

Kilka uwag dotyczących laboratoryjnego wyznaczania wytrzymałości skał na ściskanie w świetle obowiązujących norm i zaleceń

ANDRZEJ NOWAKOWSKI

Instytut Mechaniki Górotworu PAN; ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków

Streszczenie

Artykuł poświęcony jest metodyce oznaczania wytrzymałości skały na ściskanie za pomocą eksperymentów laboratoryjnych. Porównano w nim niektóre procedury badawcze zawarte w polskich normach oraz zaleceniach Międzynarodowego Towarzystwa Mechaniki Skał (ISRM). Wzięto pod uwagę metodykę badawczą dla próbek foremnych (test jednoosiowego ściskania) oraz dla próbek nieforemnych (test punktowego obciążania). Zwrócono uwagę na znaczące różnice w sposobach przygotowania próbek oraz wykonywania testu jednoosiowego ściskania zachodzące w obrębie polskich norm oraz między polskimi normami a zaleceniami ISRM. Porównano postanowienia odpowiednich zaleceń ISRM oraz polskiej normy dotyczące wykonywania testu punktowego obciążania i wykazano bezużyteczność tej ostatniej

Słowa kluczowe: wytrzymałość na ściskanie, test jednoosiowego ściskania, test punktowego obciążania, smukłość próbki, prędkość obciążania, współczynnik wytrzymałości punktowej

1. Wstęp

Wytrzymałość skały na ściskanie (w Polsce najczęściej oznaczana jako R_c) jest tą wielkością, którą podczas badania właściwości mechanicznych skał zazwyczaj wyznacza się jako pierwszą. Jest to z jednej strony konsekwencją pewnej intuicyjnej łatwości rozumienia tego parametru, a z drugiej pozornej prostoty eksperymentu, na podstawie którego wielkość ta jest wyznaczana. Eksperyment ten to zazwyczaj¹ test jednoosiowego ściskania, a użycie stosunku do niego słów „pozorna prostota” wynika z faktu, iż w rzeczywistości na jego przebieg wpływa bardzo wiele czynników, które w skrajnych przypadkach mogą doprowadzić do istotnych różnic w uzyskiwanych dla jednej skały wartościach R_c .

W niniejszej pracy autor pragnie przekazać Czytelnikowi pewne informacje i spostrzeżenia zgromadzone podczas wielu lat praktyki laboratoryjnej, obejmującej m.in. wykonywanie testów jednoosiowego ściskania na potrzeby realizacji różnych projektów geotechnicznych. Przedmiotem tych badań były skały o różnym pochodzeniu i strukturze, a oczekiwania zlecniodawców niejednokrotnie wywoływały u autora solidny ból głowy.

Autor zakłada, iż zarówno idea testu jednoosiowego ściskania jak i podstawy jego metodyki są czytelnikowi znane stąd nie będą one przedmiotem niniejszej pracy. Jej zasadniczym tematem jest raczej na omówieniu pewnych problemów, z którymi może spotkać się eksperymentator podczas laboratoryjnego wyznaczania wytrzymałości skał na ściskanie.

¹ Słowo „zazwyczaj” zostało użyte w tym miejscu nieprzypadkowo, a odpowiednie wyjaśnienia znajdują się w dalszej części artykułu.

2. Normy i zalecenia

Poddanie metodyki badań naukowych regulacjom prawnym budzi u każdego parającego się działalnością naukową głęboki sprzeciw. Tymczasem sprawa nie jest taka prosta. O ile w przypadku badań o charakterze poznawczym jakiegokolwiek próby ograniczania inwencji badacza w zakresie stosowanej metodyki można uznać za sprzeczne ze zdrowym rozsądkiem, o tyle gdy mamy do czynienia z tzw. badaniami aplikacyjnymi pewną standaryzację procedur badawczych można uznać za celową a czasami wręcz niezbędną choćby z uwagi na konieczność porównywania wyników uzyskiwanych w różnych laboratoriach badawczych (por. uwagi na ten temat w pracy Gustkiewicza i Nowakowskiego, 2004 – s. 10).

Powszechność stosowania testu jednoosiowego ściskania sprawia, że jego metodyka została ujęta zarówno w krajowych aktach prawnych (normach) wydawanych przez Polski Komitet Normalizacyjny (PKN) jak i w zaleceniach poważnej instytucji międzynarodowej zajmującej się badaniami naukowymi w mechanice skał, którą jest International Society of Rock Mechanics² (ISRM). Komisja Standaryzacji Testów Laboratoryjnych i Polowych³ tego stowarzyszenie opublikowało w 2007 roku pracę zbiorową (Ulusay i Hudson, 2007) będącą zbiorem opracowanych dotychczas pod egidą ISRM metod badawczych.

Zestaw wykorzystywanych w Polsce norm i zaleceń dotyczących sposobu oznaczania wartości R_c za pośrednictwem testu jednoosiowego ściskania przedstawia się następująco:

- [1] **PN-B-04110:1984**; *Materiały kamienne. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie*

Jest to wycofana już norma z sektora budownictwa i konstrukcji budowlanych. Teoretycznie procedur w niej zapisanych nie powinno się obecnie stosować, ale starsze pokolenie inżynierów ma nadal odruch wykorzystywania w obliczeniach statycznych wartości R_c wyznaczonej w oparciu o ten dokument.

- [2] **PN-EN 1926:2007**; *Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie jednoosiowej wytrzymałości na ściskanie*

Norma obowiązująca. Współczesny odpowiednik normy [1] posiadający status Normy Europejskiej zapewniającej unifikację odpowiednich procedur badawczych we wszystkich krajach należących do Wspólnoty Europejskiej.

- [3] **PN-G-04303:1997**; *Skały zwięzłe Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie z użyciem próbek foremnych*
Prawdopodobnie obowiązująca nadal norma branżowa – a przynajmniej strona internetowa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego (PKN-1, 2014-08-20) nie wykazuje jej jako wycofanej – należąca do sektora górnictwo.

- [4] **Bieniawski i in. (1979)**; *Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials*

Zalecenia Międzynarodowego Towarzystwa Mechaniki Skał dotyczące metodyki wykonywania testu jednoosiowego ściskania oraz wykorzystywania jego wyników do wyznaczania odkształceniowych stałych materiałowych opublikowane w opracowaniu Ulusay'a i Hudsona (2007) na stronach 153-156.

Wymienione powyżej dokumenty zakładają, że stała R_c oznaczana będzie na podstawie testu, którego przedmiotem będzie próbka foremna⁴ (szczegóły patrz niżej – rozdz. 3). W praktyce laboratoryjnej zdarzają się jednak przypadki, gdy materiał nie pozwala na wycięcie próbki foremnej. Klasycznym przykładem są tutaj skały tzw. fliszu karpackiego. W takim przypadku stosuje się procedury umożliwiające oszacowanie wartości wytrzymałości badanego materiału na ściskanie wykorzystując próbki nieforemne. Zalecenia dotyczące sposobu wykonywania takich eksperymentów zawarty jest w dwóch dokumentach:

- [5] **PN-G-04307:1998**; *Skały zwięzłe. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie z użyciem próbek nieforemnych*

Prawdopodobnie obowiązująca nadal norma – a przynajmniej strona internetowa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego (PKN-2, 2014-08-20) nie wykazuje jej jako wycofanej – należąca do sektora górnictwo.

