

*Patrycja Piątek**

TEST PUNKTOWY, TEST BRAZYLIJSKI I TEST NA JEDNOOSIOWE ŚCISKANIE — BADANIA PORÓWNAWCZE

1. Wprowadzenie

Znajomość właściwości mechanicznych i zachowania się skał odgrywa ważną rolę przy projektowaniu i wykonywaniu wszelkich przedsięwzięć inżynierskich w górnictwie i w budownictwie podziemnym. Jest ona niezbędna do oceny stateczności górotworu w sąsiedztwie wyrobisk oraz zapewnienia warunków bezpiecznego użytkowania wyrobisk i bezpiecznej w nich pracy.

Badania, na podstawie których oznacza się wartości wytrzymałości skał, prowadzone są zazwyczaj w specjalistycznych laboratoriach, gdzie warunki otoczenia są zwykle zupełnie inne od tych, w jakich skały występują w górotworze. Szczególnie trudno jest zapewnić, żeby po przewiezieniu prób skalnych do laboratorium i wykonaniu z nich próbek formnych do badań wytrzymałościowych materiał skalny miał taką samą wilgotność jak w warunkach naturalnych. Istnieje zatem potrzeba oznaczania własności wytrzymałościowych skał metodą badawczą, którą można stosować w warunkach polowych, zarówno w kopalniach podziemnych, jak i odkrywkowych.

Metodą stwarzającą takie możliwości jest metoda, w której właściwości wytrzymałościowe skał oznacza się na podstawie testu obciążania punktowego wykonywanego za pomocą polowej (niewielkiej, lekkiej, przenośnej, taniej) ręcznej prasy hydraulicznej. Dzięki tej metodzie w bardzo prosty, szybki i tani sposób oznaczyć można tzw. wskaźnik wytrzymałości punktowej skały (wytrzymałość skały na obciążenie punktowe).

Jedną z podstawowych zalet metody obciążania punktowego jest to, że testy na obciążanie punktowe można przeprowadzać na nieforemnych kawałkach materiału skalnego, które zwykle bez trudu można znaleźć w każdym wyrobisku. Metoda ta wydaje się szczególnie predestynowana do stosowania w górnictwie skalnym.

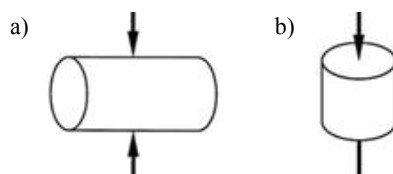
* Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, Gliwice

Dotychczas prezentowane wyniki badań na wytrzymałość punktową odnoszą się wyłącznie do wartości współczynnika przeliczeniowego pomiędzy wytrzymałością na obciążenie punktowe a wytrzymałością na jednoosiowe ściskanie [6]. Przeprowadzone w ostatnim czasie badania pozwoliły zebrać i przedstawić większą liczbę wartości wspomnianego powyżej współczynnika dla różnych piaskowców pochodzących z GZW, a także wartości współczynnika zależności pomiędzy wytrzymałością na obciążenie punktowe a wytrzymałością na rozciąganie metodą brazylijską. Badania porównawcze nad wytrzymałością punktową skał i wytrzymałością na rozciąganie metodą brazylijską wydają się być szczególnie właściwe, ponieważ sposób przyłożenia siły i charakter pęknięcia próbek w obu tych testach jest bardzo podobny. W kolejnych etapach prac badaniom porównawczym zostaną poddane skały pochodzące z kamieniołomów, gdzie stosowanie metody punktowego obciążania może być szczególnie przydatne.

2. Technika i metodyka punktowego obciążania skał

Oznaczanie wytrzymałości skał na obciążenie punktowe można przeprowadzać w warunkach polowych. Próbki skalne mogą mieć dowolny kształt; mogą to być zarówno walce, prostopadłości, jak i bryły o nieregularnych kształtach. Próbki poddawane są obciążaniu za pomocą małych, przenośnych pras hydraulicznych.

W teście obciążania punktowego walcowe próbki skalne ustawiać można pomiędzy głowicami dociskowymi prasy w dwojaki sposób (rys. 1): można je obciążać wzdłuż średnicy (test średnicowy) lub wzdłuż osi (test osiowy).



