Seria: GÓRNICTWO z. 221

Marek KWAŚNIEWSKI, Jinan WANG

Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej

SYMULACJA KOMPUTEROWA EKSPLOATACJI POKŁADU WĘGLA SYSTEMEM ŚCIANOWYM Z ZAWAŁEM STROPU

III. Wpływ prędkości eksploatacji na zachowanie się górotworu

<u>Streszczenie.</u> Wykorzystując specyficzne właściwości programu metody różnic skończonych *FLAC*, wynikające z tzw. bezpośredniej, krokowej metody rozwiązywania równań, badano wpływ prędkości eksploatacji na zachowanie się górotworu. Symulowano eksploatację pokładu z prędkością "małą" i z 10-krotnie większą od małej prędkością "dużą". Analizowano wpływ prędkości na stan naprężenia i przemieszczenia oraz wielkość i zasięg stref spękań w górotworze w sąsiedztwie wyrobiska ścianowego.

COMPUTER SIMULATION OF LONGWALL COAL MINING WITH ROOF CAVING III. Effect of mining rate on strata behavior

<u>Summarv.</u> Taking advantage of the specific features of the finite difference code *FLAC* resulting from an explicit, time-marching method of solving the algebraic equations, effect of mining rate on strata behavior has been studied. "Slow" and "fast" extraction rate of a coal seam have been simulated, the "fast" rate being 10-times greater than the "slow" one. Influence of the rate on state of stress and displacement as well as on magnitude and range of the fractured zone in a vicinity of the longwall working has been analyzed.

Nr kol. 1256

SIMULATION NUMERIQUE D'EXPLOITATION DE LA COUCHE DE CHARBON PAR LONGUE TAILLES AVEC FOUDROYAGE DU TOIT III. Effet de la vitesse d'exploitation sur le comportement des terrains

<u>Résumé.</u> L'effet de la vitesse d'exploitation sur le comportement des terrains a été étudié, en utilisant des propriétés particulières du code de la méthode des différences finies *FLAC*, résultant de la méthode explicite de résolution d'équations. On a simulé l'exploitation d'une couche de charbon à "faible" puis à "grande" vitesse, cette dernière étant 10 fois plus élevée que la première. Le but était de déterminer l'influence de la vitesse sur l'état des contraintes et des déplacements ainsi que sur la grandeur et l'étendue de la zone fracturée dans les terrains voisins de la taille.

1. WPROWADZENIE

Zasadniczym celem badań, o których mówi się w tym i dwóch artykułach poprzedzających [3, 4], jest poznanie i opisanie zachowania się górotworu w sąsiedztwie wyrobisk ścianowych prowadzonych z dużą prędkością. Wyniki tych badań mają służyć przewidywaniu zagrożeń ze strony górotworu i zapobieganiu szkodliwym wpływom eksploatacji górniczej na podziemne wyrobiska i budowle naziemne. Jak wspomniano już we wprowadzeniu do artykułu [3], dzięki zastosowaniu w KWK "Staszic" wysokowydajnych maszyn urabiajacych i odstawczych (kombajny ELECTRA firmy Anderson o zabiorze 850 mm i maksymalnej predkości urabiania sięgającej 10 m/min, przenośniki zgrzebłowe firmy Meco International o wydainości znamionowej 1500 t/h) uzyskano w ścianie 1002, 1003 i 1004 prędkości eksploatac, wostępy ściany) sięgające maksymalnie 12,5 m/dobę, a średnio około 4 m/dobę (sa to dane z 1993 roku dotyczące ściany 1003). Powstaje w związku z tym pytanie, jak przy takich prędkościach wybierania pokładów węgla będzie zachowywał się górotwór - jakie będą naprężenia i, przede wszystkim, deformacje ciągłe i-nieciągłe w sasiedztwie wyrobisk eksploatacyjnych i na powierzchni terenu. Odpowiedź na to pytanie będziemy starali się dać budując numeryczny model górotworu w sąsiedztwie pokładu 352 w polu eksploatacyjnym 1003 w KWK "Staszic" i symulując, za pomocą programu metody różnic skończonych FLAC¹, prowadzoną z różnymi prędkościami eksploatację pokładu.