- [6] **Franklin i in. (1985)**; *Suggested Methods for Determining Point Load Strength (to replace original document published in 1972)*

Zalecenia Międzynarodowego Towarzystwa Mechaniki Skał dotyczące metodyki wykonywania testu punktowego obciążania oraz wykorzystywania jego wyników do wyznaczania wytrzymałości badanego materiału na ściskanie opublikowane w opracowaniu Ulusay'a i Hudsona (2007) na stronach 121-132.

² Międzynarodowe Towarzystwo Mechaniki Skał

³ Commission of Standardization of Laboratory and Field Test of the ISRM

⁴ walcowa lub prostopadłościenna

Normy i zalecenia wymienione w punktach od [1] do [6] to – zdaniem autora – dokumenty, które przy oznaczaniu wytrzymałości skał na ściskanie wykorzystuje się w Polsce najczęściej. Dalsza część artykułu poświęcona jest porównaniu zapisanych w nich procedur badawczych celem ukazania istniejących różnic i wskazania, jak różnice te mogą wpłynąć na przebieg i wynik eksperymentu.

Autor jest świadom, iż zdarzają się w Polsce przypadki, gdy zachodzi konieczność wykonywania badań zgodnie z procedurami określonymi przez normy innych krajów, np. USA (normy ASTM) czy Niemiec (normy DIN). Są to jednak przypadki na tyle rzadkie, iż wymagania zawarte w tych dokumentach nie będą tutaj omawiane.

3. Próbki do badań

Każde procedura badawcza mająca na celu wyznaczenie wartości R_c na drodze badań laboratoryjnych rozpoczyna się od przygotowania odpowiedniej próbki. Jeśli jest to próbka foremna to ma ona kształt walca lub prostopadłościanu o podstawie kwadratowej. Na potrzeby dalszych rozważań przyjmijmy następujące oznaczenia: d_w i h_w – odpowiednio średnica i wysokość próbki walcowej, oraz d_p i h_p – odpowiednio długość krawędzi podstawy i wysokość próbki prostopadłościennej, oraz wprowadźmy pojęcia smukłości dla próbki walcowej (λ_w) i prostopadłościennej (λ_p) jako:

$$\lambda_w = \frac{h_w}{d_w} \quad \lambda_p = \frac{h_p}{d_p} \quad (1)$$

Dla próbek nieforemnych wybór tego wymiaru, który uznajemy za istotny zależy od kształtu próbki i zostanie omówiony w rozdz. 3.2.

3.1. Próbki foremne

Przy wykonywaniu próbek foremnych istotnymi informacjami są wymiary próbki (przy czym zasadą jest, że podstawą jest wymiar poprzeczny, a wysokość definiuje się poprzez smukłość) oraz sposób przygotowania podstaw i pobocznic próbki. Porównanie wymagań stawianych w tym względzie przez dokumenty [1]-[4] przedstawia tab. 1.

Tab. 1. Wymiary i sposób przygotowania próbek wg dokumentów [1]-[4]

Nr dok.	Wymiary próbki	Inne wymagania dotyczące przygotowania próbki
1	2	3
[1]	zalecane: $d_w = 50 \pm 3$ mm, $\lambda_w = 1,0$ $d_p = 50 \pm 3$ mm, $\lambda_p = 1,0$ dopuszczalne: odcinki rdzeni o średnicy od 35 do 160 mm i smukłości 1,0	– podstawy próbki mają być płaskie i równoległe do siebie, oraz prostopadłe do pobocznic; norma nie podaje żadnych wartości liczbowych dotyczących sposobu przygotowania powierzchni próbki
[2]	$d_w = 70 \pm 5$ mm lub 50 ± 5 mm, $\lambda_w = 1,0$ $d_p = 70 \pm 5$ mm lub 50 ± 5 mm, $\lambda_p = 1,0$	– poprzeczny wymiar próbki powinien być co najmniej o rząd większy od wymiaru największego ziarna, – jeśli maksymalny wymiar ziarna przekracza 7 mm należy zwiększyć liczbę próbek, – oś próbki winna być prostopadła do płaszczyzny anizotropii, – nierówności na powierzchni próbki nie powinny przekraczać 0,03 mm,
[3]	$42,0$ mm $\leq d_w \leq 54,0$ mm, $\lambda_w = 2,0$ $42,0$ mm $\leq d_p \leq 54,0$ mm, $\lambda_p = 2,0$	– próbki przygotowywać wg PN-G-04301:1996, – nierówności na powierzchni próbki nie powinny przekraczać 0,03 mm, – odchyłki od równoległości płaszczyzn czołowych próbki i ich prostopadłości względem boków lub teozacej pobocznic nie powinny przekraczać $0,25^\circ$
[4]	$d_w \approx 54$ mm $\lambda_w = 2,5-3,0$	– zalecenia ISRM dopuszczają stosowanie wyłącznie próbek walcowych, – poprzeczny wymiar próbki powinien być co najmniej o rząd większy od wymiaru największego ziarna, – nierówności na powierzchni próbki nie powinny przekraczać 0,03 mm, – odchyłki od prostopadłości płaszczyzn czołowych próbki od osi próbki nie powinny przekraczać $0,001$ rad $\approx 0,06^\circ$ (w przybliżeniu 0,05 mm na 50 mm)

Powyższe zestawienie pokazuje, iż przy wyznaczaniu wartości R_c dla skał problemy z wyborem metody badań zaczynają się już na etapie wyboru kształtu i wymiarów próbki. Zaczniemy od tego, że o ile normy [1]-[3] dopuszczają stosowanie próbek prostopadłościennych, o tyle zalecenia ISRM [4] dopuszczają wyłącznie próbki walcowe. Ma to sens w świetle uwagi Vutukuriego i in. (1974, s. 32), że rozkład naprężeń w próbce cylindrycznej jest symetryczny względem osi. Należy też pamiętać, iż w dowolnych elementach obciążanych każda krawędź jest koncentratorem naprężeń, a zatem w próbkach prostopadłościennych rzeczywisty stan naprężenia będzie znacząco odbiegał od zakładanego jednoosiowego ściskania. Dodatkowym argumentem przemawiającym za stosowaniem próbek walcowych jest duża łatwość wykonania takich próbek z zachowaniem tolerancji wymienionych w kol. 3 tab. 1.

Pamiętać jednak trzeba, iż rdzeniuowaniu próbek cylindrycznych towarzyszy zazwyczaj obecność wody niezbędnej do chłodzenia koronki wiertniczej i wypłukiwania zwiercin. Istnieją materiały – np. niektóre łupki – które rozpadają się podczas rdzeniuowania koronką „na mokro”. Zdarza się, iż w takim przypadku jedyne co można zrobić to ciąć piłą ręczną „na sucho” a następnie bardzo delikatnie doszlifowywać podstawy i pobocznicę również bez udziału wody. Wówczas próbka prostopadłościenna pozostaje jedynym wyjściem z sytuacji.

