

Józef MARKOWICZ

Instytut Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej

## MODELOWANIE WSPÓŁPRACY STROPNICY OBU- DOWY ZMECHANIZOWANEJ ZE STROPEM

**Streszczenie.** W artykule przeanalizowano współpracę stropnicy obudowy zmechanizowanej z górotworem opierając się na modelowaniu metodą elementów skończonych.

Omówiono wpływ podporności obudowy na utrzymanie wyrobiska oraz sformułowano kryteria poprawnej współpracy obudowy z górotworem. Zagadnienie współpracy obudowy z górotworem zamodelowano jako zadanie w płaskim stanie odkształcenia. Obliczenia wykonano dla modelu z dosuniętą stropnicą do czoła ściany oraz dla modelu z pozostawioną nie zabudowaną ścieżką kombajnową. Zamieszczono rysunki ilustrujące przykładowe rozkłady naprężeń i przemieszczeń.

## MODELLING OF A SHIELD SUPPORT AND A ROOF COOPERATION

**Summary.** A cooperation between a canopy of a shield support and a rock massif was analyzed in the paper basing on a finite elements method.

The influence of a shield load on working upkeep was discussed and criteria of a proper shield support and rock mass cooperation were formulated. The canopy and rock mass cooperation was modeled as a plane state of strain problem. Calculations were carried out for the section pulled close to the breast wall and for exposed roof over the mechanical

miner path. Figures illustrating examples of strain and stress distributions are given in the paper.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЕРХНЯКА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ С КРОВЛЕЙ

**Резюме.** В статье проанализирована проблема взаимодействия верхняка механизированной крепи с горным массивом при помощи метода конечных элементов.

Показано влияние опорности крепи на поддержание выработки и сформулировано критерий правильной совместной работы крепи с горным массивом. Проблема взаимодействия крепи с горным массивом моделировалась как задача в плоском состоянии деформации. Расчеты сделаны для модели с верхняком, придвинутым к фронту забоя лавы, и для модели с незакрепленной комбайновой дорожкой. Даются рисунки, иллюстрирующие примерные распределения напряжений и смещений.

### 1. WSTĘP

W zagadnieniach współpracy obudowy zmechanizowanej ze stropem wyrobiska najistotniejsze znaczenie ma dobór optymalnej podporności obudowy. Obudowa o właściwie dobranej podporności powinna przeciwstawiać się aktywnemu działaniu skał stropowych, zapewniając jednocześnie właściwie utrzymanie wyrobiska. Dobre utrzymanie wyrobiska ścianowego występuje wówczas, gdy podporność obudowy jest tak dobrana, aby stan naprężenia w stropie nie powodował nadmiernych spękań skał stropowych bezpośrednio nad czołem ściany. Spękania te powinny występować za stropnicą obudowy, co w znaczny sposób ułatwia przechodzenie skał stropowych w zawał i tworzenie się właściwych zrobów. Dobremu utrzymaniu wyrobiska sprzyja więc: równomierny rozkład podporności na powierzchni stropu, brak działania sił skupionych działających na strop oraz jak najmniejsza liczba cykli obciążania i odciążania stropu w czasie przechodzenia przez określony odcinek wzdłuż wybiegu ściany. Jednocześnie celem ograniczenia konwergencji stropu podporność obudowy nie może być mniejsza od pewnej wartości minimalnej określonej dla danego typu stropu.

Dotychczasowe prace wykorzystujące metodę elementów skończonych w modelowaniu współpracy spągnicy obudowy zmechanizowanej ze spągiem [6; 7] wykazały, że drogą tą można przybliżyć model teoretyczny do rzeczywistości z uwzględnieniem różnych własności skał górotworu oraz wielowariantowych obciążeń. Poniżej opierając się na kryteriach poprawnej współpracy stropnicy obudowy zmechanizowanej ze stropem przedstawiono wybrane zagadnienia związane z modelowaniem współpracy stropnicy sekcji obudowy zmechanizowanej FAZOS 12/28 Oz ze stropem typu IV O.

## 2. WPŁYW PODPORNOŚCI OBUDOWY NA UTRZYMANIE WYROBISKA

A. Kidybiński w pracy [5] wyróżnia trzy podstawowe przyczyny niszczenia stropu przez obudowę ścianową:

- zbyt duży nacisk jednostkowy obudowy przekraczający wytrzymałość skał stropowych na ściskanie,
- zbyt duża podatność obudowy względem stropu, dopuszczająca do powstawania dużego osiadania i rozluźniania skał i przez to utratę ich samonośności,
- wielokrotne cykle podpierania i luzowania stropu przez obudowę zmechanizowaną: tzw. tratowania stropu, powodujące dodatkowe spękanie i rozluźnienie skał stropu bezpośredniego.