¹ W ramach projektu celowego nr 231/CS6-9/92 zagadnieniem wpływu prędkości eksploatacji na zachowanie się górotworu zajmuje się także, w odmienny sposób, zespół

2. WŁAŚCIWOŚCI PROGRAMU *FLAC* I METODA SYMULOWANIA WPŁYWU CZASU

W pierwszym artykule w tej serii [3] podano ogólną charakterystykę programu metody różnic skończonych *FLAC*. W tym rozdziale zajmiemy się pewnymi specyficznymi właściwościami tego programu, w szczególności zaś tymi, które umożliwią nam symulację wpływu prędkości eksploatacji na zachowanie się górotworu w sąsiedztwie wyrobiska ścianowego i wybieranego pokładu.

W programie korzysta się z bezpośredniej ("explicit") metody rozwiązywania równań algebraicznych, do których sprowadzane są równania różniczkowe [1, 2 - Vol. I]. Rozwiązanie każdego zadania wymaga w związku z tym pewnej liczby kroków obliczeniowych². Zastosowany w programie schemat obliczeń przedstawiony jest na rysunku 1. Najpierw wywoływane są równania ruchu, które służą do obliczania prędkości i przemieszczeń z naprężeń i sił. Następnie prędkości odkształceń są wyprowadzane z prędkości przemieszczeń i nowe naprężenia z prędkości odkształceń. Każdy cykl w takiej pętli odpowiada jednemu krokowi obliczeń.

W procedurze obliczeniowej programu korzysta się z równań równowagi będących dynamicznymi równaniami ruchu. Można było dzięki temu zapewnić, że proces obliczeń numerycznych będzie stateczny nawet wtedy, gdy niestateczny jest modelowany system fizykalny. W przypadku materiałów fizykalnie nieliniowych, takich jakimi są w większości geomateriały, zawsze istnieje możliwość wystąpienia niestateczności; może to być np. niekontrolowane zniszczenie próbki skalnej w "miękkiej" maszynie wytrzymałościowej lub niestateczne zniszczenie filara w kopalni. W takim przypadku, w naturze, część energii odkształcenia zamienia się w energię kinetyczną, która wypromieniowuje od źródła i ulega rozproszeniu. W związku z tym, że w równaniach ruchu w programie występuje także człon masowy, proces ten modelowany jest w sposób bezpośredni - energia kinetyczna jest generowana i dyssypowana.

prof. J. Kwiatka i dra A. Kowalskiego z Głównego Instytutu Górnictwa.

² Do rozwiązania prostych zadań wystarcza 2000 - 4000 kroków obliczeniowych; w przypadku zadań dużych i złożonych liczba kroków niezbędna do uzyskania rozwiązania statycznego lub quasi-statycznego może sięgać kilkunastu i więcej tysięcy.



Rys. 1. Schemat cyklu obliczeń bezpośrednich (na podstawie [2], Vol. I, Fig. 3-1) Fig. 1. Scheme of the explicit calculation cykle (after [2], Vol. I, Fig. 3-1)

Podstawowym atrybutem metody bezpośredniej jest to, że prędkość "fali obliczeniowej" jest zawsze większa od prędkości "fali fizykalnej", tak że równania działają na znanych wartościach, które pozostają ustalone na czas trwania cyklu obliczeniowego. Na przykład, nowe naprężenia (por. dolny element pętli obliczeniowej na rysunku 1) obliczane są dla każdego węzła na podstawie prędkości przemieszczeń już obliczonych. Na czas tej operacji prędkości te pozostają "zamrożone", tzn. nowo obliczone naprężenia nie oddziałują na prędkości. Nie jest to, jak mogłoby się wydawać na pierwszy rzut oka, nieracjonalne, gdyż wszystkie materiały, w tym szczególnie te mające własność lepkości, charakteryzują się pewną skończoną szybkością rozchodzenia się informacji. Wystarczy więc dobrać odpowiedni krok czasowy (powinien on być odpowiednio mały, tak aby informacja nie mogła fizycznie przejść z jednego elementu do drugiego w tym przedziale cząsu), żeby w procesie obliczeń pozostać w zgodzie z tym, co dzieje się w rzeczywistości. Ponieważ jedna pętla cyklu zajmuje jeden krok czasowy, założenie o "zamrożonych" prędkościach jest uzasadnione - sąsiednie elementy nie mogą oddziaływać na siebie wzajemnie podczas cyklu obliczeniowego.

