Seria: GÓRNICTWO E. 99

Nr kol. 601

Andrzej WIŚNIOWSKI, Antoni TAJDUŚ

MODELOWANIE RÓŻNYCH SPOSOBÓW KIEROWANIA STROPEM WYROBISK ŚCIANOWYCH METODĄ ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH

> Streszczenie. W artykule przedstawiono zmiany rozkładu przemieszczeń wewnątrz i na brzegach modelowanej tarczy przy różnych rodzajach imitowania sposobu kierowania stropem wyrobisk ścianowych. Analizując rozpatrywane przypadki oraz opierając się za niektórych przezach z tej dziedziny wyciągnięto wnioski dotyczące poprawności przyjętych modeli.

Poznanie zjawisk zachodzących w górotworze wokół wyrobisk górniczych jest zagadnieniem rozpatrywanym w wielu rozprawach naukowych. Szczególnie istotne jest określenie stanu naprężeń i przemieszo od bistotny rzutują na szereg zjawisk ważnych dla praktyk [1], [5], [6] Problemy te znalazły rozwiązanie w szeregu pracach teoretycznych przy uwzględnieniu różnych warunków brzegowych i modeli górotworu [1], 5], [6].

W miarę uwzględniania coraz bardziej skomplikowanych przypadków i warunków, np. złożonej geometrii wyrobisk, nieciągłości występujących w górotworze, anizotropii itp. rozwiązywanie tego typu zagadnień staje się coraz trudniejsze.

Gwałtowny rozwój elektronicznej techniki obliczeniowej oraz związane z tym rosnące możliwości prowadzenia coraz bardziej skomplikowanych obliczeń pozwoliły na zastosowanie do rozwiązywania bardzo złożonych zagadnień takich metod, które nie dają wprawdzie ścisłego rozwiązania, lecz cechują się dostateczną dokładnością.

Jedną z tych metod jest metoda elementów skończonych. Jej rozwój rozpoczął się na początku lat pięćdziesiątych, zaś w latach sześćdziesiątych nastąpił dynamiczny i bardzo wszechstronny rozwój metody, który w niektórych dziedzinach jej zastosowań trwa do dzisiaj.

Obok bardzo szerokich zalet i możliwości zastosowań metody elementów skończonych istnieją także pewne czynniki rzutujące na praktyczną stronę korzystania z metody.

O zakresie i możliwościach wykorzystania metody decydują głównie podstawowe parametry stojącej do dyspozycji maszyny cyfrowej. Pojemność pamięci elektronicznej maszyny cyfrowej ogranicza ilość elemen-

tów stosowanych do analizy. Większa pojemność maszyny pozwala na gęstszy

podział rozpatrywanego obszaru elementami oraz zastosowanie elementów o bardziej odpowiednich kształtach.

Umożliwia to lepsze uchwycenie przebiegu analizowanych funkcji, a tym samym decyduje o dokładności otrzymywanych wyników.

Kolejną, równie istotną, cechą maszyny jest szybkość wykonywania operacji. Sama metoda ze względu na szereg przekształceń i skomplikowanych obliczeń na bardzo rozbudowanych macierzach jest metodą czasochłonną. Rozwiązywanie trójwymiarowych zagadnień dla ośrodków niejednorodnych, np. nieliniowo - lepko - sprężystych wymaga korzystania z maszyn o zdolności wykonywania pomad milion operacji na sekundę 4.

Tak więc istotnym kierunkiem w rozwoju metody stała się optymalizacja i to zarówno w zakresie stosowanych metod wykonywania obliczeń jak i doboru odpowiednich kształtów czy układów elementów.

Jednym z kierunków optymalizacji jest wykorzystanie w obliczeniach tzw. superelementów 162.

Jak wykazała praktyka, równie istotnym problemem jest dobór włąściwej wielkości modelu oraz przyjęcie odpowiednich warunków brzegowych. Zagadnienie to jest niezmiernie istotne przy zastosowaniu metody do modelowania wyrobisk eksploatacyjnych.

Lodele numeryczne przyjęte dla wyrobiska ścienowego

Obliczenia wykonane zostały według programu "Problem płaski" w języku SAS na maszynie cyfrowej ZAM-41 [13], o zestawie roboczym 16000 słów pamięci operacyjnej, jednej jednostce pamięci bębnowej, taśmowej pamięci magnetycznej, czytnika perforowanej taśmy papierowej, drukarki wierszowej.

