

Mirosława BUKOWSKA

Bożena PRUSIŃSKA

Jerzy SMOŁKA

Główny Instytut Górnictwa, Katowice

## POZNISZCZENIOWE WŁASNOŚCI WĘGLI I SKAŁ KARBONSKICH GÓRNOŚLĄSKIEGO ZAGŁĘBIA WĘGLOWEGO

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono założenia badawcze, metodyczne i aparaturę (sztywna prasa wytrzymałościowa MTS-810) oraz omówiono wyniki badań parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych wybranych węgli i skał płonnych pochodzących z różnych ogniw stratygraficznych karbonu GZW. Szczególną uwagę poświęcono badaniom własności mechanicznych skał płonnych i węgli w fazie pozniszczeniowej rozpadu (moduł spadku i naprężenie resztkowe), które mogą posłużyć jako podstawa do badań nad zagadnieniami oceny i prognozowania zagrożeń tężeniami.

### WSTĘP

Dotychczasowe laboratoryjne badania dotyczące opisu zachowanie się materiału skalnego odnosiły się do scharakteryzowania własności w zakresie przedniszczeniowym. Możliwość interpretacji danych uwarunkowana jest posiadaną przez laboratoria aparaturą badawczą. Będąca na wyposażeniu GIG sztywna maszyna wytrzymałościowa (o sztywności  $2,2 \times 10^9$  N/m), amerykańskiej firmy MTS, pozwala na uzyskania pełnej charakterystyki materiałowej zarówno w fazie przedkrytycznej, jak i pokrytycznej, tj. po przekroczeniu wytrzymałości i odkształceń krytycznych. Własności pokrytyczne materiału skalnego wiążą się z charakterystyką oceny jego skłonności do tężenia. Opracowanie danych może być wykorzystane jako podstawa do szczególnych badań nad zagadnieniami oceny i prognozowania zagrożeń tężeniami.

Przedstawione w niniejszym artykule wyniki badań własności pokrytycznych są pierwszymi publikowanymi danymi obejmującymi parametry wytrzymałościowo-odkształceniowe skał w fazie pokrytycznej - moduł spadku (pozniszczeniowy)  $M$  oraz naprężenie resztkowe  $\sigma_r$ . Badaniami zostały objęte wybrane węgle i skały płonne z 24 kopalń reprezentujące warstwę od libiąskich do gruszowskich.

## ZAŁOŻENIA BADAWCZE

Celem pracy jest omówienie wyników badań parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych wybranych węgli i skał płonnych z różnych ogniw w stratygraficznych karbonu GZW, ze szczególnym uwzględnieniem własności mechanicznych w fazie pozniszczeniowej. Takie badania można przeprowadzić na sztywnej maszynie wytrzymałościowej MTS-820, sterowanej automatycznie za pomocą serwomechanizmów umożliwiających kontrolę procesu badania zarówno za pomocą obciążeń, przemieszczeń jak i odkształceń w fazie przed- i pozniszczeniowej. W badaniach tych najważniejszym elementem jest charakteryzowanie dynamiki rozpadu skał po przekroczeniu obciążeń krytycznych. Z tego względu podstawowym założeniem dla techniki wykonywania badań jest stosowanie sterowania pracą maszyny wytrzymałościowej za pomocą odkształceń.

Sterowanie za pomocą sygnału odkształcenia pozwala na kontrolę przebiegu procesu rozpadu po przekroczeniu naprężeń krytycznych. Współdziałający z maszyną wytrzymałościową rejestrator prowadzi automatyczny zapis danych, co pozwala na uzyskanie pełnej krzywej "naprężenie-odkształcenie" przy próbie jednoosiowego ściskania.