Wynika stąd bardzo ważna zaleta metody bezpośredniej: przy obliczaniu naprężeń z odkształceń nie trzeba stosować iteracji nawet wtedy, gdy równanie konstytutywne jest wybitnie nieliniowe. Metoda bezpośrednia jest w związku z tym najlepsza do obliczania

290



Rys. 2. Historia siły niezrównoważonej; przykład zależności pomiędzy maksymalną niezrównoważoną siłą $(\Sigma F_i)^3$ w modelu górotworu (por. [3]) a liczbą kroków obliczeniowych w procesie tłumienia i dochodzenia do stanu równowagi Fig. 2. Unbalanced force history; an example of the relationship between maximum unbalanced force (ΣF_i) in the rock mass model (cf. [3]) and number of calculation steps in the process of damping and progression toward equilibrium state

układów zachowujących się w sposób nieuładzony - nieliniowych, doznających dużych odkształcen i/lub fizykalnie niestatecznych. Pozwala ona na analizę postępującego zniszczenia i zawału, zjawisk często występujących w górotworze i mających pierwszorzę dne znaczenie dla inżynierii górniczej.

Rozwiązanie statyczne lub quasi-statyczne jest osiągane, gdy tempo zmiany energii kinetycznej w modelu sięga wartości pomijalnie małej. Rozwiązaniu takiemu odpowiada ustalenie się stanu równowagi sił w modelu lub wystąpienie ustalonego płynięcia materiału. Wskaźnikiem stanu mechanicznej równowagi lub początku plastycznego płynięcia jest wartość siły niezrównoważonej. Uważa się, że model jest w stanie równowagi, gdy

³ Σ oznacza sumowanie po wszystkich węzłach.

maksymalna siła niezrównoważona jest mała w porównaniu z całkowitymi siłami przyłożonymi. Osiągnięcie przez siłę niezrównoważoną stałej niezerowej wartości oznacza, że w modelu zachodzi zniszczenie materiału i plastyczne płynięcie.

Do rozwiązania takiego dochodzi się w procesie lepkiego tłumienia równań ruchu. W odróżnieniu od sposobu tłumienia stosowanego w standardowych metodach relaksacji dynamicznej, w których wielkość siły tłumiącej jest proporcjonalna do prędkości węzłów, we *FLACu* siła ta jest proporcjonalna do wielkości siły niezrównoważonej i zmienia się od węzła do węzła. Rys. 2 ilustruje efekt takiego tłumienia w celu osiągnięcia stanu równowagi na przykładzie naszego zadania z pierwszego artykułu [3], gdzie najpierw dochodziło do ustalenia się stanu równowagi po zbudowaniu modelu (siatka różnic skończonych, równania konstytutywne, wartości stałych materiałowych, warunki brzegowe i początkowe) w górotworze nienaruszonym robotami górniczymi, a następnie wykonana została (w 2001 kroku obliczeniowym) przecinka ścianowa odpowiadająca pierwszemu etapowi eksploatacji w pokładzie 352; wykonaniu tego wyrobiska odpowiada na wykresie ostry pik ilustrujący silne zaburzenie stanu równowagi w górotworze. Generalnie, siła ta maleje zmierzając do zera; wyraźnie zauważalne są jednak drobne oscylacje systemu towarzyszące temu zbliżaniu się do stanu równowagi i do rozwiązania zadania.