Przy wysokiej podporności obudowy w tylnej części stropnicy występuje strefa dużych zmian naprężeń w stropie, co ułatwia i przyspiesza załamywanie się skał do zawału i zapobiega zawisaniu stropu w zrobach. Z drugiej jednak strony bardzo wysokie naciski jednostkowe występujące między stropem a stropnicą powodują dodatkowe jego spękania, co z kolei utrudnia jego właściwe utrzymanie. Przeprowadzone badania wykazały, że resztkowa wytrzymałość spękanych skał stropu bezpośredniego stanowi zaledwie około 10% wytrzymałości próbki materiału skalnego [5].

Reasumując można stwierdzić, że zbyt wysoka podporność obudowy może doprowadzić do niszczenia skał stropowych, natomiast zbyt mała wywołuje dużą konwergencję stropu, znaczne jego rozluźnienie i utratę samonośności.

### 3. KRYTERIA POPRAWNEJ WSPÓLPRACY STROPNICY OBUDOWY ZMECHANIZOWANEJ ZE STROPEM

Modelowanie współpracy stropnicy obudowy zmechanizowanej ze stropem metodą elementów skończonych umożliwia wyznaczenie stanu naprężenia oraz stanu odkształcenia w obrębie całego modelu. Możliwe jest więc między innymi wyznaczenie: rozkładu nacisków pomiędzy stropnicą a stropem, przemieszczeń całego modelu górotworu, a więc stropu, pokładu i spągu oraz pełnego stanu naprężenia w całym modelu. Obszerny zestaw wyników obliczeń umożliwia precyzyjne przeanalizowanie zachowania się całego modelu w określonych warunkach obciążeń.

Biorąc pod uwagę rozważania przedstawiono w rozdz. 2 oraz uwarunkowania wynikające ze sposobu modelowania, sformuowano następujące kryteria poprawnej współpracy modelu stropnicy obudowy zmechanizowanej z modelem stropu [5]:

1. Maksymalne naciski występujące na styku stropnica - strop nie powinny przekraczać wartości dopuszczalnych naprężeń na ściskanie dla skał tworzących strop bezpośredni wyrobiska.

2. Maksymalne naprężenia rozciągające występujące w bryle stropu bezpośredniego nad czołem ściany nie powinny przekraczać wytrzymałości tych skał na rozciąganie przy zginaniu.

3. Konwergencja stropu nie powinna przekraczać wartości dopuszczalnej, po przekroczeniu której gwałtownie wzrasta prędkość osiadania stropu i następuje rozluźnienie skał stropowych.

4. W przypadku występowania w bryle stropu bezpośredniego pionowych naprężeń rozciągających, wartość tych naprężeń powinna być mniejsza od oporu rozwarstwienia  $R_{rr}$  (oporu odspojenia przeciw sile ciężkości) dla danego typu skał stropowych.

### 4. MODELOWANIE

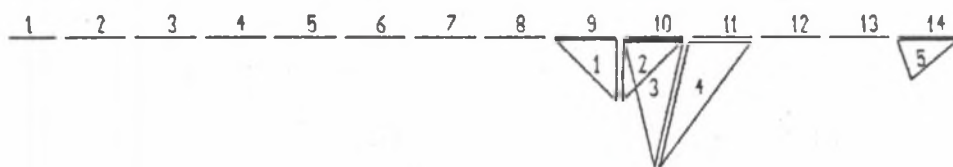
Analizując obiekt rzeczywisty w postaci wyrobiska ścianowego i jego usytuowanie w górotworze oraz możliwości jego zamodelowania stwierdzono, że:

- model przedstawiający współpracę stropnicy obudowy zmechanizowanej z górotworem powinien możliwie dokładnie odzwierciedlać warunki górnictwo-geologiczne występujące w analizowanym wyrobisku ścianowym, gdyż na podstawie tych

danych należy przyjąć kształt i wymiary bryły stropu bezpośredniego obciążającego stropnicę oraz obciążenia pochodzące od stropu geometrycznie ciągłego,

- w przypadku wyrobisk ścianowych, odkształcenia i przemieszczenia górotworu są identyczne (dotyczy to skał makro, z wyłączeniem warunków brzegowych występujących w rejonie chodników przyścianowych) we wszystkich płaszczyznach prostopadłych do spągu i czoła ściany.