Modelowana tarcza może mieć dowolny kształt, dowolne warunki brzegowe, zmienną grubość, liczbę Poissona v , moduł sprężystości postaciowej E oraz może być obciążona statycznie dowolnym układem sił. Liczba węzłów rzeczywistych w tarczy nie może przekroczyć 1000, zaś licz-

ba elementów siatki 1250. Program ten może współpracować z podprogramem sprawdzającym poprawność opisu elementów i węzłów siatki oraz z programem graficznego przedstawiania wyników obliczeń w postaci wydruku planu warstwicowego funkcji F (x,y) zadanej na płaszczyznie X, Y.

Przed przystąpieniem do obliczania składowych naprężeń w płaskim stanie odkształcenia obliczono wartości składowe stanu przemieszczenia "u" i "v" w węzłach siatki tarczy. Wyróżniono następujące przypadki.

Zagadnienie I

Analizowano stan przemieszczenia górotworu w sąsiedztwie pojedynczego wyrobiska ścianowego o nieskończonej długości. Rozpatrywano tarczę o wymiarach 150 m z 100 m i grubości 1 m. Zagadnienie rozwiązywano przy założonej izotropowości poszczególnych warstw skalnych. Tarczę podzielono za pomocą siatki na 704 elementy, zaś liczba węzłów tarczy wynosiła 748. Przyjęto wartość ciśnień pierwotnych odpowiadającą położeniu górnej krawędzi tarczy ne głębokości 685 m, przy ciężarze właściwym górotworu 2,5 kN/m³ i średnim współczynniku Poissona $\vartheta = 0,31$. Pierwotne ciśnienie poziome : $p_x = 76 \cdot 10^2 \text{ kN/m}^2$ - " - - " - pionowe : $p_x = 175 \cdot 10^2 \text{ kN/m}^2$

Dla warstw skalnych w otoczeniu wyrobiska ścianowego przyjęto $E = 10^7$ kN/m², $\vartheta = 0,31$. Miąższość pokładu wynosiła 2,5 m. // Ciśnienie pierwotne p_x i p_z zastąpiono ekwiwalentnymi siłami skupionymi w węzłach brzegowych. Dolny brzeg tarczy został utwierdzony. Dla zagadnienia tego rozpatrzono dwa warianty.

Wariant IA

Podporność uzyskiwaną przez zawał modelowano w postaci sił zmieniających się liniowo od czoła ściany do brzegu tarczy od 0 + p. rys. 1.



Rys. 1. Model podporności uzyskiwanej przez zawał, przyjęty dla wariantu I A



Rys. 2. Model podporności uzyskiwanej przez zawał, przyjęty dla wariantu I B

Wariant IB

Podporność uzyskiwaną przez skały zawału modelowano w postaci sił zmieniających się liniowo od 0 + p, w przedziele od czoła ścieny do 30 m, a następnie wartość podporności była stała i równa p_w w przedziale od 30 + 100 m (wg Kormana 10) - rys. 2.

Wartości przemieszczeń poziomych dle jednego i drugiego wariantu przedstawiono na rys. 3. Wartości te podane są dla niektórych tylko węz2ćw. Liczba górna, znajdująca się z prawej strony węzła, dotyczy obliczeń według wariantu I A (liniowy rozkład sił), niżej leżąca dla wariantu I B (nieliniowy rozkład sił) . Wartości te należy pomnożyć przez 10 m.

Uwagę zwracają duże różnice w otrzymanych wartościach przemieszczeń poziomych dla obu wariantów. W pierwszym (I A) górna część terczy ulega przemieszczeniu wzdłuż kierunku osi X. W drugim (I B) na skutek zbyt silnego oddziaływania sił imitujących zachowanie się rawału następiło zeburzenie równowagi objawiające się przeciwnymi kierunkami przemieszczeń w stosunku do osi X.