Kolejnym problemem pojawiającym się na etapie wykonywania próbki jest dobór jej wymiarów, przy czym – jak widać w kolumnie 2 tab. 1 – trudność tkwi w doborze proporcji między wymiarem podłużnym a poprzecznym, czyli w tzw. smukłości (λ). Zwróćmy uwagę, że o ile normy [1] i [2] zlecają smukłość próbek rzędu 1,0, to norma [3] podnosi tę wartość do 2,0 a zalecenia ISRM nawet do wartości 2,5.

To, że wartość wytrzymałości na ściskanie zależy od smukłości badanej próbki pokazał Mogi (1966) i jest to fakt niekwestionowany. W szczególności prof. Kiyoo Mogi dowiódł na drodze eksperymentu, że wartość R_c spada wraz ze wzrostem wartości λ do momentu, gdy $\lambda \approx 2,5$ po czym stabilizuje się. Te wyniki tłumaczą minimalną wartość smukłości próbek dopuszczaną przez zalecenia [4]. Czynniki, które wywołują wspomniany wyżej spadek wytrzymałości oraz jego ilościowa ocena nie są przedmiotem niniejszej pracy, a zainteresowany nimi czytelnik może znaleźć obszernie rozważania na ten temat np. u Vutukuriego i in. (1974, s. 33-44), Pattersona i Wonga (2005, s. 30-35) czy Mogiego (2007, s. 3-11).

Ciekawie na tym tle prezentuje się norma [3], która zakłada, że $\lambda = 2,0$. Norma ta należy do sektora górnictwo i wydaje się, iż powstała w oparciu o doświadczenia zgromadzone w tym środowisku. Świadczy o tym porównanie jej zawartości z zawartością klasycznego już podręcznika autorstwa prof. dr hab. inż. Antoniego Kidybińskiego (Kidybiński, 1982), w którym autor na str. 12 prezentuje zależność $R_c(\lambda)$. Pokazany przez prof. Antoniego Kidybińskiego wykres sugeruje, że stabilizacja wartości R_c rozpoczyna się już od $\lambda = 2,0$ co prawdopodobnie przesądziło o przyjęciu tej wartości w normie [3]. Istotnym jest, że w normie tej znajduje się informacja, iż jeżeli oznaczenia wartości R_c dokonano na próbkach o smukłości 1,0 to uzyskany wynik należy zmniejszyć, mnożąc go przez 8/9.

W świetle powyższych rozważań widać, że oznaczanie wartości R_c na próbkach o smukłości równej 1,0 – jak to sugerują normy [1] i [2] – prowadzi do zawyżenia wartości granicy wytrzymałości skały na ściskanie⁵. Wydaje się, że zamawiający badania nie zawsze o tym fakcie pamiętają, a wykonawcy zazwyczaj uważają, iż jest to tak oczywiste, iż nie trzeba o tym zamawiającym przypominać.

3.2. Próbki nieforemne

Do oznaczania wartości wytrzymałości skały na ściskanie na próbce nieforemnej służy tzw. test punktowego obciążania⁶. Zarówno postanowienia normy [5] jaki i odpowiedni rozdział we wzmiankowanym wyżej podręczniku (Kidybiński, 1982, s. 16-20) sugerują, iż w Polsce oznaczanie wartości R_c na próbkach nieforemnych w zamyśle przewidywane było jedynie dla badań polowych wykonywanych na rdzeniach wiertniczych. Wprawdzie wstęp do normy [5] rozpoczyna się słowami (cytuje): *Niniejsza norma dotyczy metody badania wytrzymałości skał zwięzłych na ściskanie z użyciem próbek nieforemnych lub rdzeni wiertniczych (...)* (koniec cytatu), ale zawartość normy tego nie potwierdza. Odpowiednie postanowienia tego dokumentu definiują próbkę jako odcinek rdzenia o długości równej od 0,8 do 1,0 jego średnicy – dla badań prowadzonych w osi rdzenia wiertniczego, oraz jako odcinek rdzenia, którego długość jest większa niż 1,4 jego średnicy – dla badań wykonywanych do tejże osi prostopadle. O próbkach innych niż odcinki rdzeni wiertniczych nie ma w normie [5] ani słowa.

⁵ Ocena ilościowa tego zawyżenia to zagadnienie bardzo obszerne i wykraczające poza zakres tego artykułu.

⁶ ang. *Point Load Test*

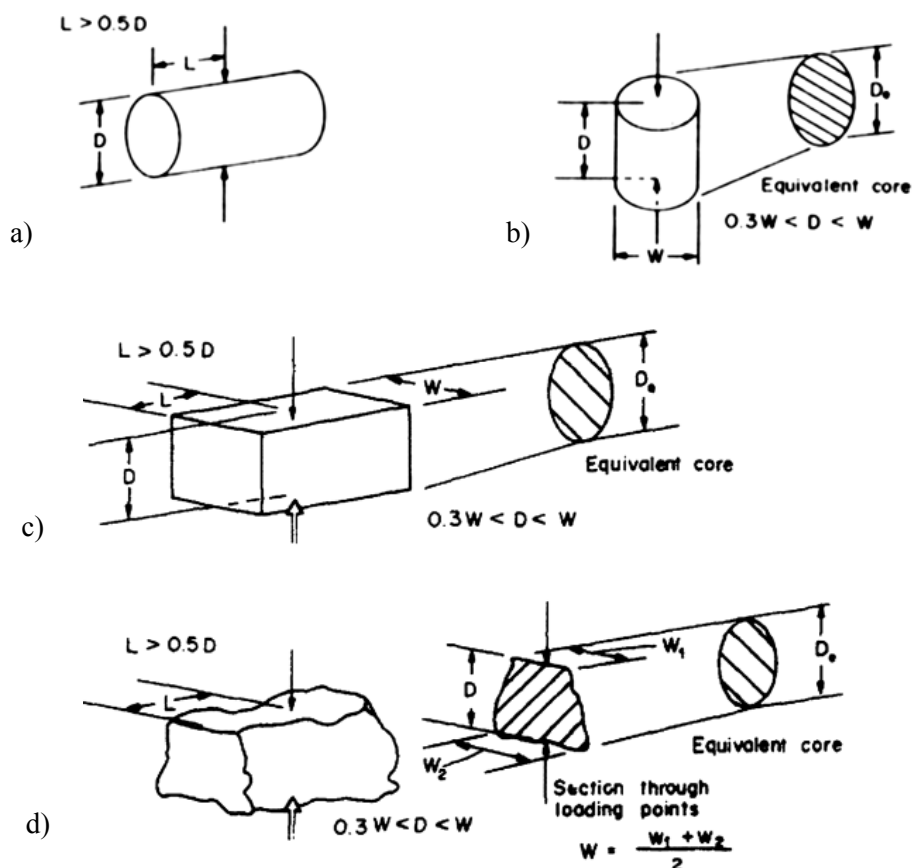
Zupełnie inaczej podchodzą do problemu testu punktowego obciążania autorzy zaleceń ISRM [6]. Wykorzystana w tych zaleceniach metodyka badań została opublikowana po raz pierwszy przez Franklina i in. (1985) i wydaje się, iż autorzy tej pracy byli od samego początku świadomi, że test punktowego obciążania może być przysłowiową ostatnią deską ratunku w sytuacji, gdy nie ma żadnej możliwości wycięcia z badanego materiału próbki foremnej. Poniżej, na Rys. 1, pokazano, jak autorzy zaleceń [6] rozumieją pojęcie próbki nieforemnej oraz jakie charakterystyki geometryczne tej próbki są istotne w zależności od kierunku działania siły obciążającej. I właśnie w zależności od kształtu badanej próbki autorzy zaleceń [6] wyróżniają cztery rodzaje testu punktowego obciążania:

- 1) test „po średnicy rdzenia” (ang. *diametral test*) – rys. 1(a),
- 2) test „po osi rdzenia” (ang. *axial test*) – rys. 1(b),
- 3) test „na bloczku” (ang. *block test*) – rys. 1(c),
- 4) test „na nieregularnej bryle” (ang. *irregular lump test*) – rys. 1(d).