Rys. 1. Sposoby punktowego obciążania walcowych próbek skalnych: test średnicowy (a) i test osiowy (b)

Wytrzymałość skały na obciążenie punktowe I_s wyznacza się jako stosunek maksymalnej siły P_{\max} (nośności granicznej próbki przy obciążaniu punktowym) do kwadratu odległości pomiędzy stożkowymi głowicami dociskowymi w przenośnej prasie hydraulicznej D :

$$I_s = \frac{P_{\max}}{D^2} \quad (1)$$

Jednak z tej formuły korzysta się tylko w przypadku obciążania próbek walcowych wzdłuż ich średnicy (test średnicowy). W każdym innym przypadku wprowadza się do formuły (1) tzw. średnicę równoważną D_e [4].

Wtedy:

$$I_S = \frac{P_{\max}}{D_e^2} \quad (2)$$

Wartość tzw. średnicy równoważnej oblicza się ze wzoru:

$$D_e^2 = \frac{4A}{\pi} \quad (3)$$

gdzie A jest polem przekroju poprzecznego próbki.

Aby móc porównywać wyniki uzyskane na podstawie badań próbek o różnych średnicach, wprowadzono wskaźnik wytrzymałości na obciążenie punktowe skorygowany do średnicy 50 mm $I_{S(50)}$ następującej postaci:

$$I_{S(50)} = F \frac{P_{\max}}{D^2} \quad (4)$$

gdzie $F = \left(\frac{D}{50}\right)^{0,45}$ (5)

3. Opis badań eksperymentalnych

Do badań wykorzystano próbki rdzeniowe piaskowców pochodzących z KWK Jastrzębie, KWK Wesola, KWK Pokój i ZG Bytom II, które przygotowano do badań zgodnie z zaleceniami ISRM. Próbki miały średnicę 42 lub 36 mm oraz wysokość odpowiednio: 84 i 72 mm.

Walcowe próbki skalne poddawano próbie obciążania wzdłuż średnicy, a powstałe z testu średnicowego mniejsze kawałki próbki skalnej poddawano testowi osiowemu za pomocą przenośnej prasy hydraulicznej zbudowanej w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach.

Testy na jednoosiowe ściskanie i rozciąganie metodą brazylijską wykonywane były za pomocą prasy wytrzymałościowej EDB-60.

Na podstawie przeprowadzonych badań i uzyskanych z nich wyników wyznaczono wartości wytrzymałości skał na jednoosiowe ściskanie (σ_c), wartości wytrzymałości na rozciąganie metodą brazylijską (σ_T), oraz wartości wytrzymałości skał na obciążenie punktowe w teście średnicowym (I_{SS}) i osiowym (I_{SO}). Wyznaczone wartości pozwoliły określić zależność pomiędzy wytrzymałością skał na jednoosiowe ściskanie a wytrzymałością na obciążenie punktowe oraz pomiędzy wytrzymałością na rozciąganie metodą brazylijską a wytrzymałością na obciążenie punktowe dla piaskowców karbońskich o różnej wielkości ziaren.

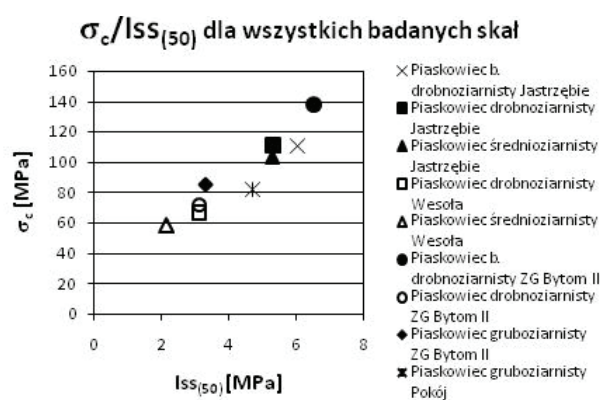
4. Omówienie wyników badań

Próbowi na jednoosiowe ściskanie poddano 45 próbek, rozciąganiu metodą brazylijską poddano 14 próbek, obciążaniu punktowemu w teście średnicowym poddano 54 próbki, a w teście osiowym 95 próbek (tab. 1). Wyniki badań zostały przedstawione na poniższych wykresach (rys. 2–5).