Zagadnienie II

W zagadnieniu tym modelowano eksploatację z podsadzką hydrauliczną, zakładając znajomość jej własności w postaci stałych sprężystości. Przyjęto następujące własności:

 $E_1 = 10^7 \text{ kN/m}^2$ stałe sprężystości warstw skalnych w otoczeniu wyroψ₁ = 0.31 biska ścianowego $E_2 = 10^6 \text{ kN/m}^2$ $V_2 = 0.4$ - stałe sprężystości podsadzki

Założono izotropowość poszczególnych warstw skalnych. Podobnie jak w poprzednim zagadnieniu rozpatrywano tarczę o wymiarach 150 m x 100 m i grubości 1 m. Tarczę podzielono za pomocą odpowiedniej siatki na 759 elementów, natomiast ilość węzłów wynosiła 794.

Przyjęto wartości ciśnień pierwotnych odpowiadających głębokości 685 m. ciężarowi właściwemu górotworu 2,5 kN/m² i średniemu współczynnikowi Poissona V = 0.31. Założono miąższość eksploatowanego pokładu równą 2,5 m. Dolna krawędź tarczy została utwierdzona.

Otrzymane wartości rozkładu przemieszczeń niektórych węzłów tarczy przedstawia rysunek 4. Wartości przemieszczeń opisane są z prawej strony każdego z węzłów. Zauważa się stosunkowo małą zmienność wielkości przemieszczeń wzdłuż prawej i lewej krawędzi tarczy.

Wartości ujemne wynikają z odprężającego oddziaływania podsadzki.





A. Wiśniówski, A. Tajduś

Zagadnienie III

Zamodelowano eksploatację pokładu węgla o grubości 2 m, znajdującego się na głębokości 400 m, wybieranego systemem ścianowym z podsadzką płynną.

Przyjęto następujące dane:

$\mathbf{p}_{\mathbf{X}}$	=	6667	kN/m ²	and the second sec
p _y	=	104	kN/m ²	
E-	=	84 .	10^5 kN/m^2	stałe sprężystości warstw stropowych
v1	=	0.4		i spągowych
E ₂		783	10^3 kN/m ²	stałe sprężystości
v2	-	0.28		pokładu

Założono izotropowe własności skał. Rozpatrywano tarczę o wymiarach 150 m x 109,5 m i grubości 1 m, którą podzielono na 825 elemen*ów. Ilość węzłów w tarczy wynosiła 858. Własności podsadzki modelowano przez zadanie wartości przemieszczeń stropu i spągu.

Wartości ugięcia stropu i spągu pokładu wybieranego z podsadzką hydrauliczną przyjęto na podstawie pracy [12], bazującej na teorii zginania belki na sprężystym podłożu przy uwzględnieniu sił ścinających.

Wariant IIIA

Zachowanie się podsadzki modelowano przez zadanie odpowiednich wielkości obniżenia się stropu nad podsadzką dla różnych odległości od czoła ściany. Dla spągu przyjęto takie same wartości o przeciwnych zwrotach.Założono ściśliwość podsadzki = 1 %. Zadane wartości przedstawia kolumna 1 tablicy I zamieszczonej w pracy [5].

Wariant III B

Przyjęto ściśliwość podsadzki równą 8 %. Odpowiadające jej wartości przemieszczenia stropu i spągu przedstawione zostały w kolumnie 2 tablicy I [3].

Wariant III C

Przyjęta ściśliwość podsadzki wynosiła 23 %. Wartości przemieszczeń odpowiadające tej ściśliwości zawarte są w kolumnie 3 tablicy I [3].

Otrzymane wartości przemieszczeń poziomych dia zagadnienia III przedstawia rys. 5.

Wartości przemieszczeń opisane są z prawej strony danego węzła i odnoszą się odpowiednio, idąc od góry, dla wariantu III A, III B i III C.Największe wartości przemieszczeń poziomych otrzymano dla wariantu III A.

Na rys. 6 zobrazowano graficznie rozkład przemieszczeń pionowych dla

1 =)	
10	
x)	
4	
III	
wariantów	x 10 ⁻¹ m)
18	0
G	
portomych	TIN, III
θń	Ť
5	Ľ
98	8
presui	III
Wartoáci	
5	
Rys.	