Te właśnie specyficzne właściwości programu *FLAC*, polegające m.in. na tym, że rozwiązanie zadania wymaga pewnej liczby kroków obliczeniowych, a podczas tego krokowego toku obliczeń informacja związana z badanym zjawiskiem rozchodzi się poprzez elementy siatki różnic skończonych ze skończoną prędkością, co dobrze odpowiada zachowaniu się ośrodków charakteryzujących się cechą lepkości, zostaną wykorzystane do symulacji wybierania pokładu z różnymi prędkościami i badania wpływu czasu na zachowanie się górotworu.

3. OPIS "MAŁEGO" MODELU GÓROTWORU Z WYROBISKIEM ŚCIANOWYM

Tak zwany "mały" model górotworu został zbudowany w celu badania wpływu prędkości eksploatacji pokładu na zachowanie się górotworu w sąsiedztwie wyrobiska ścianowego. Podobnie jak model "duży" (por. [3]), jest to tarcza o jednostkowej grubości znajdująca się

w płaskim stanie odkształcenia. Ma ona długość 500 m i wysokość 150 m; została wycięta z tarczy "dużej" ([3], rys. 1) na głębokości 435,25 m i 585,25 m, odpowiednio, od góry i od dołu (rys. 3). Tak więc eksploatowany pokład węgla zalegający, przypomnijmy, na głębokości 535,25 m, został usytuowany w modelu "małym" w odległości 100 m od krawędzi górnej i 50 m od krawędzi dolnej.

Na górnej krawędzi tarczy przyłożono obciążenie pionowe odpowiadające (określonemu obliczeniami wykonanymi na modelu "dużym") pierwotnemu ciśnieniu pionowemu. Przyjęto, że punkty węzłowe znajdujące się na pionowych bocznych krawędziach tarczy mają swobodę przemieszczania się w kierunku pionowym, a w kierunku poziomym przemieszczenia ich są równe zeru. Węzły znajdujące się na dolnej poziomej krawędzi tarczy mają możliwość przemieszczania się w kierunku poziomym, a w kierunku pionowym przemieszczenia ich są równe zeru. Pozostałe punkty węzłowe mają możliwość swobodnego przemieszczania się w dowolnym kierunku.

Tarcza modelowa została podzielona na 9750 elementów prostokątnych (siatka 150 (L) × 65 (H)) o długości od 2,0 m do 5,0 m i szerokości (wysokości) od 1,0 m do 3,55 m.

W spągu pokładu 352 zamodelowano 20 warstw skalnych, w stropie - 43 warstwy zbudowane z różnych odmian iłowców, mułowców, piaskowców i węgli. O modelu fizykalnym i stałych materiałowych skał budujących górotwór w sąsiedztwie pokładu 352 w polu wybierkowym 1003 mówi się w artykule [3]. Wartości wszystkich stałych materiałowych modelowanych warstw i samego pokładu w "małym" modelu górotworu (855 liczb) podane są w tomie II pracy [5] na stronach 329-330.

W wyrobisku ścianowym, o szerokości 4,0 m i wysokości 3,65 m, zamodelowano ośmioma płaskimi elementami strukturalnymi o sztywności osiowej (k_a) równej 30 MN/m i podporności 1,03 MN obudowę podpierającą strop na odcinku 3,5 m licząc od czoła ściany.

W tyle za wyrobiskiem ścianowym zamodelowano strefę zawału warstw stropowych (rys. 3) obejmującą wyróżnione otworem hydrogeologicznym H-3/93 warstwy iłowca szarego, miejscami mułowcowego, zawęglonego iłowca, piaskowca średnioziarnistego i piaskowca bardzo drobnoziarnistego laminowanego mułowcem oraz mułowca szarego (por. [5], t. I).

