ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985

Seria: GÓRNICTWO z. 138 Nr kol. 840

Henryk GIL
Stefan MUSIOŁ
Andrzej KACZMARCZYK

BADANIA LABORATORYJNE SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNYCH WŁASNOŚCI SKAŁ

1. WPROWADZENIE

Wyniki badań laboratoryjnych i obserwacje w kopalniach przeprowadzone w ostatnich latach wskazują, że stosowany do tej pory dość powszechnie do opisu zjawisk zachodzących w górotworze liniowy model sprężysty górotworu może być z powodzeniem wykorzystywany tylko w pewnym ograniczonym zakresie. Aprokeymując modelem sprężystym górotwór rzeczywisty musimy bowiem pamiętać, że odkształcenie, które uważamy za sprężyste jest tylko w części odwracalnym. Stwierdzono bowiem doświadczalnie, że górotwór posiada zdolność do odkształceń sprężysto-plastycznych oraz opóźnienia sprężystego i relaksacji. Typowym procesem sprężystym w górotworze jest proces odciążania.

Przy obciążeniu natomiast narasta w górotworze odkształcenie sprężysto-plastyczne, przy czym stosunek odkształcenia plastycznego do sprężystego jest w różnych skałach różny.

Dla opisu niektórych zjawisk zachodzących w górotworze konieczne jest więc zastosowanie bardziej złożonych modeli uwzględniających warstwowość górotworu i jego sprężysto-plastyczne własności.

W artykule niniejszym przedstawiono wstępne wyniki badań laboratoryjnych przeprowadzonych w Instytucie Techniki Eksploatacji Złóż Politechniki Śląskiej nad zagadnieniem sprężysto-plastycznego zachowania się węgla i skał.

2. SPOSÓB PRZEPROWADZENIA BADAŃ LABORATORYJNYCH

Przeprowadzone badania laboratoryjne wykazały, że wielkością charakteryzującą sprężysto-plastyczne własności skał budujących górotwór jest stosunek odkształcenia plastycznego do odkształcenia całkowitego badanej próbki skalnej, który nazwiemy współczynnikiem plastyczności

$$\beta = \frac{\varepsilon_{pl}}{\varepsilon_{całk}}$$

Współczynnik ten charakteryzuje ponadto zdolność skał do akumulacji energii sprężystej, a więc również ich skłonność do tąpań. Może więc służyć jako miara naturalnej skłonności skał i węgla do tąpań. Wyznacza się go w oparciu o badania laboratoryjne przeprowadzone na próbkach węgla i skał.

Im stosunek odkształcenia plastycznego do całkowitego osiąga wyższą wartość, tym ilość zakumulowanej energii sprężystej jest mniejsza, gdyż odpowiednio duża część pracy wydatkowanej w trakcie ściskania próbki zużywana jest na jej plastyczne odkształcenie.

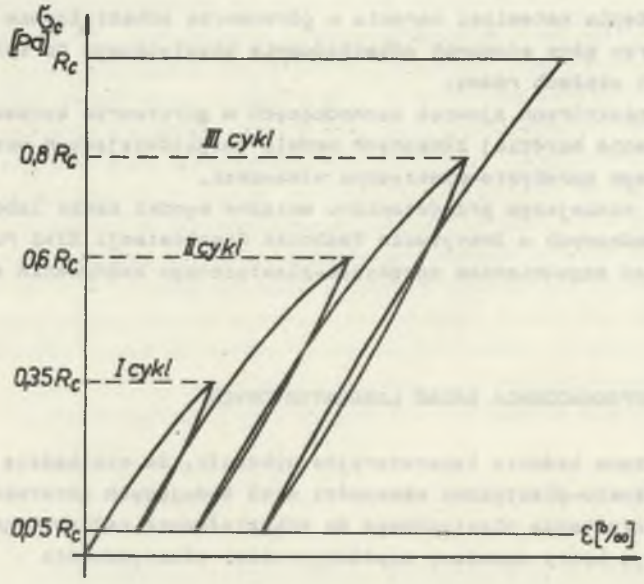
Przy małych wartościach współczynnika plastyczności następuje wzrost ilości energii sprężystej zakumulowanej w próbce.