Na podstawie pełnej charakterystyki zależności można określić parametry, które opisują mechaniczne własności skał. Należą do nich:

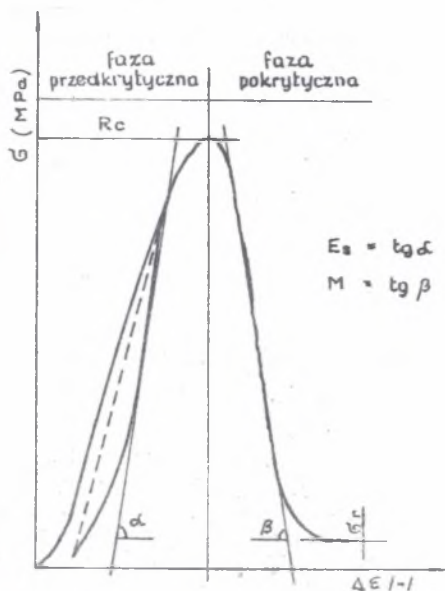
- wytrzymałość na ściskanie  $R_c$ , MPa,
- moduł sprężystości  $E_0$ , MPa - dla fazy przedkrytycznej,
- moduł spadku (pozniszczeniowy)  $M$ , MPa - dla fazy pokrytycznej,
- naprężenie reszkowe  $\sigma_r$ , kN.

## METODYKA I ZAKRES WYKONANYCH BADAŃ

Badania własności pozniszczeniowych skał są możliwe jedynie przy ich wykonywaniu w sztywnych maszynach wytrzymałościowych sterowanych za pomocą przemieszczeń lub odkształceń [1, 2, 3].

Badania dynamiki rozpadu węgli i skał płonnych przeprowadzono na sztywnej maszynie wytrzymałościowej MTS-810 o maksymalnym nacisku 1000 kN i sztywności 220 T/mm ( $2,2 \times 10^9$  N/m). Maszyna wyposażona jest we wspomagający zwrotny system sterowania pracujący w pętli zamkniętej. Układ taki umożliwia sterowanie maszyną poprzez kontrolę przemieszczenia tłoka obciążającego, kontrolę obciążenia lub bezpośrednio przez kontrolę odkształceń próbki. W badaniach wykorzystano pierwezy z tych sposobów sterowania ze względu na możliwość prowadzenia pełnej kontroli nad rozpadem próbki. Z układem sterującym współpracuje rejestrator x-y-t, dzięki któremu automatycznie zapisywany jest przebieg charakterystyki rozpadu "σ - ε" badanego materiału.

Badania prowadzono poprzez kontrolę odkształceń ze sterowaniem prędkości przesuwu tłoka obciążającego na próbkach sześciennych (50 x 50 x 50 mm) lub walcowych o smukłości 1. Wszystkie badane próbki odpowiadały wymogom w zakresie prostopadłości, równoległości i gładkości powierzchni stykowych w płaszczyznami dociskowymi maszyny wytrzymałościowej. Próbki obciążono prostopadle do uwarstwienia równomiernie wzrastającą siłą, z prędkością odkształcenia w granicach od 0,002 do 0,04 mm/s do wartości ok. 70%  $P_{kr}$  (w granicach odkształceń sprężystych), a następnie odciążono do wartości obciążenia bliskiej zeru. Ponowne obciążenie, z zachowaniem takiej samej prędkości, prowadzono aż do momentu zniszczenia próbki i dalej w celu uzyskania charakterystyki pokrytycznej [4]. Korzystając z pełnej krzywej "σ - ε", wyznaczono wytrzymałość na ściskanie  $R_c$ , moduł sprężystości  $E_s$  dla fazy przedkrytycznej (na podstawie nachylenia stycznej do krzywej przy odciążaniu próbki) i moduł spadku  $M$  dla fazy pokrytycznej (na podstawie nachylenia stycznej do krzywej pozniszczeniowej) oraz naprężenie reszkowe  $\sigma_r$ , tj. jednostkowe obciążenie, jakie próbka zdolna jest przenieść po zniszczeniu (rys. 1).



Rys. 1. Schemat pełnej krzywej "σ - ε" przy próbie ściskania  
Fig. 1. The scheme of full curve "σ - ε" by compression test

Badaniami objęto węgle i skały płonne z różnych ogniw stratygraficznych karbonu i różnych rejonów GZW. Ogółem przebadano 303 serie badawcze (w każdej średnio 5 próbek), w tym:

- 142 serie węglowe dla podkładów 100-800,
- 65 serii piaskowców grup 300-500 i 800.

- 62 serie mułowców grup 300-500 i 800,
- 34 serie ilowców grup 300-600.