Celem uwzględnienia efektu konsolidowania się gruzowiska skalnego w strefie zawałowej przyjęto, że gęstość objętościowa gruzowiska oraz współczynniki sprężystości G i K rosną



Rys. 3. Uproszczony schemat "małego" modelu górotworu w rejonie pola eksploatacyjnego 1003 w pokładzie 352 w KWK "Staszic", zbudowanego na potrzeby badań wpływu prędkości eksploatacji na zachowanie się górotworu Fig. 3. Simplified schema of "small" strata model in the region of the exploitation panel 1003 in the seam 352, "Staszic" colliery, built to investigate the effect of mining rate on strata behavior od wartości, odpowiednio, 1800 kg/m³, 13,6 MPa i 30,7 MPa na odcinku długości 26 m od linii zawału do 2000 kg/m³, 66,8 MPa i 153,5 MPa w odległości od linii zawału większej od 76 m.

Wykorzystując opisaną w rozdziale 2 technikę symulacji krokowej w czasie poddano analizie stan naprężenia i przemieszczenia górotworu w sąsiedztwie wyrobiska ścianowego w pokładzie 352 wybieranym z dużą i małą prędkością. W symulacji przyjęto, że pokład został wybrany na odcinku 200 m w 200 krokach czasowych co odpowiadało prędkości eksploatacji 1 m/krok. Była to duża prędkość eksploatacji, odpowiadająca - powiedzmy - postępowi 20 m/dobę. Prędkość małą, dziesięciokrotnie mniejszą (2 m/dobę), symulowano przyjmując 2000 kroków czasowych dla wybrania tego samego odcinka pokładu; była więc to prędkość równa 0,1 m/krok.

Badano wpływ prędkości przesuwania się czoła ściany na wielkość i rozkład największych i najmniejszych naprężeń głównych w górotworze, na największe naprężenia ścinające, na przemieszczenia poziome i pionowe, i na rozkład i zasięg strefy zniszczenia w górotworze. Ze względu na szczupłość miejsca nie będzie można przedstawić w tym artykule wszystkich uzyskanych wyników. Zostaną one zamieszczone w przygotowywanej już do druku monografii poświęconej projektowi celowemu nr 231/CS6-9/92 pt. "Wysokowydajny kompleks ścianowy i nowa technologia wybierania pokładów w KWK "Staszic"" (por. [3]).

4. OMÓWIENIE WYNIKÓW OBLICZEŃ

Największe naprężenia główne odpowiadające dużej prędkości eksploatacji są o ponad 50% mniejsze od naprężeń właściwych prędkości eksploatacji małej. Wynoszą one tyłko 19,2 MPa i są skoncentrowane w mniejszej (równej około 3 m) odległości od wyrobiska (rys. 4b i 5b). Występujące w górotworze w dwóch miejscach: w odległości około 5 m przed frontem eksploatacji oraz około 11 m w głębi górotworu powyżej pokładu (rys. 4a) maksymalne największe naprężenie główne odpowiadające małej prędkości eksploatacji wynosiło aż około 30 MPa. Co interesujące, to pierwsze (w czole ściany) było zorientowane w przybliżeniu pionowo, to drugie (w głębi górotworu) było usytuowane poziomo (rys. 5a).

Także maksymalne wartości największego naprężenia ścinającego (τ_{max}) odpowiadające



(b)

Rys. 4. Rozkład największych naprężeń głównych w górotworze w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska ścianowego dla małej (a) i dużej (b) prędkości wybierania pokładu Fig. 4. Distribution of maximum principal stress in a vicinity of the longwall working for slow (a) and fast (b) mining rate

