

WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI MASYWÓW SKALNYCH I STANU NAPRĘŻEŃ

UKD 001.4masywy skalne.004.12:539.4:061.31.053.52(048)(438.311)''1984.06.29''

Wzajemne zrozumienie wymaga omówienia pewnych zasadniczych pojęć, w odniesieniu do których istnieją rozbieżności. W praktyce geologiczno-inżynierskiej spotykamy się z terminami skała i grunt. Wśród geologów nie ma wątpliwości, nadrzędnym pojęciem jest skała, a grunt budowlany stanowi synonim skały luźnej. Inaczej wygląda to jednak dla inżynierów przestrzegających polskich norm budowlanych, dla których zgodnie z PN-74/B-02480 pojęciem nadrzędnym jest grunt, który obejmuje również skały lite, jak i w różnym stopniu spękane. Wskazane byłoby przyjęcie równorzędności obu pojęć, a rozróżnienie gruntu od skały powinno następować zależnie od doraźnej wytrzymałości próbki na jednoosiowe ściskanie oraz wartości wskaźnika mięknięcia. Wymaga to postawienia jednoznacznej liczbowej granicy dla obu tych wielkości, co może być sprawą jeszcze dalszych badań i dyskusji. Prof. R. Krajewski proponuje wartości graniczne $R_c = 10$ MPa i wskaźnik mięknięcia 0,5. Polska norma operuje tylko wielkością R_c podając jej graniczną wartość równą 5 MPa. Na VII ECSMFE odbytej w 1979 r. w Brighton zaproponowano przyjęcie granicznych wartości: $R_c = 3,6$ MPa; wskaźnik mięknięcia 0,6.

Nie wolno jednak zapominać o bardzo szerokim wachlarzu zwietrzelin, określonych w normie gruntowej jako wietrzliny, a w ujęciu geologicznym bezsprzecznie będących skałami. Autor proponuje, aby ze względu na znacznie różniące się właściwości oraz konieczność stosowania odmiennych metod badań przyjąć trzy równorzędne grupy: skała, zwietrzlina, grunt. Autor zdaje się

bie sprawę, że tak przedstawiona propozycja nie jest w pełni zadowalająca i dlatego traktuje ją jako dyskusyjną, otwartą dla innych konstruktywnych wniosków.

Następną sprawą są określenia dotyczące ośrodka (masywu), ośrodka współpracującego z budowlą oraz ciał próbnych badanych w laboratorium. Dla gruntu istnieją w tym zakresie wyraźne rozróżnienia. Ośrodek nazywamy gruntem, przy współpracy z budowlą ośrodek nazywamy podłożem budowlanym, w laboratorium badamy próbki gruntu. Przy skałach istnieją pewne rozbieżności, choć rozpatrując ogólnie ośrodek używa się określenia masyw skalny, jeśli wykonujemy obiekty budowlane, wyrobiska, tunele, skarpy, to mówimy wtedy o górotworze, a w badaniach laboratoryjnych używane są określenia: badanie próbek skalnych lub materiału skalnego (Kidybiński 1982) lub skał (Chmura 1970, Borecki i Chudek 1972, Thiel 1980, Dziewański 1983).

Przechodząc do zagadnień wytrzymałościowych możliwe jest uniknięcie wieloznaczności, jeśli będziemy używali pojęcia wytrzymałości zbadanej w laboratorium lub *in situ* w odniesieniu do próbek. Jest to zresztą ogólnie przyjęte, choć nie zawsze przez wszystkich jasno precyzowane i w tym ujęciu wytrzymałość gruntu stanowi wytrzymałość określonej próbki albo próbek gruntu, a wytrzymałość skał przedstawia wartości zbadane na próbkach. Jeśli teraz przejść do masywu, to przy posadowieniu obiektu na gruncie mówimy o nośności i dotyczy to podłoża budowlanego, natomiast przy zboczach (naturalnych) bądź skarpach (będących dziełem ludzi) mówimy o stateczności.

$$\mu = \operatorname{tg} \Phi \quad [5]$$

Operując pojęciem skał zachowujemy nadal pojęcie stateczności, natomiast przy przenoszeniu obciążeń powinno się używać określenia wytrzymałości lub nośności masywu skalnego.