W przedmiotowym opracowaniu przedstawione zostały wyniki badań węgla i skał płonnych z następujących kopalń i pokładów:

- Janina	- 116, 118, 203/1
- Ziemowit	- 209, 308
- Piast	- 206, 209
- Brzeszcze	- 325, 347
- Bolesław Śmiały	- 318
- Jaworzno	- 324
- Julian	- 416/2, 418
- Gottwald	- 402, 501, 510
- Sośnica	- 405/1, 418/1, 501
- Nowy Wirek	- 413/2, 414, 414/1, 415
- Wujek	- 406/1, 501, 510
- Rozbark	- 407/1
- Barbara Chorzów	- 419, 501, 506
- Moezzenica	- otwór pod szyb VI, 416/3, 501/1, 501/1-2, 502/1, 503/1-2, 505/1, 506/1, 506/1-2, 506/2, 510/1, 510/1-2
- Pokój	- 504, 507, 510, 620
- Halemba	- 507
- Śląsk	- 502, 507
- Polska	- 501
- Kazimierz Juliusz	- 510
- Miechowice	- 510
- Dymitrow	- 507
- Jowisz	- 616
- Marcel	- 703/1-2, 705/3, 707/1-2, 713/1-2
- Gliwice	- 830, 833, 843, 845

#### OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Mimo dużej ilości opróbowanego materiału skalnego (303 serie pomiarowe) pobranego z różnych ogniw stratygraficznych karbonu średnie wartości parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych dla większości grup pokładów nie mogą być traktowane jako reprezentatywne w skali całego GZW.

Pod względem pozycji stratygraficznej badane węgle pochodziły prawie z pełnego profilu stratygraficznego GZW, z wyjątkiem pokładów grupy 900 (warstwypietrzkowickie), a średnie wartości ich parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych przedstawiają się następująco:

$R_C$  - 11,3 - 33,0 MPa  
 $E_s$  - 1410 - 2659 MPa  
 $M$  - 3879 - 18444 MPa  
 $r$  - 0,4 - 4,9 kN

Najniższymi wartościami parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych charakteryzują się węgle grupy 700 i 800 (tablica 1), co prawdopodobnie związane jest z wysokim stopniem uwęglenia tych pokładów oraz silnie rozwiniętą tektonikę rejonów pobierania prób. Średnie wartości ww. parametrów węgla grupy 600 można uznać za niereprezentatywne ze względu na małą ilość serii pomiarowych.

W przeprowadzonych badaniach poszczególne rodzaje skał płonnych były reprezentowane mniej licznie niż węgle, mimo iż ogółem przebadano 161 serii. Piaskowce i mułowce reprezentowały skały warstw orzeskich, rudzickich, siódzowych i gruszowskich. Iłowce natomiast pochodziły z warstw orzeskich do porębskich.

Średnie wartości parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych dla poszczególnych rodzajów skał płonnych kształtują się następująco:

		Rodzaj skał		
		piaskowiec	mułowiec	iłowiec
$R_C$ (MPa)	min	49,0	39,4	49,5
	max	83,0	73,3	74,3
$E_s$ (MPa)	min	8990	7478	8438
	max	15264	12786	14391
$M$ (MPa)	min	16530	18326	28305
	max	43664	42002	38757
$\sigma_r$ (kN)	min	5,5	14,3	14,3
	max	17,7	29,9	33,6

Najniższymi wartościami parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych odznaczają się skały płonne warstw orzeskich. W niższych ogniwach stratygraficznych obserwuje się wyższe wartości ww. parametrów. Prawdopodobnie to nie dotyczy piaskowców i mułowców warstw gruszowskich oraz iłowców warstw porębskich. Wyjaśnienie, czy jest to wynikiem losowym (dobór próbek) czy przewidywalnością, wymagałoby dodatkowych badań na większej ilości próbek skalnych.

Średnie wartości parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych przebadanych węgla i skał GZW podano w tablicy 1.