296

1. 11/411		-			-	-	-	_	_											,		<u>, ,</u>	1		1	1	1	
-	-	-	-	*	~	~	*	~	2	2	-			.)	2	5	2	2.	2	2	ì .			1	1	1	i l	
	•	•	`	1	2	2	2	2	2	2	2	2.	1	12	\$	ŝ	3	2	Ċ	ċ	ŝ.	ŝ	1	i	N.	£.	41	
L.	`	•	`		1	2	2		2	2		2	11	1	1	1	1	ç,	Ċ,	í.	ċ	(I	1	1	1	÷.	i l'	
	•	٠	•	•	•	`	2	2	2	2	2	2			5	ç,	1	?,	è	ç,	È,	ŝι			i.	÷.	i I	
	1	•	•	`	`	`	`	,	`	`			<u>.</u>		2	2	С,	2	ù,	2	2	25			÷.	2	21	
	۰	٠	•	•	`	۲	•	1	1	`	•	1			2	2	<u>.</u>	2	٦.	2	2	2	$\sum_{i=1}^{n}$	2	5	71	1	
- I-	٠				•			٩	١	٩	١	۶.	1,	1.4	2	N	Χ.	Χ.	Χ.	2.	5	2	2	E	J	J.	51-	2.50
		•		۰.	•			*		3	ж	η,	ж 3	1.34	х	x	×	×	×	×.	×	21	2	1	5	\hat{c}	21	
	•	-	~	-		-	-	-	-	44	*	~	* 1	٩.	٩	١	۰.	٩.	۹.	ŧ.,	۲.	ŧ 1	11	13	3	τ.	1.1	
		-	-	-	-	-	-	-	•••	${\bf v}_n$	*	*	1.1	1	١.	١.	£	١.	٩.	ł	ł.	11	1	1	1	٩.	1	
-			-	-	-	-			•	\$	*	× 1		13	X	1	١.	Ł	١.	t i	1	t	1	12	÷.	2	31	
		٠						1	*	*				.)	2	?	<u>}</u>	ł	ł	[1	1	łł	1	Ł	11	٤ŀ	1.30
	٠	4	٠		٠			<u> </u>		•		<u>۰</u>			2	2	<u>`</u>	<u>.</u>	Ľ	÷.		1.1		1	1	L	11	
•						٠					٠	۰.		.)	2	2	ζ.	δ.	ξ.	Ł	1	1	; ;	-1	1	τ.	11	
			٠	٠	٠	٠	٠	٠				۰.	• •	. \	1	N	١,	1	3.	3.	ţ.	<u>* 1</u>	11	٠ţ	÷.	1.	11	
			٠										• •	. ``	×	×	×	1	t	t	t	ŧ i	Ρŧ	· †	÷.	<u>†</u> :	ŧ١.	
										1	1			۰.	×.	Ł	Ł	4	1	+-	ł٠	ŧ٩	Ьł	r†	ł	ł	۲ŀ	
	٠							٠		-	-	150	۳·	٩	÷	÷.	t.	÷	ř.	t:	ţ.	5	13	13	ş.	<u>}</u>	١ł.	
1	٠	٩	۰.	٠	*	•	`	•	•	٠	-1	0.85	μ.	1	*	۴.	Ť.	t.	1	ť.,	t ,	ð.,	11	1	1	ţ.,	11	
*	•	•		•		•		•	1	•			1	1	4	5	ţ.	1	1	7	7	ē ;	5.3	1.5	1	Υ.	21	
11	1	1	1	1	1	1	1	1	:	1	1	:	: :		4	5	ξ.	£ .	Ľ	Ī.	ž	č,	53	ž	ŝ.	3	11	
- E	÷		÷			÷.							11	1	1	1	7	1		ŧ.,	ŧ.	¢ :	ê î	łŶ	£	6	ŧΓ	
											,		1.1	1	1	1	1.	1	ì.	Ê.	ŝ.	í I	ίì	1	Ń	Ý.	ίŀ.	
1															٢.	۰.		1	1	-	1	2.	1	1	1	2	ìŀ	
1		•			•					•	*	1	11		1	1	1	1	٢.	1	١.	1	1	1	1	1	١.	
- I+	٩	٠	۰.	٩	۰.	٠	٠	٠	4	٠	ø	1	11	1	1	1	1	1	L	F	Ł	L		ł	1	3	34.	-1.50
•		۰.	. 1		٠		٠				۴.	\$	11	1	1	Ł	1	1	Ł	Ł	1	Ł	Ł	1	÷.	Ł	ŧГ	
							٠			*	#	ø.	11	1.1	1	ŧ	Ł	1	L	Ł	1	Ł		ł	1	1	١L	
	,						4	#		8	ø	,	1	1	,	¢	ł	ŧ	ŧ	ş	ł	ŧ.	H	ł	ł	Ł	ŧĒ	
					4	*	×				#	ø	* 1	. ,	1	ŧ	ŧ	٠	,	ş	ŧ	ŧ	1	i ł	ŧ	ł	1	-1.50
		1.1.			-	L.,	_	_			-	-	3			-	75						**		-	1	**	
	-3,040						-1.895					1+10-11																