Byłoby też celowe jednoznaczne nazywanie działu fizyki – mechaniki w odniesieniu do skał. Mechanika gruntów od 1925 r. jako wydzielona i sprecyzowana dziedzina wiedzy osiąga coraz to wyższy poziom. Młodsza od niej dziedziną jest mechanika skał mająca wiele osiągnięć, zwłaszcza w krajach, których duże powierzchnie zajmują góry. W Polsce istnieje pokrewna dziedzina zwana mechaniką górotworu, rozwijana głównie dla potrzeb górnictwa podziemnego. Mimo znacznych tradycji i opracowania wielu specjalnych rozwiązań nie wydaje się słuszne, zwłaszcza ze względu na ogólne tendencje światowe, upieranie się przy tej odrębnej nazwie i chyba w przyszłości będziemy mieli tylko jedną dziedzinę: mechanikę skał. Sprawą dyskusyjną jest separowanie mechaniki skał od mechaniki gruntów. Obie te dziedziny nie różnią się aż tak znacznie od siebie i powinno się dążyć do możliwie największej zbieżności teorii i metod, do jak naściślejszej współpracy i szerokiej wymiany doświadczeń. Tę więc obserwujemy zresztą w Polsce, gdyż zarówno ze względu na warunki geologiczne, jak i powierzchnię oraz zakres prac, ważna jest współpraca ludzi pracujących w obu dziedzinach.

Mechanika gruntów, jak i mechanika skał korzystają z wprowadzonej wielkości fizycznej – pojęcia naprężenia oraz szeroko rozwiniętych teorii sprężystości, plastyczności i reologii. W rzeczywistości istnieje stosunkowo łatwa możliwość pomiaru odkształceń, a w badaniach staramy się tak realizować doświadczenia, aby uzyskać proste intuicyjnie przyjmowane stany naprężeń. Nie nastęrcza też zbyt wielu trudności zaobserwowanie zniszczenia próbki skały, choć nie jest wielokrotnie już tak proste wyjaśnienie istoty tego zjawiska. Korzystając z teorii, obserwacji i badań laboratoryjnych zostały opracowane różne kryteria zniszczenia skał, z których najstarszym, a szeroko do dnia dzisiejszego stosowanym jest kryterium Coulomba-Naviera wyrażone wzorem:

$$|\tau| = \tau_0 + \mu\sigma \quad [1]$$

Jest to liniowa zależność między naprężeniami τ i σ działającymi na płaszczyźnie tworzącej kąt θ z kierunkiem działania mniejszego naprężenia głównego σ_3 . Wielkości τ_0 i μ stanowią stałe materiałowe. Wartości σ i τ można wyrazić w funkcji naprężeń głównych, znaleźć maksimum funkcji $|\tau| - \mu\sigma$ i wtedy postać kryterium jest następująca:

$$2\tau_0 = \sigma_1[(\mu^2 + 1)^{1/2} - \mu] - \sigma_3[(\mu^2 + 1)^{1/2} - \mu] \quad [2]$$

Równanie 2 przedstawia na płaszczyźnie σ_1 , σ_3 prostą przecinającą oś σ_1 przy wartości:

$$R_c = 2\tau_0[(\mu^2 + 1)^{1/2} + \mu] \quad [3]$$

która stanowi jednoosiową wytrzymałość na ściskanie; natomiast oś σ_3 dla wartości

$$-2\tau_0[(\mu^2 + 1)^{1/2} - \mu] \quad [4]$$

Równanie [4] nie określa jednak wytrzymałości na rozciąganie R_t , jak to błędnie zostało podane w „Mechanice skał” (K. Thiel rys. 4.1). Jeśli jedno z naprężeń jest rozciągające zniszczenie może nastąpić w płaszczyźnie prostopadłej do σ_3 . Jest to zupełnie co innego niż zniszczenie ze ściska i nie może tego opisywać kryterium Coulomba. Zresztą dobrze wiadomo, że punkt przecięcia prostej Coulomba z osią σ w układzie osi τ , σ nie jest wartością wytrzymałości na rozciąganie.