Niesprzyjający układ innych czynników decydujących o tąpnięciu, takich jak np. duża koncentracja naprężenia w górotworze w otoczeniu wyrobisk górniczych, może doprowadzić do tąpnięcia w węglu lub skałach otaczających pokłady węgla charakteryzujących się małą wartością współczynnika plastyczności.

Współczynnik plastyczności jest więc parametrem charakteryzującym jednocześnie sprężysto-plastyczne własności górotworu oraz naturalną skłonność węgla i skał do tąpań.

Dla wyznaczenia współczynnika plastyczności istotne jest przestrzeganie pewnego reżimu badań.

Odkształcenie plastyczne, sprężyste i całkowite można pomierzyć badając próbkę skały w jednoosiowym stanie naprężenia w procesie obciążania i odciążania.



Rys. 1. Schemat badań do określenia współczynnika plastyczności

Badania przeprowadzano na próbkach cylindrycznych o średnicy około 43 mm i stosunku wysokości do średnicy próbki równym 2:1.

Na dolnej płycie oporowej maszyny wytrzymałościowej umieszczono centrycznie specjalny uchwyt z zamontowanymi czujnikami zegarowymi (typ MDa 10/m) o dokładności pomiaru 0,01 mm służącymi do pomiaru wielkości odkształcenia podłużnego badanej próbki.

Po zmierzeniu i centrycznym umieszczeniu badanej próbki w maszynie wytrzymałościowej dokonano wstępnego jej obciążenia do wielkości równej 5% obciążenia krytycznego, wyznaczonego uprzednio na serii próbek pobranych z tego samego miejsca opróbowania. Oznaczenia wytrzymałości próbek na ściskanie dokonuje się zgodnie z zaleceniami Międzynarodowego Biura Mechaniki Górotworu [2].

Przy takim wstępnym obciążeniu zerowano czujniki, po czym obciążono i odciążono próbki z prędkością od 50 do 100 N $cm^{-2}s^{-1}$ w trzech cyklach kolejno do wielkości 0,35; 0,60 i 0,80 obciążenia krytycznego, odciążając je każdorazowo do wielkości 0,05 P_{kr}. Jednocześnie w czasie kolejnych cykli obciążania i odciążania odczytywano na czujnikach zegarowych wartości odkształceń i odpowiadające im wielkości obciążeń.

Odczytów takich dokonywano co 1000 N przy badaniu próbek słabszych i co 2000 N przy próbkach mocniejszych, tak ażeby w każdym cyklu obciążenia i odciążania otrzymać przynajmniej 3-4 punkty, w których odczytano odkształcenie i obciążenia.

Po zakończeniu ostatniego cyklu obciążenia i odciążenia, obciążono próbkę do zniszczenia wyznaczając jej wytrzymałość na ściskania. W dalszej analizie były brane pod uwagę tylko wyniki badań tych próbek, które w trakcie kolejnych cykli obciążenia i odciążania osiągnęły wartości 0,35 Rc, 0,6 Rc i 0,8 Rc.

Odczytane wielkości obciążenia przeliczono następnie na naprężania, zaś odkształcenia na odkształcenie właściwe i sporządzono wykresy dla poszczególnych próbek, wyliczając równocześnie wartość współczynnika plastyczności jako średnią z wartości określonych dla kolejnych cykli obciążenia i odciążenia. Dla jednego punktu opróbowania badania przeprowadzono na 3-5 próbkach. Końcowy wynik jest średnią arytmetyczną z pomiarów wykonanych na wszystkich próbkach z danego miejsca opróbowania. Badania przeprowadzono na próbkach zorientowanych, prostopadle do ich uwarstwienia w jednoosiowym stanie naprężenia z tarciem u podstawy próbki.

