rodzaj szczeliny uskokowej,

- zakres i skłonność skał masywu do wyciskania spągu w wyrobisku chodnikowym.

- konstrukcja i podporność obudowy.

Niekorzystne oddziaływanie uskoku na chodnik wyraża się zwiększonymi naprężeniami w jego otoczeniu, co bezpośrednio rzutuje na wymaganą, bezpieczną odległość projektowanego chodnika od uskoku.

W oparciu o analizę wyników obliczeń numerycznych można stwierdzić, że występowanie uskoku w górotworze w znacznym stopniu oddziałuje na rozkład i wielkość naprężeń poziomych, zaś w znacznie mniejszym stopniu wpływa na zmianę rozkładu i wielkości naprężeń pionowych.

Rozkład koncentracji naprężeń poziomych w obrębie obszaru możliwej lokalizacji projektowanego chodnika przy przyjęciu zarówno modelu I, jak i modelu II uskoku wskazuje, że w odległości około 30 m od uskoku naprężenia poziome uległy powiększeniu maksymalnie o około 30%, zaś w rejonie stropu wyrobiska lokalnie nawet do 40%.

LITERATURA

- [1] Chudek M.: Mechanika górotworu. Skrypt Pol. Śl., Gliwice 1981.
- [2] Chudek M.: Zachowanie się skal stropowych nad wyrobiskiem ścianowym w świetle badań modelowych. ZN Pol. Śl., seria Górnictwo, Gliwice 1968.
- [3] Chudek M., Flisiak D., Kłeczek Z., Zorychta A.: Geomechanical phenomena a companying underground mining. Materiały XV World Mining Congress. Madryt 1992.
- [4] Chudek M., Pach A., Olaszowski W.: Wpływ ściśliwości zawału na warunki eksploatacji w pokładach podebranych. Przegląd Górniczy nr 12, 1969.
- [5] Chudek M., Staroń T.: Współczynnik rozluzowania skał towarzyszących pokładom węgla w świetle badań laboratoryjnych. ZN Pol. Śl., seria Górnictwo, z. 35, Gliwice 1969.
- [6] Filcek H., Kłeczek Z., Zorychta A.: Poglądy i rozwiązania dotyczące tąpań w kopalniach wegla kamiennego. ZN AGH, Górnictwo nr 123, Kraków, 1984.
- [7] Gil H.: Wpływ uskoku na możliwość wystąpienia tąpnięcia w jego sąsiedztwie. ZN Pol. Śl. seria Górnictwo, z. 70, Gliwice 1970.
- [8] Goszcz H.: Wpływ naprężeń tektonicznych na niektóre własności skał i warunki górnicze

w północno - wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. ZN AGH, Geologia nr 4, Kraków 1964.

- [9] Jóźkiewicz S.: Rozkład przemieszczeń i naprężeń w sąsiedztwie jednego uskoku normalnego. Archiwum Górnictwa, nr 4, 1964.
- [10] Marcak H.: Geofizyczne modele rozwoju procesu niszczenia górotworu poprzedzające tapnięcia i wstrząsy w kopalniach. Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M-6, 1985.
- [11] Michalski A.: Ocena zagrożenia tąpaniami przy zbliżaniu się ściany zawałowej do uskoku. Przegląd Górniczy, nr 9, 1977.
- [12] Podgórski K., Kleta H.: Określenie stanu naprężenia w masywie skalnym przy uwzględnieniu ruchów górotwórczych. ZN Pol. Śl., seria Górnictwo, z. 107, Gliwice 1980.

Recenzent : Prof. dr hab. inż. Antoni KIDYBIŃSKI

Wpłynęło do Redakcji w czerwcu 1994 r.

Abstract

Experience gathered so far indicates that in the region of tectonic disturbances, including hitches, there occurs a concentration of stresses which makes it difficult to keep up the headings.

The determination of the degree and distribution of these stresses in the region of fault is extremely complicated and difficult to be described by means of mathematical formulae. The obtained analytical solutions, comprising the determination of the effect of a fault upon the degree and distribution of stresses in the orogen, are based on fundamental equations of the theory of elasticity for a flat state of stress. Thus it is possible to solve a flat system representing a vertical cross-section of a homogeneous and isotropic orogen, situated perpendicularly to the fault.

In order to determine stresses in the region of the interaction of a model fault, the method of boundary elements has been applied.

Wpływ strefy uskokowej

Analysing the influence of faults on the degree and distribution of stresses in its area, use has been made of a flat model of the orogen consisting of strata with varying physico-mechanical properties, subjected to the effect of the forces of gravity, as well as faults, localised there, with two models of the cooperation of tectonic blocks in the slip plane of the fault, viz. : Model I - is based on the assumption that the orogen contains a plane of discontinuity, along

which the layers of rock can slide without friction.

Model II - is based on the assumption that the orogen contains a plane of discontinuity, along which the layers of rock can slide, after having overcome the friction forces occurring in the slip plane due to the existence of tangential forces.

For these models of faults a geometrical model of the orogen has been constructed and numerical calculations have been carried out.

These were assumed to form the basis for the determination of the range of stress concentrations within the area of a fault.

Basing on the analysis of the results of calculations it may be said that the occurrence of a fault in the orogen considerably affects the distribution and degree of horizontal stresses, much less, however, the distribution and degree of vertical stresses.

The distribution of horizontal stress concentrations in the area of the possible localization of a designed heading - both in the case of accepting model I and model II, indicates that at a distance of about 30 m trom the fault the horizontal stresses increased by about 30 %, and adjacent to the roof of the heading locally even by up to 40%.