Biorąc powyższe pod uwagę oraz możliwości skomplikowania modelu w ramach dostępnego programu metody elementów skończonych stwierdzono, że optymalnie będzie zamodelować obiekt jako zadanie rozwiązywanie w płaskim stanie odkształcenia. Model taki najwierniej oddaje stan odkształcenia i naprężenia występujący w obrębie wyrobiska ścianowego.



Rys.1. Model stropnicy  
Fig. 1. A model of a canopy

Stropnicę obudowy zamodelowano elementami belkowymi oraz tarczowymi (rys.1).

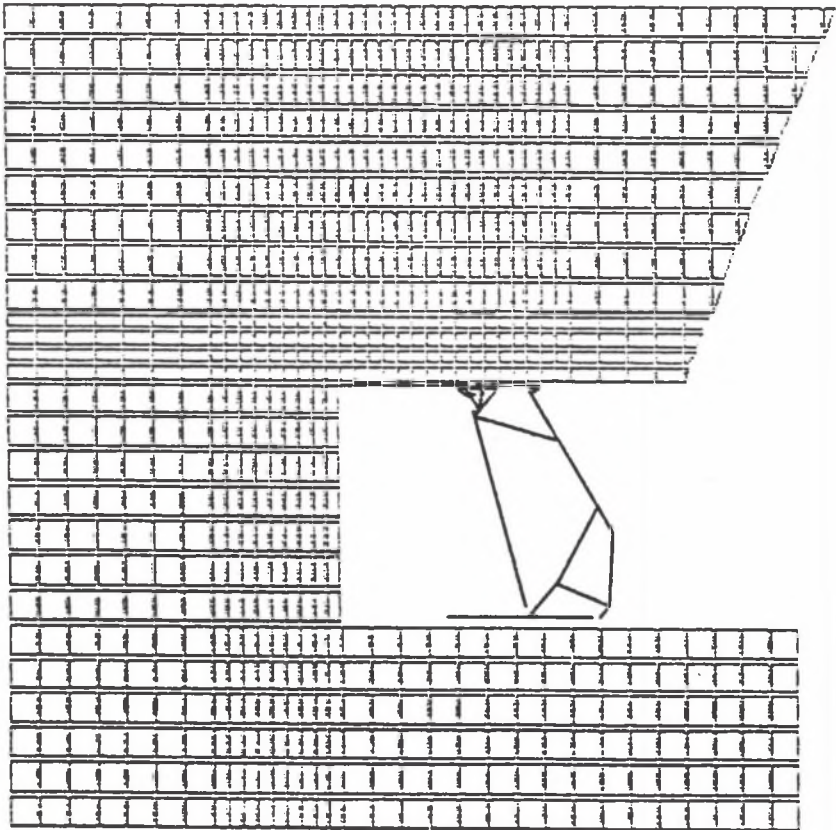
Doświadczenia nabyte przy modelowaniu współpracy spągnicy ze spągim [6; 7] wskazały na konieczność budowy w miarę uniwersalnego modelu, uwzględniającego np. możliwość przenoszenia obciążeń niekoniecznie przez całą powierzchnię stropnicy. Obserwacje dołowe pokazują, że zjawiska takie występują w przypadku lokalnych odspojień skał stropu bezpośredniego lub lokalnych znacznych ugięć (np. w bezpośredniej bliskości czoła ściany). Na etapie modelowania założono, że nacisk stropu na stropnicę przekazywany jest poprzez dodatkowe elementy prętowe. Elementy te można usunąć w przypadku stwierdzenia współpracy stropnicy przy niepełnym kontakcie ze stropem.

W modelu stropnicy wprowadzono następujące więzy:

- we wszystkich węzłach modelujących elementy belkowe odebrano przemieszczenia wzdłuż osi  $x$  (prostopadłej do płaszczyzny rysunku) oraz obroty względem osi leżących w płaszczyźnie rysunku - poziomej  $y$  i pionowej  $z$ ,
- w pozostałych węzłach odebrano przemieszczenia wzdłuż osi  $x$  oraz wszystkie obroty względem osi  $x$ ,  $y$  i  $z$ .



Zasadniczym problemem przy modelowaniu górotworu jest określenie kształtu bryły stropu bezpośredniego obciążającego stropnicę obudowy zmechanizowanej oraz obciążen tej bryły pochodzących od stropu geometrycznie ciągłego.