Dalsze przekształcenia są możliwe przy wprowadzeniu pojęcia kąta tarcia wewnętrznego Φ :

i nie sędzę, aby konieczne było szersze rozwijanie tego zagadnienia.

W mechanice skał obecnie najszerzej jest stosowane kryterium Griffitha w postaci:

$$\tau_f^2 = 4R_t(R_t - \sigma_n) \quad [6]$$

lub jego modyfikacje dokonane przez Price, Mc Clintocka i Walsh'a względnie Hoeka.

Przedstawione wyżej oraz inne kryteria służą do analizy wytrzymałości próbek skał, a nie masywów skalnych. Jeśli zająć się wytrzymałością masywów skalnych, to na podstawie wyników badań modelowych można wysunąć następujące uwagi ogólne.

Szczeliny i wszelkie nieciągłości materiału znacznie zaburzą rozkład naprężeń z tego względu, że wyjątkowo wtedy można mówić o dobrym kontakcie w miejscu nieciągłości. Natomiast kontakty częściowe i punktowe są przyczyną wysokiej koncentracji naprężeń, co prowadzi do miejscowego kruszenia. Mogą też występować naprężenia rozciągające w poszczególnych blokach, które jeśli nawet nie powodują zniszczenia, to są przyczyną powstania znacznej anizotropii ośrodka. Jeżeli rozpatrywać zniszczenie spękanego masywu skalnego wywołanego ścięciem, to nie wolno zapominać, że musi następować ząbienie się bloków, ich obroty, poślizgi w szczelinach i ścinanie połączeń, co prowadzi do tego, że jeśli skonstruujemy obwiednię wytrzymałości korzystając z wartości uzyskanych z badań poślizgu w szczelinie, to uzyskujemy zbyt małe wartości.

Na wytrzymałość masywu ze szczelinami rzutuje jego historia obciążenia i odkształcenia. Obroty bloków, miejscowe ich pokruszenie, strefy rozluźnień spowodowane poprzednimi obciążeniami, mają zasadniczy wpływ na aktualną wytrzymałość masywu skalnego. Jeśli w masywie skalnym występuje woda musi być uwzględniony jej wpływ na wytrzymałość i analogicznie jak w mechanice gruntów musimy korzystać z naprężeń efektywnych. Przy współpracy masywu z obiektem (obudową, murem podporowym, tunelem, fundamentem) konieczne jest uwzględnienie wymiaru obiektu do wymiaru bloku, gdyż wielokrotnie jest to element decydujący o sposobie zniszczenia.

Tak więc wytrzymałość, a zatem i nośność względnie stateczność masywu skalnego jest sprawą nadzwyczaj złożoną i nie należy się spodziewać możliwości uzyskania prostych rozwiązań. Dlatego też przy wszelkiego rodzaju działalności praktycznej konieczne jest wykonanie w niezbędnym zakresie obserwacji terenowych, przeanalizowanie historii geologicznej, wykonanie pomiarów i badań zarówno laboratoryjnych, jak i terenowych, tak aby korzystając z dobrej znajomości masywu skalnego i wartości jego parametrów możliwe było przyjęcie odpowiedniego kryterium zniszczenia, jak i metod obliczeniowych uwzględniających współpracę obiektu z masywem.