(b)

Rys. 5. Pole naprężeń głównych w górotworze w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska ścianowego dla małej (a) i dużej (b) prędkości wybierania pokładu Fig. 5. Field of principal stresses in a vicinity of the longwall working for slow (a) and fast (b) mining rate

100

1.000

1.230

210



(b)

754

-1.250

٤

210

253

1 î 1 1 1 1 1 1

t

1 1 t

1 î

-2.250

11,750

uul 26 - 1

fort Baserics

Rys. 6. Wektory przemieszczen górotworu w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska ścianowego dla małej (a) i dużej (b) prędkości wybierania pokładu Fig. 6. Rock displacement vectors in a vicinity of the longwall working for slow (a) and fast (b) mining rate

Symulacja komputerowa eksploatacji ...



Rys. 7. Strefy spękań w górotworze dla małej (a) i dużej (b) prędkości eksploatacji Fig. 7. Fracture zones in the rock mass for slow (a) and fast (b) mining rate

dużej prędkości eksploatacji, występujące tuż w czole ściany i równe około 7,5 MPa, są o około połowę mniejsze od maksymalnych wartości tego naprężenia właściwych prędkości eksploatacji małej (patrz [5], t .II).

Dziesięciokrotnemu zwiększeniu postępu robót wybierkowych towarzyszy także ok. 7krotne zmniejszenie się wartości wektora przemieszczeń górotworu ku wyrobisku ścianowemu. Dla małej prędkości eksploatacji maksymalna wartość przemieszczeń wynosi 100,6 cm (rys. 6a), dla dużej zaś - 14,7 cm (rys. 6b).

Dziesięciokrotnie większemu postępowi robót wybierkowych towarzyszy około 8,5krotne, z 51,2 cm na 5,9 cm, zmniejszenie się obniżeń stropu w obudowanej części wyrobiska (rys. 6).

Jak wynika z rysunków 7a i b, zwiększenie prędkości wybierania pokładu prowadzi do zmniejszenia się zasięgu strefy pęknięć w górotworze w sąsiedztwie wyrobiska ścianowego przed frontem eksploatacji. Mniejsze strefy zniszczenia w przypadku stosowania dużych prędkości eksploatacji są konsekwencją niższych, jak wskazaliśmy to powyżej, naprężeń w górotworze.

Wszystkie te wyniki składające się na obraz zachowania się górotworu w sąsiedztwie wyrobiska ścianowego w pokładzie eksploatowanym z różnymi prędkościami wydają się zachęcać do wybierania pokładów węgla z prędkością dużą.

299

5. PODSUMOWANIE I UWAGI KOŃCOWE

Wykorzystując specyficzne właściwości programu *FLAC*, na tak zwanym "małym" (150 m x 500 m) modelu górotworu, obejmującym serię warstw o miąższości około 100 m powyżej i 50 m poniżej pokładu 352, symulowano eksploatację pokładu z różnymi prędkościami. Stwierdzono między innymi, że 10-krotne zwiększenie prędkości wybierania prowadzi do zmniejszenia się strefy pęknięć w górotworze w sąsiedztwie wyrobiska ścianowego przed frontem eksploatacji i przesunięcia się w pobliże czoła ściany strefy koncentracji największych naprężeń głównych i ścinających. Największe naprężenia główne odpowiadające dużej prędkości eksploatacji są przy tym o ponad 50% mniejsze od skoncentrowanych w większej odległości od wyrobiska naprężeń właściwych prędkości eksploatacji małej. Dziesięciokrotnemu zwiększeniu postępu robót wybierkowych towarzyszy także ok. 7-krotne zmniejszenie się wartości wektora przemieszczeń górotworu ku wyrobisku ścianowemu i ok. 8-9-krotne zmniejszenie się obniżeń stropu w obudowanej części wyrobiska.