Rys. 2. Model górotworu i sekcji obudowy  
Fig. 2. A model of a rock mass and support unit

Badania przeprowadzone przez A. Bilińskiego umożliwiły określenie kształtu bryły stropowej, której ciężarem obciążona jest obudowa wyrobiska ścianowego. Kształt tej bryły zależy od typu stropu oraz rodzaju stosowanej obudowy [1; 2; 3; 4; 5]. Dla stropu typu IV O bryła ta ma wysokość równą półtej wysokości pokładu, a jej rozpiętość nad stropnicą licząc od czoła ściany do miejsca przejścia w zawał wynosi 5 m. Bryła ta po

przedłużeniu nad pokład, obciążona jest nad pokładem ciśnieniem pionowym wynikającym z rozkładu ciśnienia w górotworze przed frontem eksploatacji [5], natomiast w części przechodzącej w zawał obciążenie zbliżone jest do nacisku na zawał stropu zasadniczego i geometrycznie ciągłego [3]. Założono, że zmiana obciążenia tej bryły ciśnieniem stropu geometrycznie ciągłego następuje liniowo nad stropnicą obudowy.

Kompletny model obliczeniowy z zaznaczeniem elementów górotworu i sekcji obudowy pokazano na rys. 2.

W modelu górotworu wprowadzono następujące więzy:

- we wszystkich węzłach odebrano przemieszczenia wzdłuż osi  $x$  (prostopadłej do płaszczyzny rysunku) oraz obroty względem osi  $x$ ,  $y$  i  $z$ ,
- w skrajnych węzłach modelujących górotwór z lewej strony odebrano przemieszczenia wzdłuż poziomej osi  $y$ ,
- w węzłach ograniczających model górotworu od dołu odebrano przemieszczenia wzdłuż pionowej osi  $z$ .

Analizując problem współpracy stropnicy ze stropem celowe wydaje się uwzględnienie wpływu różnych czynników na rozkład obciążenia działającego na stropnicę. Dlatego też jako oddzielne warianty obciążenia potraktowano:

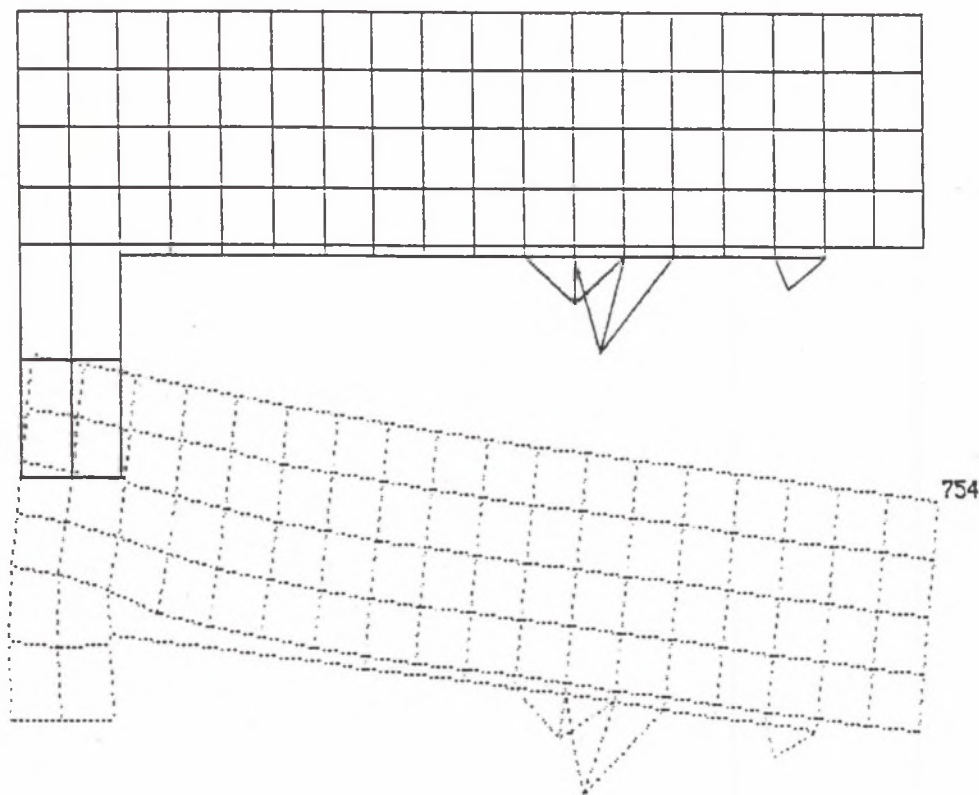
- obciążenie ciężarem własnym bryły górotworu bezpośredniego,
- obciążenie bryły stropu bezpośredniego naciskiem wywieranym przez strop geometrycznie ciągły,
- obciążenie siłą w stojaku hydraulicznym,
- obciążenie siłą występującą w podporze stropnicy,
- obciążenie siłą występującą w przegubie łączącym stropnicę z ostoną.