S. Gałczyński i A. Wojtaszek przedstawili pracę „Klasyfikacja masywów skalnych w stanie równowagi granicznej”, w której na początku wspomniano o naruszeniu górotworu w otoczeniu wyrobiska, co jest sprawą oczywistą, jednak przebiega różnie w zależności od bardzo wielu czynników. Podane ogólnikowe stwierdzenie posłużyło Autorom do przyjęcia prawa Coulomba jako jedynego obowiązującego dla wszelkich skał, pyłów, piasków, żwirów, rozdrobnionych węgli, margli, wapieni, gipsów, łupków ilastych, glin zwięzłych, piaskowców, granitów, dolomitów, kwarcytów i innych. Dla wszystkich skał przyjęto, że obowiązuje zależność liniowa między naprężeniem normalnym σ a wytrzymałością na ścinanie τ :

$$\tau = \sigma f$$

Podziału skał dokonano na trzy klasy podając dla każdej z nich inną wartość współczynnika f . Oczywiście z takim ujęciem generalnie upraszczającym całą mechanikę gruntów i skał nie można się zgodzić, a nawet trudno jest podjąć dyskusję.

J. Köhsling opracował publikację „Sprężystość skał w świetle badań laboratoryjnych i polowych”. Na podstawie wielu badań wytrzymałościowych, starannie zinterpretowanych, Autor udowadnia, że wartości modułów sprężystości z badań laboratoryjnych i *in situ* są dla danej skały prawie identyczne. Przedstawiony został też związek między modułem sprężystości a wartością doraźnej wytrzymałości na ściskanie, wynoszący dla łupków metamorficznych z okolic Młotów:

$$E = 122 R_c$$

natomiast dla wapieni z okolic Krzeszowic w różnym stopniu zmetamorfizowanych:

$$E = 243 R_c$$

Są to bardzo interesujące dane, tym bardziej że jak wynika z dotychczasowych innych publikacji wartość $E = 200$ do $400 R_c$, a więc udowodniony został szerszy rozrzut wartości współczynnika.

B. Bereś i J. Lis przedstawiają „Charakterystykę geomechaniczną anhydrytów cechsztyńskich z obszaru Lublińsko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego”. Po omówieniu występowania anhydrytów i udokumentowaniu znaczenia określania wartości ich parametrów wytrzymałościowych przedstawiono uzyskane wyniki badań wytrzymałości na ściskanie i to sięgając do warunków wysokich ciśnień bocznych aż do wartości 60 MPa, wartości modułów sprężystości dla tego samego zakresu ciśnień oraz wyniki badań reologicznych.

Do przedstawionej pracy nasuwają się następujące uwagi. Odczuwa się pewien niedostatek, że przy tak obszernym zakresie badań nie podano wartości wytrzymałości na rozciąganie. Zastanawiające są duże wartości doraźnej wytrzymałości na ściskanie wynoszące średnio 120 MPa. Chmura (1970) podaje wartość R_c dla anhydrytów z Polkowic 65–81 MPa, a więc prawie dwukrotnie mniej. Dla anhydrytów z innych rejonów wartości te są jeszcze mniejsze począwszy nawet od 12 MPa. Autorzy nie są też wolni od drobnych potknięć językowych, jak nierozróżnianie wielkości od wartości, próby od próbki, podają ilość dla przeliczalnej liczby próbek, są to jednak łatwe do wyeliminowania usterki. Przedstawione dane rozszerzają zakres naszych wiadomości o właściwościach anhydrytów z danego rejonu i stanowią bardzo interesującą publikację.

J. Lubieniecki przedstawia pracę „Niektóre cechy geotechniczne zamrożonej zwietrzliny osadów pstręgo piaskowca w rejonie Sieroszowic na obszarze LGOM”. W pracy omówiono wyniki badań wytrzymałości formowanych i zamrażanych próbek piasków drobnoziarnistych i pylastych określanych jako zwietrzelina pstręgo piaskowca. Mając osobiste doświadczenia z badań zamrożonych piasków albskich z Lubelskiego Zagłębia Węglowego wiem jakie trudności muszą być pokonywane. Dobrze jednak, że prace te są prowadzone, gdyż poza zdobyciem doświadczeń pozwalają na podanie wyników. W odniesieniu do przedstawionej pracy nasuwają się pewne pytania wymagające dodatkowych wyjaśnień. Pierwsza sprawa, to problem uzyskiwanych próbek z wierceń. Jakże to były próbki i jak pobierane. Badania dla LZW opierały się na pobranych próbkach wziętych z zamrożonego wokół