Dla testów tych wymiary próbek powinny spełniać (wg [6]) następujące warunki:

- test „po średnicy rdzenia”; próbką jest odcinek rdzenia o stosunku długości do średnicy większym niż 1,0,
- test „po osi rdzenia”; próbką jest odcinek rdzenia o stosunku długości do średnicy zawartym między 0,3 a 1,0,
- test „na bloczku”; za próbkę uznaje się blok skały o wymiarze 50 ± 35 mm i kształcie jak na Rys. 1(c),
- test „na nieregularnej bryle”; za próbkę uznaje się bryłę skały o wymiarze 50 ± 35 mm i kształcie 1(d).

Porównanie zawartości dokumentów [5] i [6] pokazuje, że: po pierwsze – zakres normy [5] jest węższy niż zaleceń [6] i odpowiada wymienionym wyżej testom 1) i 2) a po drugie – nawet tam gdzie przyjęty kształt próbki jest identyczny to dopuszczane przez oba dokumenty proporcje między wymiarem podłużnym a poprzecznym próbki są inne. Nie są to jedyne różnice, a o pozostałych mowa będzie w dalszej części artykułu.



Rys. 1. Test punktowego obciążania; sposób obciążania próbki i mierzone charakterystyki geometryczne: (a) – test „po średnicy rdzenia”, (b) – test „po osi rdzenia”, (c) – test „na bloczku”, (d) – test „na nieregularnej bryle”

3.3. Liczba próbek do badań

Zawarte w dokumentach [1]-[6] informacje na temat liczby eksperymentów, którą można uznać za wystarczającą dla oceny wartości granicy wytrzymałości skały na ściskanie są dosyć skąpe i sprowadzają się do podania pewnych wartości, które zestawiono w tab. 2.

Tab. 2. Liczba próbek uznawana za niezbędną dla wyznaczenia wartości R_c skały

Nr dok.	Wymagana liczba próbek do przebadania
1	2
[1]	sugerowane 5 próbek; dla odcinków rdzeni wiertniczych dopuszczalne obniżenie tej liczby do 3
[2]	co najmniej 10 próbek; jeśli maksymalny wymiar ziarna przekracza 7 mm liczbę próbek zwiększyć w celu uzyskania reprezentatywnych rezultatów*
[3]	co najmniej 6 próbek
[4]	co najmniej 5 próbek; liczba próbek powinna być określona ze względów praktycznych**
[5]	co najmniej 10 próbek na każdy metr rdzenia wiertniczego
[6]	w zaleceniach brak jest informacji na ten temat

* Tego, co to jest „reprezentatywny rezultat” norma [2] nie precyzuje.

** Dokument [4] nie precyzuje, czym mianowicie mają być owe „względy praktyczne”.

W powyższym zestawieniu rzuca się w oczy brak w zaleceniach [6] informacji o wymaganej minimalnej liczbie próbek dla testów na próbce nieforemnej. Być może wynika to z założenia, że próbki takie pozyskiwane będą głównie dla materiałów bardzo słabych i niejednorodnych, dla których trudno w ogóle mówić o reprezentatywnej liczbie próbek.

Minimalna liczba próbek foremnych podana w tab. 2 waha się między 5 (norma [1]) a 10 (norma [2]) a określenie, którą spośród proponowanych liczb należałoby uznać za wystarczającą z uwagi na wystarczającą reprezentatywność jest raczej niemożliwe. Z punktu widzenia ew. obróbki statystycznej uzyskanych wyników obowiązuje oczywiście zależność „im więcej tym lepiej”, ale sens takiej obróbki oraz znaczenie uzyskanych na jej podstawie wyników będą rozważane poniżej w rozdz. 6.1.

4. Test jednoosiowego ściskania – metodyka badań

Gdy w jednym z bardziej znanych podręczników do mechaniki skał jego autorzy (Jaeger i in., 2007, s. 148) piszą wprost, iż test jednoosiowego ściskania jest nadal szeroko stosowanym, najstarszym i najprostszym testem mechaniki skał, to trudno się z nimi nie zgodzić, przynajmniej jeśli chodzi o samą ideę – ściskanie kawałka skały między dwoma równoległymi, sztywnymi płytami – oraz powszechność stosowania. Ponieważ jednak nie od dziś wiadomo, że „diabeł siedzi w szczegółach”, warto przyjrzeć się bliżej, jakie są różnice w zalecanych przez dokumenty [1]-[4] sposobach wykonywania tego testu.

4.1. Zamocowanie próbki w prasie

Normy [1], [2] i [3] sposobowi zamocowania próbki w prasie poświęcają bardzo niewiele miejsca. Zwracają uwagę, że płyty maszyny wytrzymałościowej powinny być równoległe, gładkie i suche, a próbka powinna być umieszczona pośrodku płyty tak, aby nie dopuścić do jej mimośrodowego obciążenia. Poza tym norma [1] formalnie wręcz zakazuje stosowania jakichkolwiek podkładek, a norma [2] sugeruje wykorzystanie do pozycjonowania próbki tzw. kulisy. Norma [1] precyzuje ponad to, iż średnica płyty prasy nie powinna przekraczać pięciokrotnej długości średnicy próbki.

Nieco obszerniej wypowiadają się na temat warunków zamocowania próbki w prasie zalecenia ISRM [4]. Precyzują one m.in. twardość stali, z której powinny być wykonane płyty prasy (nie mniej niż HRC58 wg Rockwella), średnicę płyt, która dla próbek o średnicy d powinna zawierać się między d a $d + 2$ mm, oraz grubość tych płyt, która nie powinna być mniejsza niż 15,0 mm lub $d/3$. Jeśli chodzi o obecność kulisy bądź jej brak to zalecenia [4] stwierdzają, że w kulisę powinna być wyposażona co najmniej jedna płyta i że powinna to być płyta na górnym końcu próbki.

Należy zwrócić uwagę, że będące przedmiotem analizy dokumenty [1]-[4] całkowicie ignorują fakt, iż skutek tarcia pomiędzy płytami prasy a podstawami próbki stan naprężenia w próbce ulega zaburzeniu, którego zasięg może sięgać dla próbki walcowej na głębokość równą długości promienia jej podstawy.