Suma wszystkich wariantów obciążeń odpowiada obciążeniu stropnicy przy podporności roboczej sekcji. Obliczenia wykonano zakładając różne wartości podporności sekcji w zakresie od podporności wstępnej do podporności roboczej.

## 5. ANALIZA PRZEMIESZCZEŃ I NAPRĘŻEŃ WYSTĘPUJĄCYCH W MODELU

Konieczność bieżącej weryfikacji modelu wystąpiła już na pierwszym etapie obliczeń. Wstępnie założono, że na całej powierzchni styku stropnicy ze stropem występują więzy dwustronne. Przeprowadzone na tym etapie obliczenia wykazały, że największe odkształcenia stropu występują bezpośrednio przed czołem ściany. Z uwagi na znaczną sztywność, stropnica nie odkształca się tak, jak strop. Przy założeniu więzów dwustronnych ("przyklejenie stropnicy do stropu"), objawia to się tym, że elementy stropu na odcinku, gdzie w rzeczywistości nie ma styku ze stropem, są rozciągane. W rzeczywistości pomiędzy stropnicą a stropem występują więzy jednostronne, z tego też

względu na dalszych etapach prowadzono obliczenia zakładając niezależność przemieszczeń w kolejnych węzłach stropnicy i stropu. Praktycznie realizowano to usuwając kolejno dodatkowe elementy prętowe leżące na styku pomiędzy stropnicą a stropem. Stan odkształcenia stropnicy i stropu w znacznym powiększeniu pokazano na rys. 3, natomiast rozkład nacisków pomiędzy tymi elementami przedstawiono na rys. 4.



Rys.3. Przemieszczenia na styku stropnicy ze stropem  
Fig.3. Displacements of the contact surface between a roof and a canopy

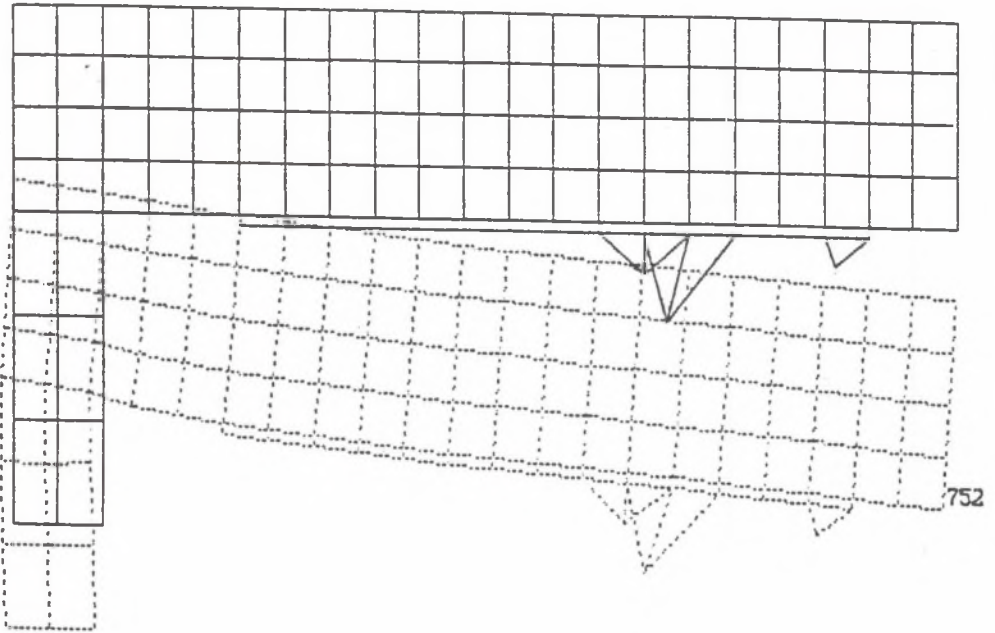
Tak więc przy dosunięciu stropnicy do czoła ściany i pracy sekcji na podpórności roboczej, przednia część stropnicy nie jest dociskana do stropu. W przypadku stropu bezpośredniego typu IV O (piaskowiec drobnoziarnisty) długość tego odcinka może dochodzić nawet do 1,0 m.