Próbki do badań pobierano z przodków wyrobisk udostępniających, przygotowawczych lub eksploatacyjnych usuwając warstwę węgla lub skały o strukturze zwietrzałej, zniszczonej robotami strzałowymi ewentualnie pracą maszyn urabiających. Próbki pobierane były również z odwiertów z otworów badawczych.

3. WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH NAD OCENĄ SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNYCH WŁASNOŚCI SKAŁ

Dotychczasowe badania nad oceną sprężysto-plastycznych własności skał przeprowadzono na próbkach węgla pochodzących z pokładów 501 i 510 kopalni "Wieczorek" oraz piaskowca, łupku ilastego i piaszczystego z kopalń "Jastrzębie", "ZMP", "1 Maja" i "Ziemowit". Badaniami objęto siadem przodków ścianowych w wymienionych pokładach oraz kilka otworów badawczych w przypadku badania piaskowca, łupku piaszczystego i łupku ilastego. Wyniki przeprowadzonych badań zawierają tabele 1, 2, 3 i 4, natomiast na rysunkach 2, 3, 4 i 5 przedstawiono przykładowo wykresy obciążania i odciążenia badanych próbek.

Tabela 1

Wyniki pomiarów współczynnika plastyczności dla węgla

Lp.	Kopalnia	Pokład	Ściana	Wartość współczynnika plastyczności dla kolejnych cykli obciążenia i odciążenia			Średnia wartość współczynnika plastyczności	R_c [MPa]
				I cykl	II cykl	III cykl		
1	Wieczorek	501	7	0,080	0,080	0,120	0,093	28,0
2		501	8	0,126	0,105	0,105	0,112	28,1
3		501	12	0,068	0,072	0,066	0,068	28,3
4		510	5	0,092	0,085	0,102	0,093	24,4
5		510	6	0,097	0,078	0,085	0,087	20,1
6		510	113	0,140	0,120	0,124	0,128	20,8
7		510	116	0,135	0,120	0,115	0,123	22,8

Tabela 2

Wyniki pomiarów współczynnika plastyczności dla łupku ilastego

Lp.	Kopalnia	Wartość współczynnika plastyczności w kolejnych cyklach obciążenia i odciążenia			Średnia wartość współczynnika plastyczności	R_c [MPa]
		I cykl	II cykl	III cykl		
1	1 Maja	0,14	0,18	0,23	0,18	39,5
2	1 Maja	0,17	0,17	0,17	0,17	26,6
3	ZMP	0,16	0,21	0,26	0,21	37,0
4	ZMP	0,15	0,21	0,20	0,19	37,0
5	ZMP	0,20	0,22	0,20	0,21	37,2
6	Ziemowit	0,20	0,14	0,15	0,16	37,7
7	Ziemowit	0,17	0,21	0,22	0,20	41,2

Tabela 3

Wyniki pomiarów współczynnika plastyczności dla łupku piaszczystego

Lp.	Kopalnia	Wartość współczynnika plastyczności dla kolejnych cykli obciążenia i odciążenia			Średnia wartość współczynnika plastyczności	R_c [MPa]
		I cykl	II cykl	III cykl		
1	1 Maja	0,24	0,21	0,21	0,22	53,0
2	1 Maja	0,23	0,21	0,25	0,23	54,4