Są to wyniki, na razie wstępne, zachęcające do stosowania dużych prędkości wybierania pokładu. Badania nad wpływem prędkości eksploatacji, szczególnie tej prowadzonej z zawałem warstw stropowych, na stan naprężenia i przemieszczenia w górotworze i na deformacje terenu będą kontynuowane; odpowiedź na pytanie postawione we wprowadzeniu do tego artykułu nie będzie pełna, póki nie uwzględni się czasowego charakteru rozprzestrzeniania się spękań w górotworze w sąsiedztwie wybieranego pokładu, jak i zależności własności mechanicznych spękań w skałach od czasu.

LITERATURA

- Coetzee M.J., Hart R.D., Varona P.M. and Cundall P.A.: FLAC Basics, 105 p. Itasca Consulting Group Inc., Minneapolis 1993.
- [2] FLAC User's Manual (3 vols): Itasca Consulting Group Inc., Minneapolis 1992.
- [3] Kwaśniewski M. i Wang J.-A.: Symulacja komputerowa eksploatacji pokładu węgla systemem ścianowym z zawałem stropu, I. Pole przemieszczeń i strefy spękań w górotworze. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, nr 1256, seria Górnictwo, z. 221, Gliwice 1994.
- [4] Kwaśniewski M. i Wang J.-A.: Symulacja komputerowa eksploatacji pokładu węgla

systemem ścianowym z zawałem stropu, II. Zachowanie się uskoków poddanych wpływom eksploatacji. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, nr 1256, seria Górnictwo, z. 221, Gliwice 1994.

[5] Kwaśniewski M., Wang J.-A. i Szutkowski I. Badania nad własnościami i zachowaniem się skał spękanych oraz samych spękań w polu naprężeń ściskających (2 tomy). Prace Instytutu Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni, PC nr 231/CS6-9/92-93, 374 s., Gliwice 1993.

Badania zrealizowano w ramach projektu celowego nr 231/CS6-9/92 finansowanego w latach 1992-1994 przez Komitet Badań Naukowych i KWK "Staszic".

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jan WALASZCZYK

Wpłynęło do redakcji we wrześniu 1994 r.

Abstract

The so-called "small" (500 m \times 150 m) numerical model of rock mass covering vicinity of a longwall working in seam 352 in the "Staszic" coal mine has been built. The model is composed of a series of 43 layers of the thickness of about 100 m above, and 20 layers of the thickness 50 m below the seam. The model was divided into 9750 rectangular elements (grid 150 (W) \times 65 (H)) of the width from 2.0 m to 5.0 m and height from 1.0 m to 3.55 m. In the longwall working 4.0 m wide and 3.65 m high, the roof support was modelled by an 8-element support member of axial stiffness and yield force equal to 30 MN/m and 1.03 MN, respectively. At the rear end of the longwall working the caved zone was modelled, with shear and bulk elastic moduli increasing with distance to simulate the effect of consolidation of the gob.

Taking advantage of the specific features of the finite difference code FLAC, the mining of a coal seam at different rates has been simulated. Since FLAC is an explicit code, using time-marching method to solve the algebraic equations, the solution to a problem requires a number of computational steps. During computational stepping, the information associated with the phenomenon studied is propagated across the elements in the finite difference grid at a finite speed, which well corresponds to the behavior of the materials of viscous properties. As a result of the simulation it has been found *i.a.*, that a 10-fold increase of the extraction rate results in a decrease of the fractured zone in rock mass in proximity of the longwall working in front of the mining face, and moving towards the face, of the zone of concentration of the maximum principal and shear stresses. The maximum principal stresses at "fast" mining are at the same time lower by over 50% than stresses corresponding to "slow" mining rate, concentrated at a greater distance from the excavation. The tenfold increase of the mining rate is accompanied also by about 7-fold decrease of the value of the rock displacement towards longwall excavation and about 8-9-fold decrease of roof settlement in the supported part of the working. These preliminary results are encouraging for the use of high rates of seam extraction.