Zatem, w ściskanej jednoosiowo próbce o smukłości 1,0 jednoosiowe obciążanie wywołuje trójosiowy stan naprężenia w całej jej objętości⁷. Analizę stanu naprężenia w próbce jednoosiowo ściskanej oraz opis zależności między wynikiem tego eksperymentu a kształtem, smukłością czy sposobem zamocowania próbki w prasie znaleźć można w wielu podręcznikach mechaniki. Za przykłady niech posłużą: Vutukuri i in. (1974), s. 28-32, Paterson i Wong (2005), s. 30-35, Jaeger i in. (2007), s. 148-150 czy wreszcie Mogi (2007), s. 3-11. Paterson i Wong (2007) podają nawet – na s. 34 – szereg metod, które pozwalają na zminimalizowanie wpływu zjawiska tarcia między płytami prasy a podstawami próbki.

Sygnalizowany w [2] i [4] temat kulisy to odrębna sprawa. Zdaniem autora jej użyteczność w teście jednoosiowego ściskania jest, ogólnie mówiąc, problematyczna. Bardzo dobrze pokazują to prace Gustkiewicz (1985a, 1985b), który studiując fluktuacje odkształceń na poboczniczy ściskanej jednoosiowo próbki poszukiwał m.in. zależności między sposobem zamocowania próbki w prasie a rozkładem odkształceń podłużnych próbki mierzonych na całym jej obwodzie. Badania te pokazały, że obecność kulisy w układzie obciążania próbki często zamiast zredukować niejednorodność pola odkształceń znacząco tę niejednorodność zwiększa. Dodatkowo Dombi (1979) wykazał, że optymalny kształt i rozmiary kulisy zależą od kształtu próbki i jej wymiarów, co oznacza, że praktycznie dla każdego rodzaju próbki niezbędna jest nieco inna kulisa. W sumie wydaje się, iż najlepszym sposobem na redukcję efektów będących konsekwencją braku równoległości podstaw czy też pobocznic próbki oraz prostopadłości pobocznic do płaszczyzny jej podstawy jest zainwestowanie w urządzenia umożliwiające bardzo dokładne doszlifowanie próbki dla uzyskania równoległości bądź prostopadłości odpowiednich płaszczyzn oraz rezygnacja z kulisy w ogóle.

4.2. Prędkość obciążania próbki

Wszystkie rozważane w tym rozdziale dokumenty zalecają wykonywanie testu jednoosiowego ściskania przy utrzymywaniu stałej prędkości narastania naprężeń w próbce. Zalecane wartości tej prędkości zestawiono w tab. 3 i są to wartości bardzo zbliżone. Tym niemniej należy w tym miejscu poczynić następujące uwagi:

Tab. 3. Zalecane prędkości zmian naprężeń w próbce podczas testu jednoosiowego ściskania

Nr dok.	Zalecana prędkość zmian naprężeń
1	2
[1]	od $0,5 \text{ MPa} \times \text{s}^{-1}$ do $1,0$ od $0,5 \text{ MPa} \times \text{s}^{-1}$; norma sugeruje aby skały o mniejszej wytrzymałości obciążać wolniej a te o wysokiej wytrzymałości szybciej
[2]	rzędu $1,0 \pm 0,5 \text{ MPa} \times \text{s}^{-1}$
[3]	od $0,1 \text{ MPa} \times \text{s}^{-1}$ do $0,5 \text{ MPa} \times \text{s}^{-1}$ dla skał słabych, od $0,5 \text{ MPa} \times \text{s}^{-1}$ do $1,0 \text{ MPa} \times \text{s}^{-1}$ dla skał mocnych
[4]	stała i taka, aby czas trwania testu do momentu zniszczenia próbki wyniósł 5-10 min, lub alternatywnie: od $0,5 \text{ MPa} \times \text{s}^{-1}$ do $1,0$ od $0,5 \text{ MPa} \times \text{s}^{-1}$

Za zaskakującą należy uznać zawartą w normie [1] sugestię, by skały o niskiej wytrzymałości obciążać wolno a skały o wysokiej wytrzymałości szybko. Wobec uznawanego powszechnie faktu, iż oznaczana na drodze testu jednoosiowego ściskania wartość R_c rośnie ze wzrostem prędkości obciążania (por. np.: Jaeger, 1972, s. 71-72, 74; Vutukuri i in., 1974, s. 44-49; Paterson i Wong, 2005, s. 133-134) oznacza to zaniżanie wartości wytrzymałości dla skał „słabych” i zawyżanie jej dla skał „mocnych”. Autorowi trudno jest wyjaśnić motywy, którymi kierowali się twórcy normy przyjmując takie rozwiązanie.

W analizowanych dokumentach [1]-[4] podczas wyliczania wartości naprężeń nie są uwzględniane, zachodzące podczas obciążania, zmiany wielkości pola przekroju poprzecznego próbki. Oznacza to, iż założeniu stałości prędkości zmian naprężeń w próbce odpowiada w praktyce stałość prędkości narastania siły obciążającej. Innymi słowy maszyna wytrzymałościowa pracuje w trybie stałej prędkości obciążania⁸. Istnieją podstawy by sądzić, iż eksperymenty wykonane w tym trybie pracy maszyny dają w wyniku niższe wartości R_c niż wówczas, gdy maszyna pracuje w trybie utrzymywania stałej prędkości deformacji próbki (por. Nowakowski 1996, 1997).

⁷ Jest to jedna z przyczyn sygnalizowanego w rozdz. 3.1 zawyżania wartości R_c uzyskiwanej na podstawie wyników testów wykonywanych na próbkach o $\lambda \approx 1,0$.

⁸ Jedynie zalecenia [4] dopuszczają, poprzez określenie jedynie przewidywanego czasu trwania testu, możliwość zastosowania dowolnego trybu sterowania prasą.

Podane w tab. 3 prędkości zmian naprężeń należy uznać za dość wysokie, zapewne wyższe niż te, z którymi mamy do czynienia w praktyce. Są to prędkości, dla których z pewnością można pominąć występujące w skale zjawiska reologiczne (np. pelzanie). Ale w rzeczywistości w przypadku długotrwałych obciążeń statycznych właśnie te efekty mogą spowodować, iż zniszczenie skały nastąpi przy naprężeniach niższych niż te, które wynikałyby z oznaczonej na podstawie testu jednoosiowego rozciągania wartości R_c . Dodatkowo pamiętać należy, iż niektóre materiały (np. sól) mają tę szczególną cechę, że przy wysokich prędkościach obciążania pękają krucho, podczas gdy przy prędkościach niskich zachowują się w sposób ciągliwy, czemu towarzyszy zazwyczaj duży spadek wartości wytrzymałości. Żaden z dokumentów [1]-[4] tego problemu nie sygnalizuje.

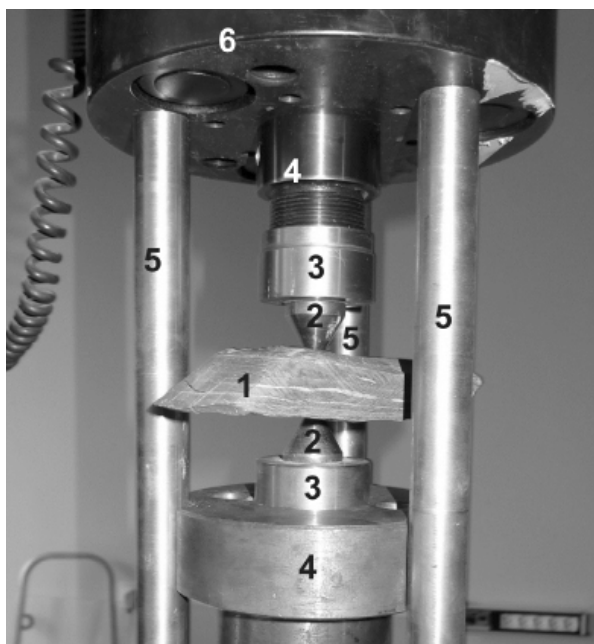
5. Test punktowego obciążania – metodyka badań

Realizowana w tym teście metoda wyznaczania wartości R_c polega na obciążaniu nieforemnej próbki skalnej za pośrednictwem dwóch elementów stożkowych (dla uproszczenia w dalszej części artykułu będzie stosowany termin „kły”) o ściśle określonej geometrii. Podane w normie [5] i zaleceniach [6] kształt i wymiary tych elementów są identyczne.