Tabela 4

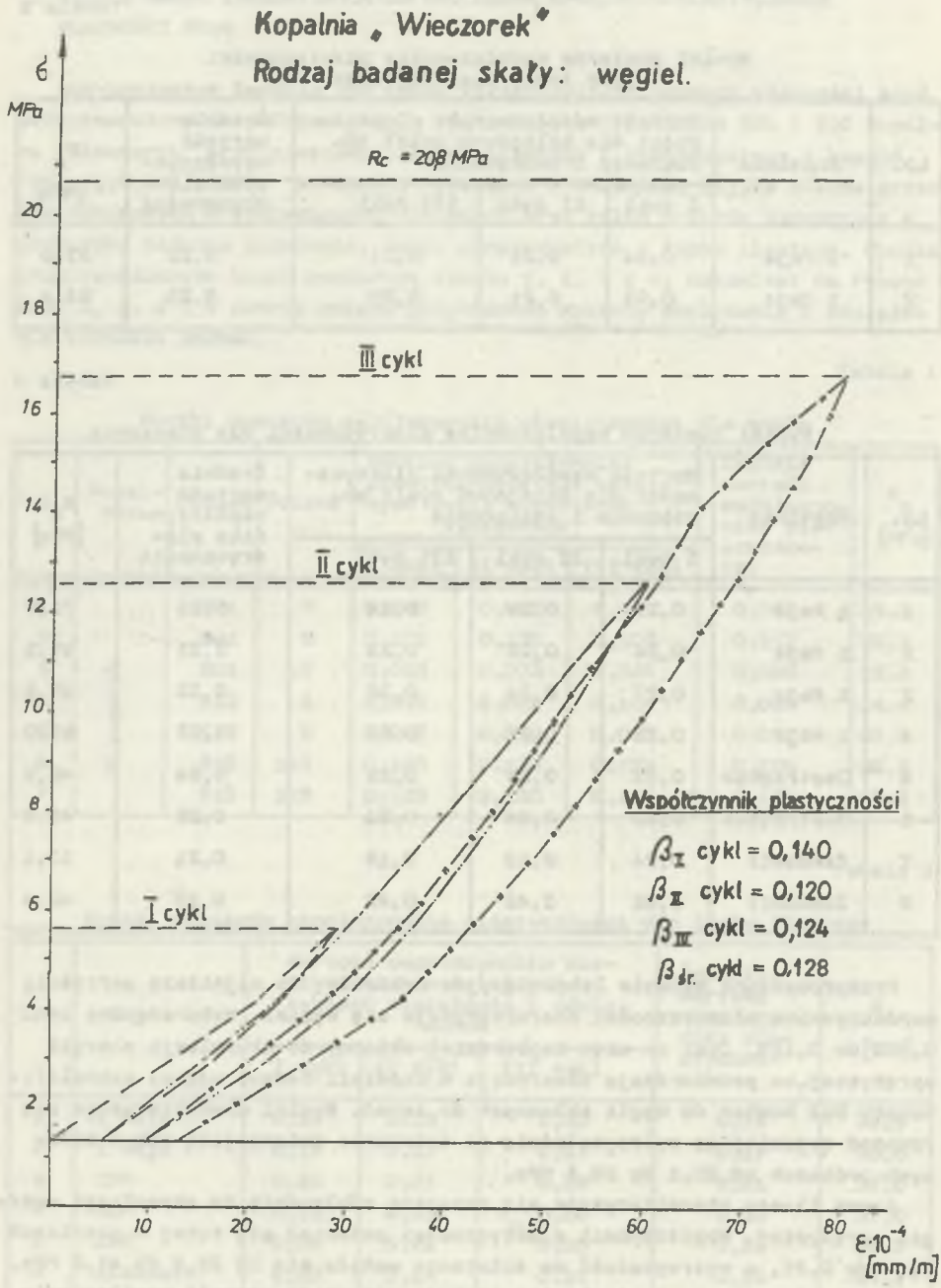
Wyniki pomiarów współczynnika plastyczności dla piaskowca

Lp.	Kopalnia	Wartość współczynnika plastyczności dla kolejnych cykli obciążenia i odciążenia			Średnia wartość współczynnika plastyczności	R_c [MPa]
		I cykl	II cykl	III cykl		
1	1 Maja	0,25	0,26	0,24	0,25	71,0
2	1 Maja	0,24	0,22	0,23	0,23	69,5
3	1 Maja	0,27	0,34	0,36	0,32	56,6
4	1 Maja	0,22	0,21	0,22	0,22	55,0
5	Jastrzębie	0,25	0,23	0,23	0,24	46,9
6	Jastrzębie	0,28	0,24	0,24	0,25	45,8
7	Ziemowit	0,24	0,19	0,19	0,21	37,1
8	Ziemowit	0,42	0,42	0,42	0,42	40,4