								26.
箱	253	200	EE [‡]	830	200 200 200 200 200 200 200 200 200 200	0000 0000 011 0 0000		000 000 000 000
						- 1		
_	-		W-0	21-4	-	B52 919	-	255 mm
22	100	107.0 107.0 109.00	Esc	- State		SEE with	177	1977 B48
-			-					
22	ESSE		803	222	-	1001 1001	122	2000
		2						
	East	ESE	22.0 Barre	E25	States -		288	See .
			- 1		Condak			8
23	ES .3	212	-	Seattle	REVERE ERE		122	101 101 101 101 101 101 101 101 101 101
-			0.000	0 10		COO mad	10.003	0.00
							1993	
23	1	200	220	1950	100 000 000 000 000 000 000 000 000 000	and and	1000	100
							1	
9	-	202	-	202	310 020	105 200	125	
		-	-				-	See See
		515	2152	128			Per B	22 e 232
	and a			STR. TO		100- 00-	Dir ar	den peri
	828	100	3.51			Serie Cont	S-mer	227 1922
-	-	dienti			Cat Internet	000 000	in dat	and the
	-		295	Sull				BCS 833
-					2.5. Contraction		000.0	
-	122						atr-	
-		223	A AND	10,0			act -	
			Ente	n de la		-	-	-
	Real Provide P		49-17		THE REAL PROPERTY.		Ett	
F							-	

A. Wiśniowski, A. Tajduś



Modelowanie różnych sposobów modelowania

III zagadnienia. Wielkości te przedstawiono w ten sposób, że długość odcinka poziomego między danym węzłem a linią przerywaną, leżącą po jego prawej lub lewej stronie, jest odpowiednikiem wartości przemieszczenia pionowego danego punktu przy uwzględnieniu zamieszczonej u dołu rysunku skali przemieszczenia i danego typu linii odnoszącej się do ściśliwości podsadzki równej 1 %, 8 % i 23 %. Wartości przemieszczenia pionowego o kierunku zgodnym z osią Y (wypiętrzenia) odłożone są z lewej strony węzłów, zaś o kierunku przeciwnym - z prawej strony rozpatrywanych punktów.

Podsumowanie i wnioski

Z przedstawionych wariantów obliczeń wynika, że modelowanie oddziaływania zawału w postaci sił przyłożonych do punktów leżących na linii zawału może prowadzić, przy takim jak przedstawiono sposobie utwierdzenia tarczy, do bardzo poważnych błędów. Lepsze wyniki otrzymuje się przy uwzględnieniu odpowiednich wartości sprężystych podsadzki czy też modelowanie przez uwzględnierie wartości przemieszczania się linii stropu i spągu pokładu przy zadanej odpowiedniej ściśliwości podsadzki.

Obciążenie bocznych krawędzi tarczy siłami ekwiwalentnymi do panujących na danej głębokości ciśnień, przy utwierdzeniu dolnego brzegu tarczy powoduje, że modelowanie uzyskiwania przez zawał odpowiedniej nośności przez przyłożenie sił zmieniających się w sposób liniowy lub nieliniowy (rys. 1 i 2) może spowodować jak gdyby zachwianie układu równowagi w tarczy.

Na podstawie obliczonych przykładów oraz doświadczeń z tej dziedziny, zawartych w pracach 2 7, 8 wysunąć można kilka wniosków.

Przy modelowaniu z wykorzystaniem ekwiwalentnych sił na brzegach tarczy odpowiadających danym warunkom ciśnień, występujących wewnątrz górotworu, należy modelować oddziaływanie zrobów przez zadanie warstwie imitującej je odpowiednich własności sprężystych i przetestowanie układu zgodnie z zaleceniami podanymi w pracy [2], przeliczając kilka wariantów wielkości tarczy, analizując wartości przemieszczeń poziomych i dobierając odpowiedni wymiar tarczy.

Modelując oddziaływanie zrobów w postaci sił przyłożonych w węzłach leżących na linii stropu i spągu pokładu należy zachować daleko idącą ostrożność w doborze wielkości tych sił i ich rozkładu, a także usztywnić punkty leżące na bocznych krawędziach tarczy przez zadanie zerowych przemieszczeń poziomych dla węzłów bocznych krawędzi tarczy.

Wykorzystując powyższe wskazówki należałoby przyjmować model, gdzie w tarczę modelową o dużych rozmiarach i rzadkim podziałe na elementy wkomponowany jest drugi model o gęstszej siatce podziału na elementy, obliczany w drugiej kolejności przy uwzględnieniu warunków brzegowych otrzymanych z modelu pierwszego.