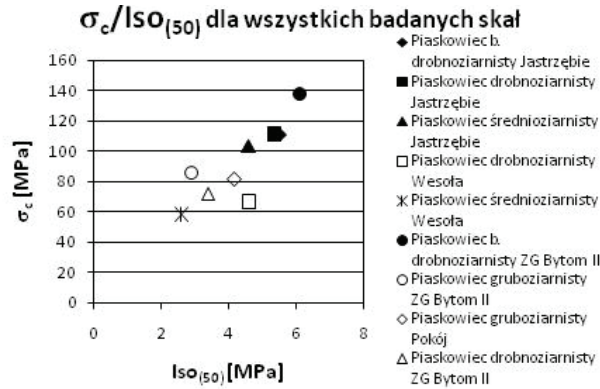
TABELA 1

Liczba przebadanych próbek skalnych w próbie jednoosiowego ściskania, rozciągania metodą brazylijską oraz próbie obciążania punktowego z uwzględnieniem podziału na test średnicowy i osiowy

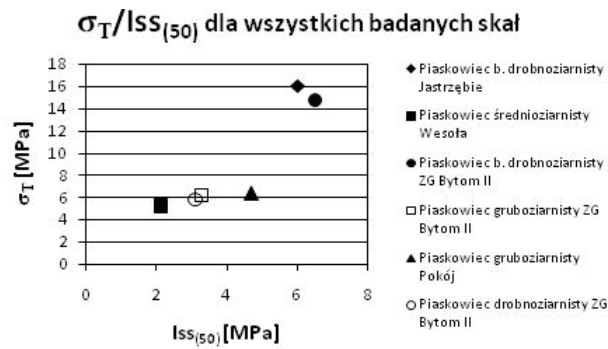
Rodzaj skały	σ_C	σ_T	I_{SS}	I_{SO}
Piaskowiec drobnziarnisty z KWK Wesoła	3	0	3	6
Piaskowiec średnioziarnisty z KWK Wesoła	3	2	3	6
Piaskowiec bardzo drobnziarnisty z KWK Jastrzębie	5	2	5	10
Piaskowiec drobnziarnisty z KWK Jastrzębie	13	0	19	30
Piaskowiec średnioziarnisty z KWK Jastrzębie	4	0	5	9
Piaskowiec bardzo drobnziarnisty z ZG Bytom II	8	2	12	20
Piaskowiec drobnziarnisty z ZG Bytom II	3	2	2	4
Piaskowiec bardzo gruboziarnisty z ZG Bytom II	3	3	3	6
Piaskowiec gruboziarnisty z KWK Pokój	3	3	2	4



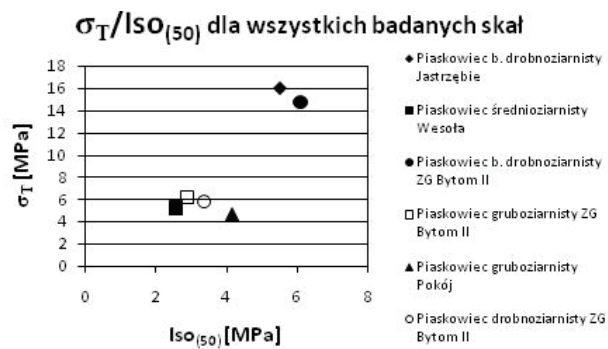
Rys. 2. Zależność pomiędzy wytrzymałością na jednoosiowe ściskanie a wytrzymałością na obciążenie punktowe oznaczoną w teście średnicowym



Rys. 3. Zależność pomiędzy wytrzymałością na jednoosiowe ściskanie a wytrzymałością na obciążenie punktowe oznaczoną w teście osiowym



Rys. 4. Zależność pomiędzy wytrzymałością na rozciąganie metodą brazylijską a wytrzymałością na obciążenie punktowe oznaczoną w teście średnicowym



Rys. 5. Zależność pomiędzy wytrzymałością na rozciąganie metodą brazylijską a wytrzymałością na obciążenie punktowe oznaczoną w teście osiowym

Na podstawie przeprowadzonych prób można sformułować następujące wnioski:

- Uzyskane wyniki generalnie potwierdzają podawane przez Bieniawskiego (1975) czy Brooka (1980) ogólne zależności pomiędzy wytrzymałością skał na obciążenie punktowe a wytrzymałością skał na jednoosiowe ściskanie. Wartości współczynnika k podane przez Bieniawskiego dla próbek o średnicy 42 mm, przez Brooka dla próbek o średnicy 50 mm są równe, odpowiednio, 21 i 22. Według autorki wartości tego współczynnika oznaczone oddzielnie dla każdego z piaskowców mieszczą się w przedziale od 14,52 do 29,52.
- Jeśli jednak chce się dokładnie porównać wytrzymałości na obciążenie punktowe, konieczny jest w przypadku próbek walcowych podział na test osiowy i średnicowy. Odnosząc się do testu średnicowego Broch i Franklin (1972) podają współczynnik k_S w zależności $\sigma_c = k_S \cdot I_S$ równy 23,7, a V. Singh i D. Singh (1993) 23,4. W odniesieniu do testu osiowego Rusnak i Mark (2000) podają wartości współczynnika k_O z przedziału od 19,6 do 22,4, oznaczone dla łańcuchów, mułowców, piaskowców i wapieni towarzyszących pokładom węgla w różnych zagłębiach górniczych USA. W przypadku badanych piaskowców z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego średnie wartości współczynników k_S i k_O wynoszą odpowiednio 21,67 i 24,17.
- Dotychczas prezentowane wyniki dotyczące wytrzymałości skał na obciążenie punktowe, a także relacji pomiędzy wytrzymałością na obciążenie punktowe i wytrzymałością na jednoosiowe ściskanie są dość ogólne, często brakuje informacji o kształcie badanych próbek, a jeśli były to próbki walcowe, to czy dane wyniki uzyskano w teście osiowym, czy średnicowym. W przedstawionych wynikach (tab. 2) dokonano podziału badanych skał ze względu na wielkość ziaren, rozróżniono także test osiowy i średnicowy. Wyniki otrzymane w obu tych testach nie są jednakowe i taki podział wydaje się być konieczny.
- Nie ma niestety w literaturze podanych zbyt wielu wartości współczynnika zależności pomiędzy wytrzymałością punktową a wytrzymałością na rozciąganie metodą brazylijską, chociaż testy są do siebie podobne i porównanie uzyskanych z nich wyników wydaje się być zasadne. Lajtai (1980) podaje, że współczynnik ten dla piaskowców „New Brunswick” (Kanada) jest równy 3,76. Podane przez autorkę wartości dla piaskowców karbońskich pochodzących z Górnego Śląska są niższe i mieszczą się w przedziale od 1,36 do 2,89.
- Wpływ wytrzymałości na obciążenie punktowe ma między innymi wielkość ziaren w skale, np. piaskowiec średnioziarnisty ma znacznie niższą wytrzymałość niż piaskowiec drobnoziarnisty czy bardzo drobnoziarnisty. Jest to zauważalne zarówno w teście osiowym, jak i średnicowym. Podobne relacje znane są powszechnie również w przypadku wytrzymałości skał na jednoosiowe ściskanie i wytrzymałości na rozciąganie metodą brazylijską.
- W trakcie eksperymentów zauważono, że bardzo duży wpływ na wytrzymałość oraz pomyślny przebieg testu mają płaszczyzny uwarstwienia i laminacji. Kierunek ułoże-

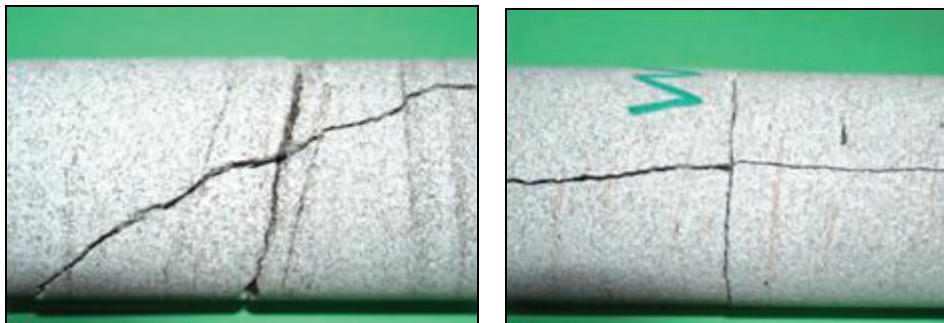
nia tych płaszczyzn względem przyłożonej siły miał zwykle wyraźniejszy wpływ na wytrzymałość tylko w jednym z testów, tzn. średnicowym lub osiowym. Dla przykładu w teście osiowym w próbkach piaskowca bardzo drobnoziarnistego z ZG Bytom II występujące równoległe do podstaw próbki laminacje substancją węglową powodowały odłupywanie się kawałków próbki wzdłuż tych płaszczyzn. Test średnicowy zwykle przebiegał pomyślnie.

- Po przeprowadzeniu testu średnicowego i osiowego na dwóch próbkach piaskowca średnioziarnistego z wyraźnie zaznaczoną laminacją równoległą do podstaw próbki z KWK Wesoła zauważono po złożeniu kawałków próbki w całość charakterystyczny przebieg płaszczyzny pęknięcia (rys. 6). Widoczne na poniższych fotografiach kierunki zniszczenia świadczą o tym, że przebieg ich nie jest przypadkowy.
- Wytrzymałość skał na obciążenie punktowe jest nieco wyższa w teście średnicowym niż w osiowym. Czasem było jednak odwrotnie, np. w przypadku piaskowca drobnoziarnistego z KWK Jastrzębie, piaskowca drobno- i średnioziarnistego z KWK Wesoła. Spowodowane to było występowaniem płaszczyzn warstwowania w kierunku równoległym do podstaw próbki. W takich przypadkach siła przykładana do próbki w teście średnicowym zorientowana była równoległe do tych płaszczyzn, co skutkowało niższą wartością wytrzymałości.