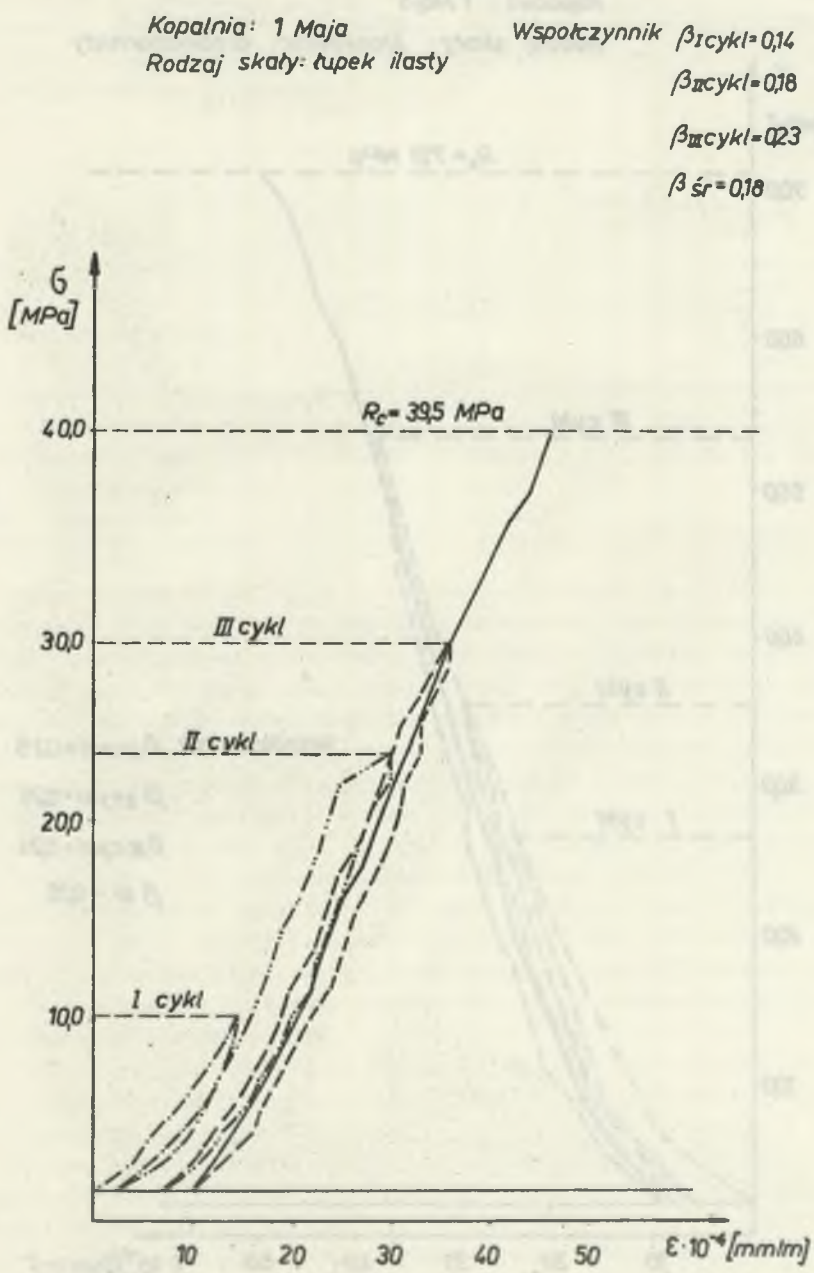
Przeprowadzone badania laboratoryjne wykazały, że najniższą wartością współczynnika plastyczności charakteryzuje się węgiel. Waha się ona od 0,068 do 0,128. Jest on więc najbardziej skłonny do akumulacji energii sprężystej, co potwierdzają obserwacje w kopalni. Badany węgiel zakwalifikowany był bowiem do węgli skłonnych do tąpań. Węgiel charakteryzuje się również najmniejszą wytrzymałością na ściskanie zmieniającą się w badanych próbkach od 20,1 do 28,3 MPa.