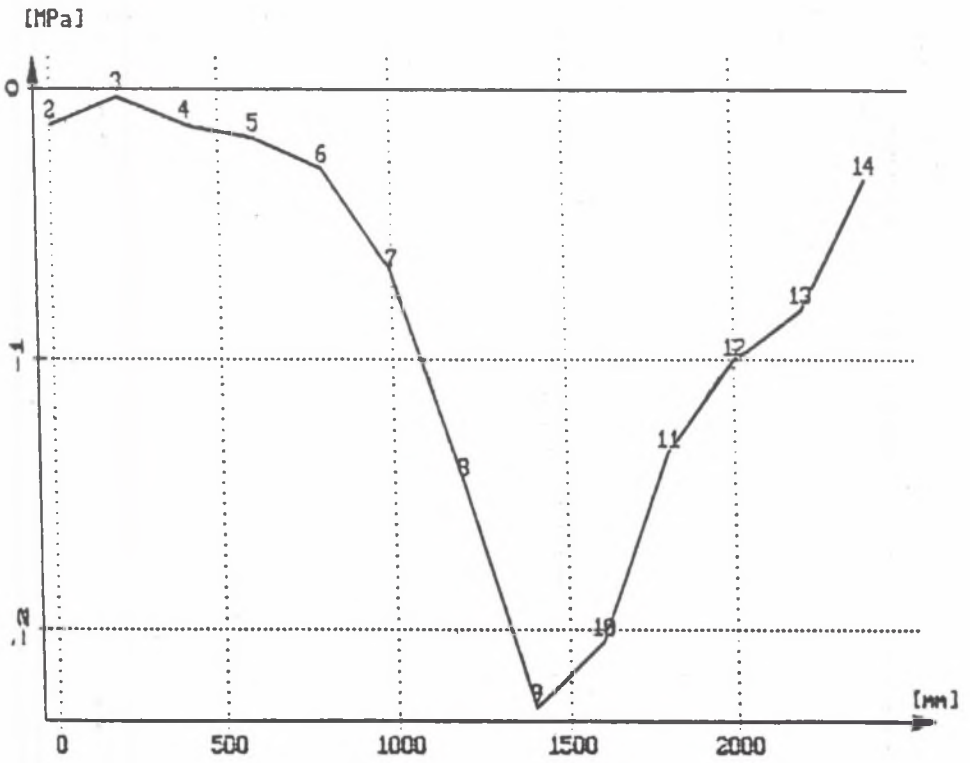


Rys. 4. Rozkład nacisków pomiędzy stropnicą a stropem  
 Fig. 4. A unit pressure distribution between a roof and a canopy

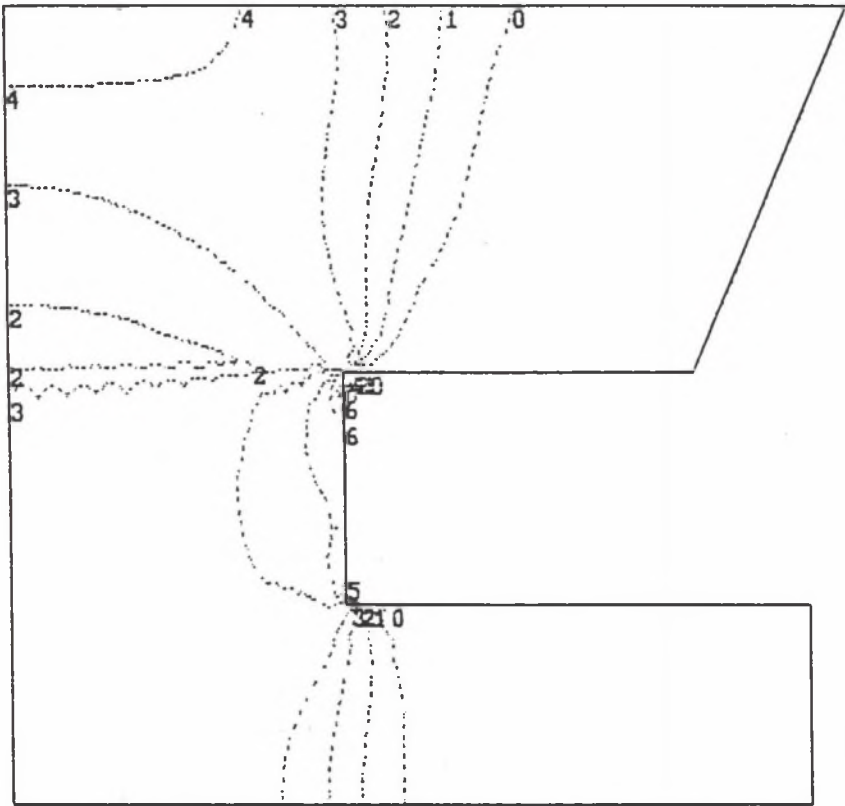
Obliczenia wykonywane na modelu z pozostawioną ścieżką kombajnową o szerokości 0,6 m wykazały, że po przejściu kombajnu strefa wzmoczonych odkształceń stropu przesuwa się w kierunku czoła ściany i docisk stropnicy do stropu występuje praktycznie na całej powierzchni. Rozkład przemieszczeń dla tego przypadku pokazano na rys. 5, a odpowiadający mu rozkład nacisków przedstawiono na rys. 6. Opierając się na analizie stanu naprężenia można stwierdzić, że nie zabudowana ścieżka kombajnowa w sposób zasadniczy nie zmienia stanu naprężenia w bryle stropu bezpośredniego, natomiast ma wpływ na obciążenie stropnicy oraz wartość maksymalnych naprężeń w pokładzie węglowym. Przykładowo na rys. 7 pokazano warstwicę naprężeń zredukowanych w modelu z dosuniętą do czoła ściany, natomiast na rys. 8 w modelu z pozostawioną, nie zabudowaną ścieżką kombajnową.