TABELA 2

Wartości współczynnika zależności pomiędzy wytrzymałością na jednoosiowe ściskanie a wytrzymałością na obciążenie punktowe oraz pomiędzy wytrzymałością na rozciąganie metodą brazylijską a wytrzymałością na obciążenie punktowe z uwzględnieniem podziału na test średnicowy i osiowy

Rodzaj skały	$\sigma_C / I_{SS(50)}$ (k_S)	$\sigma_C / I_{SO(50)}$ (k_O)	$\sigma_T / I_{SS(50)}$ (t_S)	$\sigma_T / I_{SO(50)}$ (t_O)
Piaskowiec drobnoziarnisty z KWK Wesoła	21,39	14,52		
Piaskowiec średnioziarnisty z KWK Wesoła	27,34	22,51	2,46	2,02
Piaskowiec bardzo drobnoziarnisty z KWK Jastrzębie	18,36	20,04	2,65	2,89
Piaskowiec drobnoziarnisty z KWK Jastrzębie	20,93	20,75		
Piaskowiec średnioziarnisty z KWK Jastrzębie	19,61	22,64		
Piaskowiec bardzo drobnoziarnisty z ZG Bytom II	21,18	22,57	2,26	2,41
Piaskowiec drobnoziarnisty z ZG Bytom II	23,01	24,17	1,86	1,72
Piaskowiec bardzo gruboziarnisty z ZG Bytom II	25,90	29,52	1,87	2,13
Piaskowiec gruboziarnisty z KWK Pokój	17,32	19,58	1,36	1,53
Wartości średnie	21,67	24,17	2,08	2,54



Rys. 6. Przebieg płaszczyzn zniszczenia w próbkach piaskowca średnioziarnistego z KWK Wesola (po przeprowadzeniu testu średnicowego i osiowego)

5. Podsumowanie

Wyniki badań przeprowadzone na próbkach kilku odmian piaskowców z górotworu karbońskiego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym potwierdzają, że istnieje liniowa zależność pomiędzy wytrzymałością skały na jednoosiowe ściskanie a wytrzymałością na obciążenie punktowe. Taka sama zależność istnieje pomiędzy wytrzymałością na rozciąganie metodą brazylijską a wytrzymałością punktową skał. Generalnie wytrzymałość skały na obciążenie punktowe jest wyższa w teście średnicowym niż osiowym, a występowanie płaszczyzn warstwowania ma wpływ na wartość wytrzymałości oraz kierunek pęknięcia próbek skalnych. Analizując wyniki badań zaobserwowano, że piaskowcom o większych ziarnach odpowiadają większe wartości współczynników proporcjonalności k i t . Prezentowane po raz pierwszy w tej pracy wartości współczynnika t występującego pomiędzy wytrzymałością na rozciąganie metodą brazylijską a wytrzymałością na obciążenie punktowe są od siedmiu do czternastu razy mniejsze od wartości współczynnika k i przyjmują wartości od 1,36 (t_s) do 2,89 (t_o).

LITERATURA

- [1] *Bieniawski Z.T.*: The point-load test in geotechnical practice. *Engineering Geology*, vol. 9, 1–11, 1975
- [2] *Broch E., Franklin J.A.*: The point-load test. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, vol. 9, 1972, 669–697
- [3] *Brook N.*: Size correction for point load testing. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, vol. 17, 1980, 231–235
- [4] ISRM, Commission on Testing Methods: Suggested method for determining point load strength. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, vol. 22, No. 2, 1985, 51–60
- [5] *Lajtai E.Z.*: Tensile strength and its anisotropy measured by point- and line-loading of sandstone. *Engineering Geology*, vol. 15, 1980, 163–171
- [6] *Piątek P.*: Badania nad wytrzymałością punktową piaskowców z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Zeszyty Specjalne Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej*, 2007, 279–299
- [7] *Rusnak J., Mark C.*: Using the point load test to determine the uniaxial compressive strength of coal measure rock. *Proceedings of the 19th International Conference on Ground Control in Mining* (S.S. Peng and C. Mark, eds). West Virginia University, Morgantown, WV, 2000, 362–371
- [8] *Singh V.K., Singh D.P.*: Correlation between point load index and compressive strength for quartzite rocks, *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 11, 1993, 269–272