5.1. Zamocowanie próbki w prasie

Zarówno norma [5] jak i zalecenia [6] szczególną uwagę przywiązują do zachowania współosiowości „kłów” przekazujących obciążenie na próbkę. O ile jednak zalecenia [6] proponują tutaj takie wykonanie płyt prasy by wspomniane „kły” były ich integralną częścią o tyle norma [5] sugeruje wyposażenie układu obciążania w prowadnicę, która uniemożliwiałaby poprzeczne przesuwanie się „kłów” względem siebie. Przykład takiego układu z prowadnicami pokazuje Rys. 2, na którym:

- 1 – obciążana próbka,
- 2 – stożkowe „kły”,
- 3 – nakrętki przytrzymujące „kły”,
- 4 – trzpień (góra) i gniazdo (dół) do osadzania „kłów”,
- 5 – prowadnice,
- 6 – dynamometr.



Rys. 2. Sposób obciążania próbki w teście punktowego obciążania (fot. autora)

Dla próbek o widocznej płaszczyźnie uwarstwienia norma [5] przewiduje badania jedynie prostopadle do tej płaszczyzny⁹ natomiast zalecenia [6] dopuszczają badanie zarówno prostopadle jak i równoległe do płaszczyzny uwarstwienia, przy czym sposób przyłożenia siły obciążającej pokazano na odpowiednim rysunku (por. zalecenia [6] – s. 127, rys. 5).

5.2. Prędkość obciążania próbki

Spośród dwóch przedmiotowych dokumentów norma [5] nie podaje żadnych wartości liczbowych, które pozwalałyby zdefiniować dla tego eksperymentu prędkość obciążania. Jedyna wzmianka w [5] na ten temat znajduje się na s. 3 w punkcie 2.5 i mówi ona, że (cytuje): *Pomiar należy wykonywać stopniowo, powoli zwiększając nacisk prasy na próbkę, aż do jej pęknięcia*” (koniec cytatu).

Zalecenia [6] są w tej materii nieco precyzyjniejsze, bowiem stwierdzają, że podczas testu obciążenie należy zwiększać stopniowo taki sposób, by zniszczenie próbki nastąpiło między 10 a 60 sekund

⁹ Nie jest to napisane wprost, ale wynika z treści normy (por. [5] – s. 3, pkt 2.5)

od chwili rozpoczęcia procesu obciążania. Wydaje się, iż zachodzi tu pewna sprzeczność z sugerowanym przez normę [5] powolnym zwiększaniem nacisku.

6. Sposób wykorzystania wyników eksperymentu

Wielkością, której uzyskanie jest bezpośrednim celem zarówno testu jednoosiowego ściskania jak i testu punktowego obciążania jest wartość tzw. siły krytycznej (P_{kr}), przez którą rozumie się tę siłę, przy której nastąpiło zniszczenie badanej próbki. Sposób wykorzystania wartości P_{kr} do oznaczania wartości R_c jest jednak dla obu testów zupełnie odmienny.

6.1. Oznaczanie R_c na podstawie wyniku testu jednoosiowego ściskania

W tym przypadku oznaczanie wytrzymałości na ściskanie jest oczywiste i zostanie tutaj przypomniane jedynie dla porządku. Zatem, zakładając, że pole przekroju poprzecznego próbki wynosi A i próbka uległa zniszczeniu dla wartości siły obciążającej równej P_{kr} granica wytrzymałości na ściskanie R_c wylicza się ze wzoru:

$$R_c = \frac{P_{kr}}{A} \quad (2)$$

Przy stosowaniu tego wzoru obowiązuje oczywiście założenie, że zmiana powierzchni przekroju poprzecznego próbki jest podczas obciążania zanedbywalnie mała. Jest ono akceptowalne, gdy odkształcenie na granicy wytrzymałości próbki (ϵ_1) jest rzędu 1% – 2% (co jest normą dla materiałów kruchych). Jeśli istnieją podejrzenia, że odkształcenia te są większe niezbędnym jest wprowadzenie pomiaru wartości odkształceń poprzecznych i na ich podstawie odpowiednie korygowanie wielkości przekroju poprzecznego próbki.

Trzeba w tym miejscu wspomnieć jeszcze o jednej rzeczy. Otóż często zdarza się, iż zamawiający badania życzy sobie dokonania przez wykonawcę opracowania statystycznego uzyskanych wyników. Norma [2] podaje nawet ([2], Aneks C, s. 13) cały zestaw wzorów matematycznych, które mogą być wykorzystane do tego celu. Wydaje się jednak, że takie obliczenia wiążą się z ryzykiem popełnienia poważnego błędu. W szczególności pamiętać trzeba, iż w rzeczywistości nie istnieje coś takiego jak „średnia wartość R_c ”. Oczywiście można taką wartość policzyć, ale to nie oznacza, iż ma ona jakiegokolwiek odniesienie do rzeczywistości. Takie mechaniczne liczenie „średniej” jest szczególnie niebezpieczne, gdy uzyskane w laboratorium wartości R_c są bardzo zróżnicowane (np. różnią się o rząd wielkości¹⁰). Z punktu widzenia bezpieczeństwa projektowanych obiektów istotne są bowiem najmniejsze wartości R_c , które mogą – w takim przypadku – bardzo daleko odbiegać od wartości średnich. Zatem – nawiązując do tego, co napisano powyżej w zakończeniu rozdz. 3 – wydaje się, iż nie liczba zbadanych próbek ma tutaj znaczenie a ich reprezentatywność dla badanej skały, a w szczególności to, czy udało się pobrać próby z tych miejsc skały, które wydają się być najsłabsze.

Wydaje się, że dość sensownie podchodziła do zagadnienia statystycznego opracowania wyników badań norma [1], która wprawdzie sugerowała uznawanie za wartość granicy wytrzymałości na ściskanie wartości średniej z wszystkich wykonanych eksperymentów ale opatrywała tę sugestię istotnym zastrzeżeniem, aby dla skał cechujących się dużą niejednorodnością jako wartość końcową granicy wytrzymałości przyjmować najniższą spośród wszystkich uzyskanych w eksperymentach wartości R_c .