szybu płaszczka gruntu. Zapewniało to uzyskanie próbek NNS. Jeśli natomiast dla badań LGOM były pobierane próbki bez zamrożenia z wierceń geologicznych, to znając technikę poboru nie można uwierzyć, aby nawet uzyskano próbki NU. Pewne wątpliwości budzą też wartości wilgotności naturalnej od 5,1 do 32,2% przy porowatości od 0,7 do 27,9%. Szersze przedstawienie pobrania próbek w terenie i podanie w tabeli wartości charakteryzujących ich właściwości, w celu właściwego wymodelowania próbek zamrażanych w laboratorium, pozwoliłoby wyjaśnić wiele kwestii.

Zakres badań obejmował wytrzymałość na ściskanie oraz określenie wartości E , przy czym nie podano kształtu i wymiaru próbek. Jak wiemy jednak obliczenia obudowy szybów wymagają podania wartości kąta Φ , o czym w pracy nie wspomniano. Wiadomą też jest sprawą, że drobnoziarniste piaski występujące na tak znacznych głębokościach mogą łatwo ulec upłynięciu tworząc trudną do opanowania kurzawkę, o tym również w pracy nic się nie mówi. Doceniając podjęcie badań zamrożonych próbek referent nie jest w pełni przekonany o prawidłowo dobranym ich zakresie w odniesieniu do potrzeb praktycznych.

L. Zabuski przedstawia pracę „Rozkład naprężeń w bloku skalnym w badaniach ścinania *in situ*”. Tytuł ten jest nieco mylący w odniesieniu do zawartej w pracy treści. Są to bowiem obliczenia rozkładu naprężeń przy zastosowaniu metody elementów skończonych dla ośrodka sprężystego, ciągłego, poprzecznie izotropowego. Obliczenie dla tak przyjętego ośrodka, poparte wykresami, udowadnia znany badaczom fakt nierównomiernego rozkładu naprężeń przy ścinaniu bloków *in situ* oraz możliwość oderwania się części bloku od podstawy, co również w badaniach można zaobserwować. Całość obliczeń wskazuje na błędy interpretacji, jeśli stosować normę branżową BN-78/8950-01, przeciw której wypowiedzieli się już specjaliści przy forsowaniu jej uchwalenia.

J. Szymański opracował publikację pt. „Wyznaczenie wytrzymałości na ścinanie spękań w masywie skalnym na podstawie określenia parametrów kryterium zniszczenia”. Celem jej jest zaznajomienie z nową metodą pomiarów, wykorzystywanych następnie przy określeniu kryterium zniszczenia dla masywu skalnego ze spękaniem. Świadczy to o tym, że prawie połowa publikacji zawiera dane literaturowe, a następuje jeszcze odwołanie się do drugiej publikacji obecnej sesji J. Szymańskiego i L. Zabuskiego „Wpływ spękań na własności mechaniczne masywów skalnych”. Tej drugiej publikacji nie obejmuje niniejszy referat generalny, może tylko należy nadmienić, że umieszczony w niej rys. 5 nieco odbiega od rys. 2. 16 zamieszczonego w „Podstawach geotechniki kopalnianej” Kidybińskiego (1982), gdyż krzywa IRC 20 przebiega nieco wyżej, a krzywa IRC 10 nieco niżej.