Badania przedstawione w artykule dają pierwszy ogólny pogląd na zachowanie się węgla i skał płonnych GZW w fazie pokrytycznej. Z tego względu stanowią cenny materiał do dalszych opracowań i porównań. Wartości niektórych parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych będą jednak pewne

Tablica 1

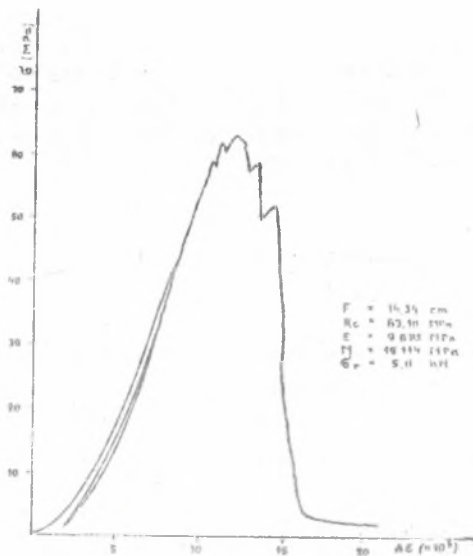
## Zestawienie średnich wartości parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych węgla i szkła płonnych GZW

Grupa próbek	Ilość serii próbek	Wyznaczenie na ściskanie w jednoosiowym stanie			Moczą spryskiwaną			Moczą suchą			Impulsowa rezystancja			
		$\sigma_{\text{pr}} / \text{MPa}$	$\epsilon_{\text{pr}} / \%$	$\sigma_{\text{pr}} / \text{MPa}$	$\sigma_{\text{pr}} / \text{MPa}$	$\sigma_{\text{pr}} / \text{MPa}$	$\sigma_{\text{pr}} / \text{MPa}$	$\sigma_{\text{pr}} / \text{MPa}$	$\sigma_{\text{pr}} / \text{MPa}$	$\sigma_{\text{pr}} / \text{MPa}$	$\sigma_{\text{pr}} / \text{MPa}$	$\sigma_{\text{pr}} / \text{MPa}$	$\sigma_{\text{pr}} / \text{MPa}$	
<b>Węgiel</b>														
1.	100	5	19,6	8,5	43,6	1410	454,0	36,19	10623,0	91,10	4,9	2,8	57,32	
2.	200	17	29,6	9,1	27,17	2541	517,1	20,25	9686,0	52,52	0,8	0,5	133,45	
3.	300	8	25,6	11,0	42,97	2478	650,6	26,26	6901,0	62,68	2,6	2,6	99,00	
4.	400	34	24,3	10,4	42,96	2561	470,2	18,36	13328	9502,6	71,30	2,2	2,1	99,19
5.	500	67	24,4	10,8	44,35	2659	909,0	34,19	16374	11063,0	67,56	1,3	1,2	99,34
6.	600	2	33,0	-	-	2484	-	-	15211	-	0,8	-	-	
7.	700	5	17,3	2,9	16,52	2318	236,0	2,00	8809	3649,5	41,43	2,0	1,2	59,27
8.	800	4	11,3	2,9	25,95	2180	516,3	23,68	3879	1768,9	45,45	2,0	0,8	41,76
<b>Elektroizolacja</b>														
9.	300	17	53,9	21,0	36,97	9654	3089,1	34,06	25993	8635,7	33,74	8,2	5,9	71,16
10.	400	9	83,0	26,2	31,62	15264	4182,9	27,40	43664	6355,5	14,56	5,5	4,2	76,23
11.	500	38	70,5	22,4	31,81	12459	4913,0	39,44	36956	19130,0	51,76	11,6	13,1	113,50
12.	800	1	49,0	-	-	8996	-	-	16530	-	17,7	-	-	
<b>Korozja</b>														
13.	300	21	51,3	14,0	27,20	9116	2046,3	22,47	26333	9402,3	35,71	15,2	5,4	35,55
14.	400	7	60,1	21,8	36,19	12786	5142,8	40,22	40031	25630,9	63,02	15,6	9,1	56,54
15.	500	30	73,3	15,0	20,52	12424	4424,7	35,61	42002	19317,5	45,99	29,9	15,8	52,77
16.	800	4	39,4	1,6	3,95	7478	333,7	4,46	18326	12699,9	69,30	14,3	3,6	25,42
<b>Izolacja</b>														
17.	300	10	50,0	16,0	31,95	8503	1922,0	22,61	28305	11300,8	39,93	23,8	13,2	55,56
18.	400	6	49,5	9,7	19,49	12865	3411,5	26,52	30004	12127,5	40,48	13,4	6,4	47,60
19.	500	17	74,3	21,4	26,86	14391	4549,1	31,61	35433	14654,0	41,36	15,2	11,9	78,59
20.	600	1	71,6	-	-	8438	-	-	38757	-	-	35,6	-	-