Łupek ilasty charakteryzuje się mniejszą zdolnością do akumulacji energii sprężystej. Współczynnik plastyczności zmieniał się tutaj w granicach 0,17 do 0,21, a wytrzymałość na ściskanie wahała się od 26,6 do 41,2 MPa.

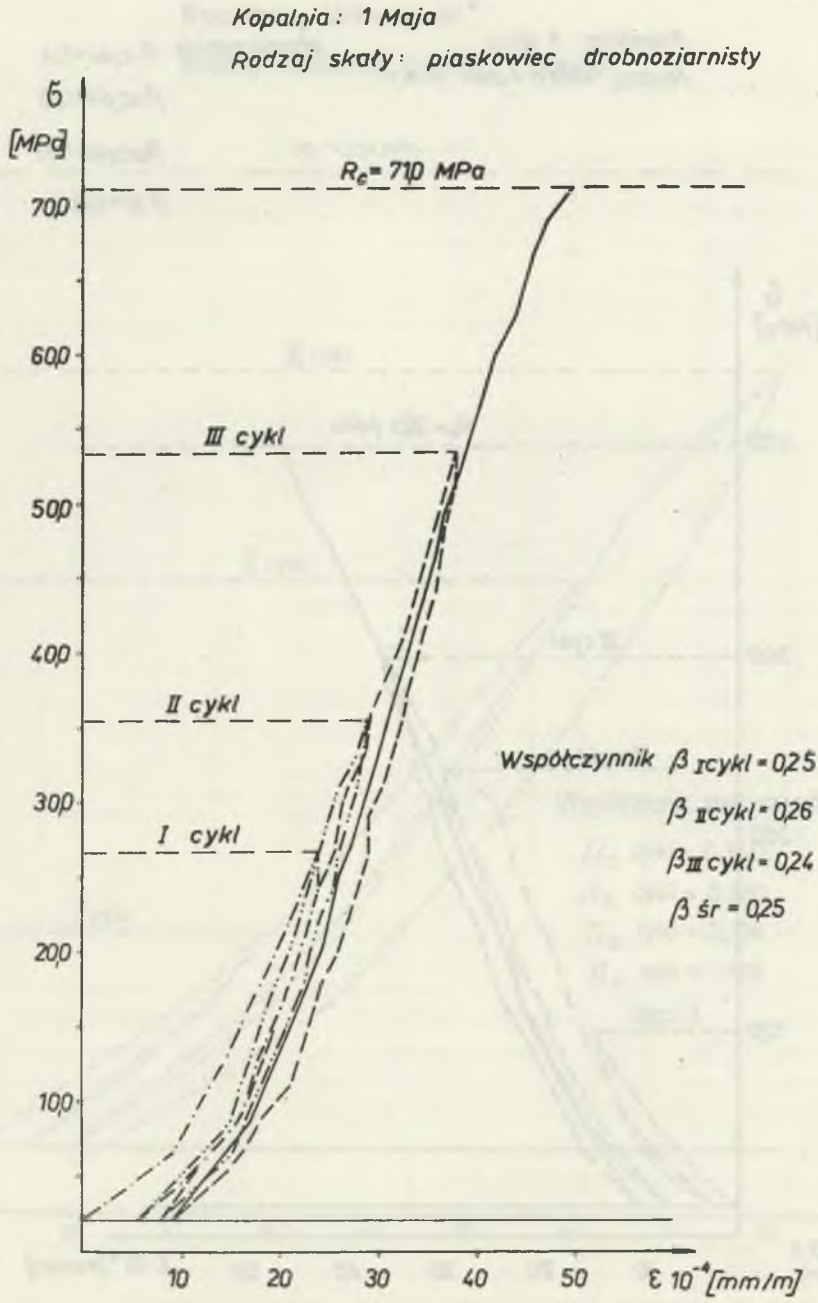
Łupek piaszczysty i piaskowiec cechuje najwyższa wartość współczynnika plastyczności oscylująca w pierwszym przypadku w pobliżu wartości 0,22 - 0,23, natomiast dla piaskowca osięga ona wartość wahającą się od 0,21 do 0,42.