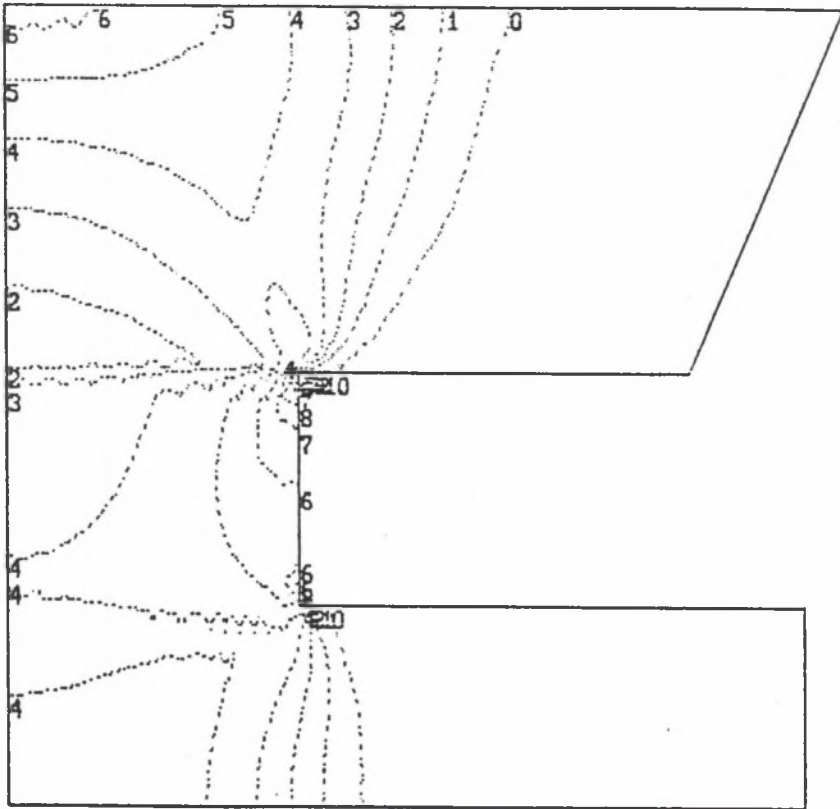
Rys.5. Przemieszczenia dla modelu z nie zabudowaną ścieżką kombajnową  
Fig. 5. Displacements of the model for exposed roof over a mechanical miner path



Rys.6. Rozkład nacisków  
Fig.6. A unit pressure distribution



Rys.7. Warstwice naprężeń zredukowanych dla modelu z dosuniętą stropnicą do czoła ściany  
Fig.7. The reduced stress contours in a model for the section pulled close to the breast wall



Rys.8. Warstwy naprężeń zredukowanych dla modelu z nie zabudowaną ścieżką kombajnową  
Fig.8. The reduced stress contours in a model for exposed roof over a mechanical miner path



## 6. PODSUMOWANIE

Analiza problematyki związanej z modelowaniem współpracy stropnicy obudowy zmechanizowanej z górotworem oparta na metodzie elementów skończonych oraz analiza wyników obliczeń pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Modelowanie zagadnień współpracy stropnicy obudowy zmechanizowanej ze stropem możliwe jest po przeprowadzeniu rzetelnej analizy dotyczącej ustalenia więzów i warunków brzegowych, gdyż tylko wtedy model teoretyczny w sposób zasadniczy przybliża się do rzeczywistości.