Zamieszczenie w publikacji dużej ilości danych, które znajdują się już w „Mechanice skał” Thiela (1980), a szeroko rozwinięte zostały w książce Kidybińskiego nie jest chyba celowe. Nie jest też korzystne, że nie został przedstawiony obiekt badań. Jedyną bowiem informacją jest to, że pomiarów dokonano dla spękań ciosowych w gruboławicowym kompleksie piaskowców cergowskich. Nie ma natomiast żadnych danych o miejscu pomiarów, nie podano: parametrów orientacji przestrzennej spękań (biegu, kąta upadu), parametrów liniowych spękań (rozwarcia, rozciągłości), parametrów stopnia spękania masywu skalnego (odstępu, gęstości, gęstości powierzchniowej, gęstości objętościowej), parametrów stopnia rozdzielności masywu skalnego (stopnia ciągłości, stopnia rozdzielności masywu skalnego), cech fizycznych powierzch-

ni spełnia (zawilgocenia powierzchni, stopnia wypełnienia). Brak jest również rysunku podającego dane o spekania. Przy takich brakach w objaśnieniach dane o fałistości, kącie dyslokacji, kącie Φ_r , kącie Φ_{max} i wskaźniki odbicia dotyczą pewnego abstrakcyjnego podmiotu. Z pomierzonych danych nastąpiło określenie równania obwiedni zniszczenia, przy czym dobrze jest podając nową metodę przeprowadzić porównanie z dotychczas istniejącą, co pozwala na przeanalizowanie różnic oraz upewnia odnośnie do prawidłowości i korzyści wynikających z jej wprowadzenia. Niestety również i takich danych publikacja nie zawiera.

Jak wspominałem we wstępnej części mojego referatu zagadnienie wytrzymałości masywów skalnych jest nadzwyczaj trudne i niekiedy w praktyce, mimo wykonania nawet bardzo szczegółowych danych, można się spotkać z przykrymi niespodziankami. Dlatego też pierwszorzędne znaczenie ma dzielenie się swymi wiadomościami, publikowanie osiągnięć, koleżeńską dyskusja w gronie specjalistów, gdyż to właśnie przyczynia się do wyjaśnienia wielu spraw niewiadomych, jak i wskazania nie rozpoznanych jeszcze obszarów.

Przy charakteryzowaniu masywów skalnych szczególny nacisk musi być położony na badania terenowe. Badania te troskliwie przeprowadzone muszą dostarczyć jak najwięcej informacji, musi być wtedy przedstawiona z wymaganą dokładnością budowa geologiczna, wyróżnione poszczególne ogniwa litostratygraficzne, przedstawiona ich charakterystyka, zwłaszcza z uwzględnieniem szczelino-wości, wybrane i wskazane miejsca do wykonania badań *in situ* oraz właściwe pobranie, zabezpieczenie i dostarczenie do laboratorium próbek skał. Punktowe badania *in situ* oraz komplet badań laboratoryjnych w nawiązaniu do dokonanej w terenie oceny masywu powinny doprowadzić do uzyskania liczbowych wartości parametrów niezbędnych do projektowania inżynierskiego.

Referat generalny był opracowywany z myślą pobudzenia uczestników do przemyśleń, dlatego też główny nacisk został położony na wychwycenie tych elementów, które moim zdaniem nasuwają wątpliwości lub nie są wystarczająco jasne, często ze względu na brak pełnych danych. Wyjaśnienie takich wątpliwości oraz własna analiza wielu wartościowych danych znajdujących się w materiałach sesji powinny przyczynić się do lepszego zrozumienia pracy masywów skalnych i umiejętnego ich wykorzystywania przy realizacji wielu czekających ważnych zamierzeniach inżynierskich.

S U M M A R Y

After discussing the used strength criteria and mechanism of destruction of rock massifs, there are analysed papers dealing with strength problems, submitted at the Scientific Session. There are analysed 6 of the submitted papers and attention is mainly paid to some doubtful points or those insufficiently clear, often because of the lack of some necessary data.

Р Е З Ю М Е

В статье — после рассмотрения применяемых критериев прочности и механизмов разрушения скальных массивов — определены отношения к предъявленному на Научную Сессию докладом рассуждающим прочностные вопросы. Проведен анализ 6 представленных докладов с особым учетом тех вопросов, которые вызывают сомнения или же являются не совсем ясными из-за отсутствия некоторых необходимых данных.