6.2. Oznaczanie R_c na podstawie wyniku testu punktowego obciążania

Wykorzystanie uzyskanej w wyniku testu punktowego obciążania wartości P_{kr} do oznaczania wartości R_c jest zagadnieniem dość złożonym, choć punkt wyjścia jest dla obu rozważanych dokumentów ([5] i [6]) taki sam. Zarówno norma [5] jak i zalecenia [6] stwierdzają, że wyznaczanie wartości wytrzymałości na ściskanie rozpocząć należy od wyznaczenia nieskorygowanej wytrzymałości punktowej I_S , przy czym wartość ta wynosi:

¹⁰ Autor miał do czynienia z takimi przypadkami.

wg normy [5]

$$I_S = \frac{P_{kr}}{h \times d} \quad (3a)$$

w którym:

h – wysokość/grubość próbki, która powinna być w przybliżeniu równa 50 mm,

d – szerokość powierzchni pęknięcia.

Jeżeli wartość h znacząco różni się od 50 mm to należy wyznaczyć skorygowany wskaźnik wytrzymałości punktowej I_{S50} na podstawie znajdującego się w normie ([5], s. 4, rys. 3) nomogramu. Następnie poszukiwaną wartość R_c wyznaczyć należy ze wzoru:

$$R_c = c \times I_{S50} \quad (4a)$$

gdzie c jest pewnym współczynnikiem empirycznym równym:

12,0 – dla łowców, mułowców i piaskowców ściskanych prostopadle do uławicenia,
24,0 – dla skał o bardzo dużej wytrzymałości, np. metamorficznych

wg zaleceń [6]

$$I_S = \frac{P_{kr}}{D_e^2} \quad (3b)$$

gdzie D_e jest tzw. ekwiwalentną średnicą rdzenia daną wzorem:

$$D_e^2 = D^2 \quad (3c)$$

gdy eksperyment wykonywany jest „po średnicy rdzenia (patrz wyżej, rys. 1) lub:

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

$$A = W \times D$$

dla testów „po osi rdzenia”, „na bloczku” i „na nieregularnej bryle” (Rys. 1). Sposób pomiaru wielkości W i D pokazuje także Rys. 1.

Jeżeli zachodzi potrzeba wyznaczenia wartości I_{S50} , to zalecenia [6] proponują posłużyć się wzorem:

$$I_{S(50)} = F \times I_S$$

$$F = \left(\frac{D_e}{50} \right)^{0,45} \quad (3e)$$

Zdefiniowany w tym wzorze współczynnik F nosi nazwę współczynnika korekty rozmiaru próbki. Poszukiwaną wartość R_c wyznaczyć należy ze wzoru:

$$R_c = (20 \div 25) \times I_{S(50)} \quad (4b)$$

Z porównania pokazanych wyżej procedur wynika, że główna różnica między postanowieniami normy [5] a zaleceń [6] sprowadza się do sposobu wyznaczania skorygowanego wskaźnika wytrzymałości punktowej I_{S50} . Norma proponuje do tego celu odpowiedni nomogram, natomiast zalecenia sugerują posłużenie się wzorami algebraicznymi. Niestety, znajdujący się na s. 4 normy [5] nomogram jest praktycznie bezużyteczny. Jest on prostokątem o wymiarach $X \times Y \approx 72 \text{ mm} \times 77 \text{ mm}$, przy czym osiom nomogramu odpowiadają następujące wartości zmiennych: $25 \leq x \leq 105 \text{ mm}$ oraz $0,3 \text{ MPa} \leq y \leq 30,0 \text{ MPa}$. Obie osie są logarytmiczne. Przy tak małym rozmiarze nomogramu połączonym z nieliniowością osi prawidłowe interpolowanie na nim wartości I_{S50} jest praktycznie niemożliwe. Problem ten nie istnieje przy posługiwaniu się zaleceniami ISRM [7], które dzięki wprowadzeniu zaproponowanej przez Brooke'a (1985) metodzie ekwiwalentnej średnicy rdzenia pozwalają wyliczyć wartość I_{S50} przy wykorzystaniu wzorów (3e). Jeżeli z jakichś względów posłużenie się normą [5] jest absolutnie konieczne to sensownym wydaje się wykorzystanie nomogramu zamieszczonego przez Kidybinskiego (1982, s. 19, rys. 1.9). Od strony merytorycznej jest on identyczny z zamieszczonym w normie, ale nieco większy ($X \times Y \approx 93 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$) i wyraźniejszy.

Prezentując procedury zapisane w [5] i [6] należy zwrócić uwagę na wartość współczynnika c ze wzoru (4a). Norma [5] dopuszcza dla tego współczynnika tylko dwie wartości z tym, że wyższa z nich ma być stosowana dla skał o bardzo dużej wytrzymałości. Ale norma nie precyzuje, jaka to skała jest „skałą o bardzo dużej wytrzymałości” a przyjęcie, że sposób powstania skały determinuje jej wytrzymałość (np. łupek – niska wytrzymałość, piaskowiec – średnia wytrzymałość, bazalt – wysoka wytrzymałość) może prowadzić do bardzo poważnych błędów. Precyzyjniejsze są pod tym względem zalecenia [6], które podają dla c pewien dopuszczalny przedział zmienności (wzór (4b)) choć nie precyzują kryteriów, którymi należy się kierować przy wybieraniu konkretnej wartości. Autorzy tych zaleceń przestrzegają również, iż z ich

doświadczeń wynika, że w skrajnych przypadkach wartość c może się wahać między 15 a 50 oraz, że błąd przy szacowaniu w ten sposób wartości R_c może osiągnąć nawet 100%.

Za punktę powyższych rozważań niech posłuży fakt, iż opisująca metodykę wyznaczania R_c na próbkach foremnych norma [2] stwierdza w Aneksie B, że jeśli zachodzi konieczność wyznaczenia wytrzymałości na ściskanie poprzez test punktowego obciążania to eksperyment ten należy wykonywać wg procedury opisanej w zaleceniach ISRM¹¹ przyjmując założenie, że $c = 22$. Bez odpowiedzi pozostaje w tym momencie pytanie, dlaczego przy takich postanowieniach normy [2], normy [5] po prostu nie wycofano?

7. Podsumowanie

Przystępując do sporządzenia pewnego podsumowania należy przede wszystkim stwierdzić, iż wszystko, co napisano powyżej w rozdz. 2-6 absolutnie nie wyczerpuje problematyki wyznaczania granicy wytrzymałości skał na ściskanie. Pominięto między innymi takie zagadnienia jak: wpływ temperatury i wilgotności próbki na uzyskiwaną wartość R_c , wpływ anizotropii skały na przebieg i wynik eksperymentu, efekt skali, zależność między wartością R_c a przyjętym sposobem obciążania czy też wpływ sztywności maszyny wytrzymałościowej na wynik testu. Nie analizowano także sposobu wykonania testu jednoosiowego ściskania pod kątem uzyskiwania nie tylko wartości R_c , ale także stałych odkształceniowych: modułu odkształceń podłużnych – E i współczynnika odkształceń poprzecznych – ν . Celem artykułu było jedynie porównanie niektórych postanowień norm i zaleceń ISRM oraz zwrócenie uwagi eksperymentatora na pewne niekonsekwencje i sprzeczności w obowiązujących procedurach.

W przypadku testu jednoosiowego ściskania należy – zdaniem autora – przede wszystkim pamiętać o różnicy w smukłościach próbek dopuszczanych przez [1] i [2] oraz [3] i [4]. Jest to ważne szczególnie wtedy, gdy badania wykonywane są dla celów porównawczych czy też dla weryfikacji tego, co zrobiono wcześniej. Za niedopuszczalne należy uznać porównywanie wyników badań wykonywanych na próbkach o różnej smukłości.