2. Konstruowany model powinien być w miarę możliwości uniwersalny tak, aby na kolejnych etapach obliczeń istniała możliwość łatwego wprowadzenia modyfikacji w zakresie zmiany więzów, warunków brzegowych i modelowania obciążeń.

3. Wykorzystanie metody elementów skończonych przy analizie współpracy stropnicy ze stropem umożliwia kompleksowe rozwiązanie tego problemu w zakresie naprężeń i odkształceń elementów obudowy i górotworu.

Celowe wydaje się dalsze prowadzenie prac w zakresie modelowania współpracy obudowy z górotworem metodą elementów skończonych i poszerzenie ich tematyki o inne modele górotworu.

## LITERATURA

- [1] Biliński A.: Empiryczna metoda doboru obudowy do ścian zawałowych. *Archiwum Górnictwa* 1980, t. 25, z.3.
- [2] Biliński A.: Dobór obudowy wyrobiska ściany zawałowej. *Bezpiecz. Pracy w Górnictwie* 1976, nr 2.
- [3] Biliński A.: Kryteria utrzymania wyrobiska w ścianach zawałowych. *Bezpiecz. Pracy w Górnictwie* 1975, nr 1.
- [4] Biliński A.: Analityczne i empiryczne kryteria wytrzymałościowe utrzymania wyrobiska w ścianach zawałowych. *Prace GIG, Katowice* 1977.
- [5] Kidybiński A.: *Podstawy geotechniki kopalnianej*. Wyd. Śląsk, Katowice 1982.
- [6] Markowicz J., Szweda S.: Modelowanie współpracy spągnicy obudowy zmechanizowanej ze spągciem. VII Międzynarodowa Konferencja TU, Koszyce 1992.

- [7] Szuścik W., Fober S., Markowicz J., Szweda S.: Zastosowanie metod numerycznych w wybranych zagadnieniach analizy obciążeń statycznych i dynamicznych obudów górniczych. Prace IMG Pol. Śl. Biblioteka IMG Gliwice 1991.

Recenzent: Doc. dr inż. Stanisław **ROMANOWICZ**

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1993 r.

## Abstract

A cooperation between a canopy of a shield support and a rock mass was analyzed in the paper basing on a finite elements method.

Basing on an analysis of literature, the influence of a shield load on working upkeep was discussed and criterions of proper shield support and rock mass cooperation were formulated. These criterions concern: the maximum unit pressure on a contact surface between a roof and a canopy, maximum tensile stress caused by a roof beam bending in a solid of immediate roof above breast wall, a roof convergence limit, the exceeding of which causes rapid growth of a roof settlement velocity and the maximum tensile stress caused by loosening of strata. These criterions should be taken into account in the modeling stage and while analyzing the results of calculations.

The cooperation of the canopy of mechanized support and rock mass was modeled as a plane state of strain problem because this model imitates the state of stress and the state of strains in the surroundings of a longwall in the most exact way (except for the boundary conditions occurring at gate areas). The canopy was modelled by beam and disk elements. The shape of a roof beam loading the support, as well as the way of its loading by surrounding rocks were taken basing on an analysis of literature. Constraints relatively exactly imitating the rock mass behavior during longwall extraction were introduced in the model.

Calculations were carried out for the FAZOS 12/28-Oz shield support assuming its cooperation with the roof numbered among IV O class. The initial calculations proved a necessity of modifications in the model, making use of unilateral constraints between the roof and the canopy. Calculations were carried out for the section pulled close to the breast wall and for exposed roof over the mechanical miner path. Diagrams of distribution of a unit pressure on the contact surface between the roof and the canopy, as well as examples of figures showing model deformations and reduced stresses distributions are given in the paper.

In recapitulation it has been stated that the modelling of a shield support and rock mass cooperation was possible after a reliable analysis of assumed constraints, boundary conditions and ways of loading, because proper approximation of a real rock mass by a model could be carried out only in that way.