wętpliwości. Dotyczy to w szczególności wartości modułu spadku dla węgla. W dalszych badaniach celowe będzie zastosowanie innych metod pomiarowych dla obwerwacji i rejestracji zjawisk pokrytycznych i przebadanie większej ilości próbek węglowych z różnych rejonów GZW oraz uzupełnienie badań skał płonnych dających pogląd na kształtowanie się własności mechanicznych w całym profilu stratygraficznym.

#### PODSUMOWANIE

Badania prezentowane w artykule są pierwszymi systematycznymi badaniami węgla i skał płonnych GZW prowadzonymi w sztywnej maszynie wytrzymałościowej z rejestracją zależności "naprężenie-odkształcenie" w pełnym zakresie, tj. w przedziałach przed- i pokrytycznym. Badaniami objęto prawie pełny profil stratygraficzny węgla GZW oraz skał z warstw orzeskich, rudzkich, siodłowych, porębskich i gruszowackich. Ze względu na zbyt małą ilość serii pomiarowych w niektórych pokładach badanie wymaga dalszych systematycznych uzupełnień. Wyniki dokumentowanych badań stanowią podstawę do dalszych prac badawczych, szczególnie w zakresie oceny skłonności węgla i skał do tępań opierając się na ich charakterystykach pokrytycznych oraz dynamice rozpadu.



Rys. 2. Przykładowy wykres zależności " $\sigma$ - $\epsilon$ " dla piaskowca warstw orzeskich z KWK "Bolesław Śmiały"

Fig. 2. The example of curve " $\sigma$ - $\epsilon$ " of sandstone from Mine "Bolesław Śmiały"

Prezentowane wyniki mogą być wykorzystywane przy różnych problemach górniczych, w których wymagana jest znajomość własności mechanicznych węgla i skał. Dotyczy to szczególnie tych rejonów i poziomów stratygraficznych (i pokładów), w których przeprowadzono powyższe badania.

#### LITERATURA

- [1] Z.T. Bieniawski: Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling. Balkema, Rotterdam/Boston 1984.
- [2] F. Rummel, C. Fairhurst: Determination of the post-failure behaviour of brittle rock using a servo-controlled testing machine. Rock Mechanics, 1970.
- [3] W.R. Wawersik, C. Fairhurst: A study of brittle rock fracture in laboratory compression experiments. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 1970.
- [4] Praca GIG: Sposób określania dynamiki rozpadu próbek węgla i skał przy próbie ściskania oraz ich charakterystyki pokrytycznej. Katowice 1988.

Recenzent: Doc. dr inż. Tadeusz Godula

#### СВОЙСТВА УГЛЕЙ И КАРБОНСКИХ ПОРОД, ОБРАЗОВАВШИХСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАЗРУШЕНИЙ В ВЕРХНЕСИЛЕЗСКОМ УГОЛЬНОМ БАСЕЙНЕ

##### Резюме

В докладе представлены основы исследовательских работ, методика и аппаратура (жесткой пресс МТС-810), а также обсуждены результаты исследования прочностно-деформационных параметров избранных углей и пород из различных стратиграфических периодов карбонских отложений Верхне-Силезского Угольного Бассейна.

Особенное внимание обращено на исследования свойств горных пород и углей в стадии распада (модуль падения и остаточное напряжение), которые могут быть основой исследования вопросов оценки и прогноза горных ударов.

#### AFTER DEVASTATION CHARACTERISTIC OF CARBONIFEROUS COALS AND ROCKS IN UPPER SILESIAN COAL AREA

##### Summary

Test and methodical assumptions as well as testing equipment (stiff testing machine MTS-810) and results of stress-strain parameters of coal and rocks from different stratigraphic levels of the Upper Silesian Coal Basin have been presented in the paper. Particular attention has been paid to studying the mechanical properties of rock material in post-failure period (post-failure module, residual stress) which may form the basis for studying the problems of the assessment and prediction of burst hazards.