Rys. 2. Wyznaczenie współczynnika plastyczności dla węgla na przykładzie próbki z pokładu 510 KWK "Wieczorek"



Rys. 3. Wyznaczenie współczynnika plastyczności dla łupku ilastego na przykładzie próbki z kopalni "1 Maja"



Rys. 4. Wyznaczenie współczynnika plastyczności dla piaskowca na przykładzie próbki z kopalni "1 Maja"

W przypadku piaskowca i łupku piaszczystego zanotowano również najwyższą wartość wytrzymałości na ściskanie wynoszącą odpowiednio 71 MPa i 54,4 MPa. Tabela 5 zawiera omawiane wartości współczynnika plastyczności i wytrzymałości na ściskanie.

Tabela 5

Maksymalne i minimalne wartości współczynnika plastyczności i wytrzymałości na ściskania badanych próbek skał i węgla

Lp.	Rodzaj skały	Wartość współczynnika plastyczności		Wytrzymałość na ściskanie R_c [MPa]	
		min	max	min	max
1	Węgiel	0,068	0,128	20,1	28,3
2	Łupek ilasty	0,170	0,210	26,6	41,2
3	Łupek piaszczysty	0,220	0,230	53,0	54,4
4	Piaskowiec	0,210	0,420	37,1	71,0

Przedstawione wyniki badań potwierdzają słuszność tezy sformułowanej na początku tego artykułu podważającej zasadność stosowania w każdym przypadku do opisu zjawisk zachodzących w górotworze liniowego modelu sprężystego. Wszystkie badane skały cechowały się bowiem własnościami sprężysto-plastycznymi, a więc model opisujący zjawiska zachodzące w górotworze powinien uwzględniać te właściwości oraz ponadto warstwowość górotworu.

Dopuszczalnym wydaje się stosowanie liniowego modelu sprężystego w niektórych jedynie przypadkach, zawsze jednak poprzedzonych rozpoznaniem sprężysto-plastycznych własności górotworu. Zastosowanie takiego modelu jest możliwe wówczas, gdy wielkość współczynnika plastyczności jest o rząd mniejsza od wartości przeciętnej dla danego rodzaju skał. Przykładem może tutaj być węgiel, dla którego wartość współczynnika plastyczności jest zwykle większa od 0,1; niekiedy jednak osiąga ona wartość znacznie mniejszą, jak to ma miejsce w przypadku pokładu 501, gdzie wielkość współczynnika plastyczności wynosiła 0,068.

W takim przypadku dla węgla bardzo sprężystego zastosowanie do rozważań liniowego modelu sprężystego może dać zadowalająca wyniki, wystarczająco dokładne dla celów ruchowych.

Kolejną istotną kwestią wynikającą z przeprowadzonych badań jest ocena przydatności zaproponowanego współczynnika plastyczności jako miary naturalnej skłonności skał do tąpań.

Dotychczasowe obserwacje wykazują, że tąpania występują niemal wyłącznie w węglu. Przyjmując więc wartość współczynnika plastyczności uzyskaną w trakcie badania próbek węgla z pokładów, gdzie występowały tąpania jako charakterystyczną dla skał posiadających naturalną skłonność do tąpań moż-

na zaproponować wstępną klasyfikację skał z uwagi na ich naturalną skłonność do tąpań:

$\beta \leqslant 0{,}15$ - skały silnie skłonne do tąpań,

$0{,}15 < \beta \leqslant 0{,}30$ - skały średnio skłonne do tąpań,

$0{,}30 < \beta \leqslant 0{,}50$ - skały słabo skłonne do tąpań,

$\beta > 0{,}50$ - skały nieskłonne do tąpań.