Dla testu punktowego obciążania podkreślić należy, iż uzyskiwane na jego podstawie wartości wytrzymałości na ściskanie trzeba traktować z dużą ostrożnością. Wydaje się, iż ich wykorzystanie powinno być ograniczone do celów klasyfikacji i nie powinny one być używane w obliczeniach statycznych. Autor jest jednak świadom, iż test punktowego obciążania bywa czasem jedynym sposobem uzyskania jakichkolwiek informacji na temat wartości granicy wytrzymałości skały na ściskanie. Jeśli tak jest, to należy zdecydowanie odradzić wyznaczanie R_c na podstawie normy [5]. Zawężenie zakresu jej stosowania wyłącznie do rdzeni wiertniczych w połączeniu z fatalną jakością nomogramu korekty wskaźnika wytrzymałości punktowej czyni tę normę – zdaniem autora – po prostu bezużyteczną.

Porównanie zawartości dokumentów [1], [2], [3] i [4] prowadzi do wniosku, iż normy są dokumentami bardzo lakonicznymi. Dlatego też za celowe należy uznać zapoznanie się z zaleceniami [4] niezależnie od tego, według której z norm test jednoosiowego ściskania będzie wykonywany. Warto też sięgnąć do literatury jak np. wymienione już wyżej Vutukuri i in. (1974) czy Kidybinski (1982) a z nowszych Jaeger i in. (2007). Literatura na temat testu jednoosiowego ściskania jest bardzo bogata i wybór jest tutaj ogromny.

Porównanie zawartości dokumentów [5] i [6] praktycznie – jak już wspomniano wyżej – dyskwalifikuje ten pierwszy. Tym ważniejsze jest dokładne zapoznanie się z zaleceniami ISRM [6], które są obszernie i zawierają wiele przydatnych wskazań i informacji. Lekturę zaleceń [6] warto uzupełnić o wzmiankowaną już pracę Brooke'a (1985).

Praca została wykonana w roku 2014 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

Bieniawski Z. T., Franklin J. A., Bernede M. J., Duffaut P., Rumpel F., Horibe T., Broch F., Rodrigues E., van Heerden W. E., Vogler U. W., Hansagi I., Szlavín J., Brady B. T., Deere D. U., Hawkes I., Milovanovic D., 1979: *Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 16, 2, 135-140.

¹¹ Mówiąc ściśle Aneks D normy [2] odsyła czytelnika do publikacji Franklina i in. (1985).

- Brook N., 1985: *The Equivalent Core Diameter Method of Size and Shape Correction in Point Load Testing*, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 22, 2, 61-70.
- Dombi J., 1979: *Festigkeit und Festigkeitsprüfung der Baustoffe I. Druckfestigkeit*. Zentrales Forschungs- und Projektierungsinstitut der Silikatindustrie. Mitteilungen, 19, SZIKKTI, Budapest, Hungary.
- Franklin J.A., Pells P., McLachlin D., Greminger M., Kutter H., Broch E., van Heerden W. E., Vogler U. W. Wijk G., Brook N., Robins P. J., 1985: *Suggested Methods for Determining Point Load Strength (to replace original document published in 1972)*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 22, 2, 51-60.
- Gustkiewicz J., 1985a: *Strain fluctuations within some rock specimens under uniaxial compression. Part I – local fluctuations*. Acta Geophysica Polonica, 23, 4, 389-405.
- Gustkiewicz J., 1985b: *Strain fluctuations within some rock specimens under uniaxial compression. Part II – certain probabilistic characteristics of the fluctuations*. Acta Geophysica Polonica, 23, 4, 407-427.
- Gustkiewicz J., Nowakowski A., 2004: *Deformacje i pękanie skał w warunkach laboratoryjnych*. Arch. Min. Sci., 49, Special Issue, 9-50.
- Jaeger C., 1972: *Rock mechanics and engineering*. Cambridge University Press, London, UK, 417 pages.
- Jaeger J. C., Cook N. G. W., Zimmerman R. W., 2007: *Fundamentals of Rock Mechanics*. 4th edition, Blackwell Publishing, Australia, 475 pages.
- Kidybiński A., 1982: *Podstawy geotechniki kopalnianej*. Wyd. „Śląsk”, Katowice, 516 s.
- Mogi K., 1966: *Some precise measurements of fracture strength of rocks under uniform compressive stress*. Rock. Mech. Eng. Geol., 4, 41-55
- Mogi K., 2007: *Experimental Rock Mechanics*. Taylor & Francis Group, London, UK, 361 pages.
- Nowakowski A., 1996: *Wpływ sposobu obciążania próbki w sztywnej maszynie wytrzymałościowej na wynik testu jednoosiowego ściskania*. [w:] „Wpływ naprężeń, ciśnienia porowego oraz sorpcji płynów na deformacje i pękanie skał” – Sprawozdanie z działalności naukowej Pracowni Odształceń Skał IMG PAN za rok 1996 (mat. niepubl.).
- Nowakowski Nowakowski., 1997: *Wpływ sposobu obciążania próbki w sztywnej maszynie wytrzymałościowej na wynik testu jednoosiowego ściskania*. Mat. XX Zimowej Szkoły Mechaniki Górniczej, Szklarska Poręba 3-7 III 1967, Dolnośląskie Wyd. Edukacyjne, Wrocław, 357-364.
- Patterson M.S., Wong T-f., 2005: *Experimental Rock Deformation – The Brittle Field*. Springer Verl., Berlin – Heidelberg, 347 pages.
- PKN-1,2014-08-20: <http://sklep.pkn.pl/pn-g-04303-1997p.html?options=cart>.
- PKN-2,2014-08-20: <http://sklep.pkn.pl/pn-g-04307-1998p.html>.
- PN-G-04301:1996: *Skały zwięzłe. Pobieranie i przygotowanie próbek do badań własności mechanicznych i technologicznych*.
- Ulusay R., Hudson J. A., 2007: *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006*. Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, collective work, R. Ulusay & J. A. Hudson (eds.), Ankara, Turkey, 628 pages.
- Vutukuri V. S., Lama R. D., Saluja S. S., 1974: *Handbook on Mechanical Properties of Rocks – Testing Techniques and Results. Volume I*. 1st Edition, Trans Tech Publications, Claustahl, Germany, 280 pages.

Some remarks regarding the laboratory determining of the rock compressive strength in the light of valid standards and recommendations

Abstract

Article is devoted to the methodology for determining the compressive strength of rock by means of laboratory tests. Some compared the test procedures contained in the Polish standards and in the recommendations of the International Society for Rock Mechanics (ISRM). The methodologies of research for samples of regular shape (uniaxial compression test) and for irregular samples (point load test) were taken into account. A special attention was turned to the significant differences in the methods of sample preparation and execution of uniaxial compression test taking place within the Polish standards as well as between the Polish standards and the recommendations of the ISRM. The provisions of the relevant recommendations of ISRM and Polish standards for the point load test were compared and the uselessness of the latter was demonstrated.

Keywords: compressive strength, Uniaxial compression test, point load test, specimen slenderness ratio, stress rate, point load strength coefficient