Modelowanie różnych sposobów kierowania

LIT ERATURA

,

[1]	DRZĘŹIA B.: Przybliżone rozwiązanie równań teorii sprężystości w za- stosowaniu do mechaniki górotworu. Archiwum Górnictwa T.XX, z.2,1975.
2	FILCEX E.: Dobór wielkości numerycznych modeli górotworu. Archiwum Górnictwa T. XXII, z. 3, 1977.
[3]	FILCEX H., TAJDUŚ A., WALASZCZYK J.: Numeryczne modelowanie wyrobisk ścianowych. Zeszyty Naukowe AGH. Górnictwo z.76, Kraków 1975.
[4]	GAWROŃSKI W.: Badanie układów wielkich metodą superelementów oraz me- todą modyfikacji. II Konferencja: "Metody komputerowe w mechanice kons- trukcji". Gdańsk 1975.
5	GIL H., KRAJ W.: The distribution of displacements and stresses aro- und a longwall working. Archiwum Górnictwa T. XVII, z.3, 1972.
6	GIL H., KRAJ W.: Rozkład naprężeń i przemieszczeń w górotworze w prz- padku zatrzymania czynnego frontu eksploatacji. Archiwum Gornictwa T. XIX, z.1, 1974.
[7]	IZBICKI R.J., WNETRZAK K.: Naprężenia i odkształcenia w górotworze wywołane eksploatacją górniczą. Prace Naukowe Instytutu Geotechniki Politechniki Wrocławskiej nr 13, Wrocław 1975.
8	KIDYBIŃSKI A., BABCOCK C.O.: Stress Distribution and Rock Fracture Zones in the Roof of Longwall Face in a Coal Mine. Rock Mechanics nr 5, 1973.
9	KIDYBIŃSKI A>, MICHAISKI A.: Stateczność ackreślenie grubości węglo- wej ławy ochronnej pod słabym stropem. Przegląd Górniczy nr 12, 1977.
10	KORMAN S.: Stan naprężenia w górotworze pod wybieranym pokładem.Ar- chiwum Górnictwa T.II, z.3, 1957.
[11]	MIKOŚ T., TAJDUŚ A.: Badanie doświadczalno-modelowe wpływu ściśliwoś- ci podsadzki na rozkład naprężeń i odkształceń wokół wyrobisk ściano- wych. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo z. 62, Kraków 1974.
12	SAŁUSTOWICZ A.: Osiadanie stropu w świetle teorii ścinania i ugięcia belek na sprężystym podłożu. Sbornik vedeckych praci Vysoke Skoly Bańske v Ostravie 1961.
13	SZMEHTER J., DACKO M., DOBROCIÑSKI S., WIECZOREK M.: Programy metody elementów skończonych. Wydawnictwo "Arkady", Warszawa 1973
[14]	WALASZCZYK J.: Określenie przemieszczeń i naprężeń w górotworze nie- jednorodnym metodą elementów skończonych. Praca doktorska, Kraków 1971 (niepublikowana).
15	WIŚNIOWSKI A.: Materiały z krajowego stażu naukowego w Instytucie Geomechaniki Górniczej AGH w Krakowie (niepublikowana).
16	WRANIK J.: Macierz sztywności i wektor obciążeń superelementu. Mechar nika teoretyczna i stosowana T. 12, z.3, 1974.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ КРОВЛЕЙ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЛХ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Pesme:

В статье рассматриваются изменения распределения смещений внутри и на кратя моделированного щита при различных способах имитирования способа управления кроблей в очистных забоях. Анализируя рассматриваемые случаи, а также некоторые работы в данной области, сделаем выводы относительно правильности принятых моделей.

MODELLING THE DIFFERENT WAYS OF DIRECTING THE LONGWALL HEADING ROOF USING THE METHOD OF FINITE ELEMENTS

Summary:

This paper describes the changes in the distribution of relocation inside and on the edges of the modelled shield (disk) during various kinds of imitations of the way of directing the longwall heading roof. The conolusions pertaining to correctness of the accepted models were drawn, basing on the analysis of surveyed cases in the similar research.