Dalsze obszerne badania pozwolą uściślić zaproponowane granice podziału. Już teraz jednak można powiedzieć, że sposobem zmniejszenia stanu zagrożenia tąpaniami jest zmiana sprężysto-plastycznych własności skał budujących górotwór, zmierzająca w kierunku ich uplastycznienia, poprzez oddziaływanie na nie, np. preparatami chemicznymi, poddanie działaniu ultradźwięków itp.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Reasumując dotychczasowe rozważania i wyniki przeprowadzonych badań stwierdza się, że:

1. Badane próbki skał i węgla cechowały się własnościami sprężysto-plastycznymi, przy czym wielkość odkształcenia plastycznego i sprężystego dla różnych skał jest różna. Największe odkształcenia plastyczne zanotowano w piaskowcach, najmniejsze w węglu.

2. Wielkością dobrze opisującą sprężysto-plastyczne własności skał jest zaproponowany w tym artykule współczynnik plastyczności będący stosunkiem odkształceń plastycznych do całkowitych.

3. Współczynnik ten jest również miarą zdolności skał do akumulacji energii sprężystej, może więc także służyć do klasyfikowania skał pod względem ich naturalnej skłonności do tąpań.

4. Stosowany do tej pory powszechnie do opisu zjawisk zachodzących w górotworze liniowy model sprężysty górotworu należy zastąpić modelem uwzględniającym rzeczywiste, sprężysto-plastyczne własności górotworu oraz jego warstwowość.

5. Liniowy model sprężysty może być stosowany w niektórych tylko przypadkach, zawsze jednak poprzedzonych rozpoznaniem sprężysto-plastycznych własności górotworu. Zastosowanie tego modelu jest możliwe jedynie dla skał bardzo sprężystych wówczas, gdy wartość współczynnika plastyczności jest co najmniej o rząd mniejsza od wartości przeciętnej dla danego rodzaju skał.

6. Podany w artykule podział skał z uwagi na ich naturalną skłonność do tąpań, przyjmujący jako kryterium podziału wartości współczynnika plastyczności, jest pierwszą propozycją w tej mierze, wymagającą kontynuacji

badań i uściślenia, wskazuje on jednak drogę dalszych badań nad opanowaniem zjawiska tąpań m.in. poprzez zmianę własności fizykomechanicznych skał zmierzającą w kierunku ich uplastycznienia.

LITERATURA

[1] Badania laboratoryjne nad sprężysto-plastycznym zachowaniem się skał. Prace naukowo-badawcze Instytutu Techniki Eksploatacji Złóż (niepublikowane - Biblioteka Instytutu Techniki Eksploatacji Złóż Politechniki Śląskiej).

[2] Pforr H.: Wytyczne Międzynarodowego Biura Mechaniki Górotworu do określania parametrów geomechanicznych skał i górotworu.

Recenzent: Doc. dr inż. Władysław KONOPKO

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1985 r.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРОГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СКАЛ

Р е з ю м е

В статье представлены результаты исследований по определению упрогопластических свойств скал. Предложена мера и дан способ ведения лабораторных исследований, позволяющий определить эти свойства. Сделана пробная классификация угля и скал относительно их упрого-пластических свойств, позволяющая на однозначный выбор модели описывающей явления имеющие место в горообразовании. Дан также анализ пригодности предложенной меры для классификации угля и скал относительно их естественной склонности к горным ударам.

PRELIMINARY RESULTS OF INVESTIGATIONS OF ROCK ELASTO-PLASTIC PROPERTIES

S u m m a r y

In the paper are given the results of investigations concerning the determination of the elasto-plastic properties of rocks. The measure and laboratory tests procedure for the determination of these properties are proposed. A preliminary attempt at the classification of coal and rocks is achieved in view of their elasto-plastic properties allowing to choose univocally a model describing the phenomena which occur in the rocks. The usefulness of the proposed measure of the elasto-plastic properties of rocks for the classification of coal and rocks in regard to their natural aptitude for rock bursts, is also given.