

Katalogowe ewidencjonowanie geomechanicznych parametrów skał

Artur Dziedzic*, Joanna Pinińska*

Wyniki kompleksowych geomechanicznych badań laboratoryjnych skał są prezentowane na ogół w formie zbiorczych tabel lub diagramów wskazujących przedziały lub trendy zmienności parametrów. Zawartość tabel i diagramów oraz ich redakcyjna forma są różnorodne i utrudniają porównywanie badań z różnych regionów lub różnych grup tematycznych.

Zróżnicowany jest też zakres zestawiania danych geomechanicznych. Niektóre mają charakter regionalny (Kamieński, 1949; Kamieński & Skalmowski, 1957; Kozłowski, 1981, 1986, 1987), w innych geotechniczne właściwości są przedstawione na tle litologii skał (Carmichael, 1988) lub też opracowane tematycznie i ograniczone do wybranych parametrów (Pinińska & Łukaszewski, 1992; Thiel, 1980; Wawersik & Fairhurst, 1970).

W nowoczesnych laboratoriach geomechanicznych, po wprowadzeniu sterowanych elektronicznie maszyn wytrzymałościowych o dużej sztywności, zestaw mierzonych parametrów technicznych znacznie się poszerzył. Zwiększyła się rozdzielczość pomiarów, jak też stworzona została możliwość oceny stanów deformacji późniejszego (Pinińska, 1994). Z tych powodów tworzenie zbiorów danych na różnych etapach interpretacji oraz docelowe ich przetwarzanie jest coraz bardziej złożone. Powinno być już od chwili rozpoczęcia badań dostosowane do jednolitego systemu zbiorczej prezentacji końcowej bezpośrednio z bazy danych.

W tym celu opracowano zunifikowaną, informatyczną *Kartę Dokumentacyjną* (Dziedzic & Pinińska, 1995; Pinińska, 1994), która syntetycznie ujmuje szeroki zestaw informacji o geotechnicznych właściwościach skał. Przeznaczona jest głównie do prezentacji właściwości wytrzymałościowych i odkształceniowych w jednoosiowym stanie naprężeń. Może mieć jednak również zastosowanie dla prezentowania badań w warunkach trójosiowego stanu naprężeń.

Karta została wykonana w formie matrycy. Nowe dane są do niej wprowadzane według ustalonego klucza, co w praktyce pozwala na modyfikowanie i rozszerzanie informacji odnoszących się do konkretnej skały na każdym etapie badań. Zunifikowany charakter matrycy służy do szybkiego wykonania kolejnych kart dla poszczególnych odmian skał.

Prezentowaną wersję karty sporządzono dla inwentaryzacji skał rejonu Sudetów w Zakładzie Geomechaniki UW. Obecnie jest ona dostosowana do formatu bazy danych, umożliwia więc na każdym etapie bezpośrednią transmisję zadeklarowanych danych z komputera do karty. Dane odnośnie każdej próbki skalnej są przetwarzane i wprowadzane do tabeli w bazie danych, z której są komputerowo przenoszone do karty. W efekcie tego karta jest tworzona automatycznie, na podstawie wyników badań wprowadzanych sukcesywnie do bazy. Omawiana karta zawiera 99 danych usystematyzowanych w 12 działach tematycznych prezentujących jednolicie parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe dla poszczególnych odsłoneń.

Treść karty

Dane zawarte w karcie (ryc. 1) podzielone są na trzy grupy tematyczne: informacje ogólne, laboratoryjnie określone właściwości geomechaniczne skał oraz ocena masywu skalnego oparta na właściwościach geomechanicznych oraz badaniach polowych. Wszystkie dane zostały odpowiednio ponumerowane.

Pierwsza grupa danych obejmuje informacje ogólne, zestawione w działach 1 oraz 2. Dział pierwszy prezentuje

dane o lokalizacji odsłoneń, opis makroskopowy i petrograficzny skały, użytkowa nazwa, wiek, barwa, układ spękań wg Menzla (proponowany przez IBG), zastosowanie i sposób eksploatacji surowca (1.1 do 1.10). Dział ten uzupełniony jest szkicem lokalizacji odsłoneń, wpisanym w komputerową mapę Polski (1.11) oraz obrazem makroskopowym polerowanej powierzchni skały (1.12). Dział drugi prezentuje standardowe parametry techniczne: gęstość właściwa i objętościowa, porowatość, nasiąkliwość, szczelność, ścieralność i mrozoodporność (2.1 do 2.8).

Drugą grupę tematyczną stanowią informacje o geomechanicznych właściwościach skały. Dane te są podzielone na parametry stanu przedkrytycznego — dział: trzeci, czwarty i piąty oraz stanu pokrytycznego — dział: szósty, siódmy i ósmy. Prezentują one, tak w stanie przedkrytycznym jak i pokrytycznym, zestaw danych na temat wytrzymałości, odkształcalności i cech akustycznych skały. Zaprezentowano w nich wiele parametrów dotyczących nie uwzględnianych, jak np.: graniczne wartości naprężeń dla faz stabilnej i niestabilnej deformacji lub zmiany wartości odkształcenia osiowego i objętościowego dla różnych faz pęknięcia.

Parametrom wytrzymałości poświęcony jest dział trzeci karty (3.1 do 3.4), w którym prezentowane są właściwe danej skale przedziały zmienności naprężeń krytycznego w stanie powietrzno-suchym, po nasyceniu wodą, po cyklicznym zamrażaniu w procesie ściskania jednoosiowego oraz przy ściskaniu metodą brazylijską. Zawarte są tutaj również współczynniki odporności na mięknięcie i zamrażanie, wartość wytrzymałości na ścinanie, wskaźnik odporności na pęknięcie, a także klasyfikacja badanej skały wg. polskiej normy PN-84/B-01080, systemów Millera oraz Protodiakonowa (Kidybiński, 1982).

Dział czwarty poświęcony jest odkształcalności. Przedstawione są tam wartości naprężeń (4.1) oraz odkształceń osiowych i obwodowych w zakresie faz liniowej sprężystości, stabilnego pęknięcia oraz pęknięcia niestabilnego (4.5). Fazy wydzielono zgodnie z kryteriami Halbauera (Hallbauer i in., 1973). W rubrykach 4.2, 4.3 i 4.4 umieszczone są parametry sprężystości: statyczne — z testu jednoosiowego ściskania w prasie sztywnej i dynamiczne — oznaczone na podstawie badań ultradźwiękowych.

W dziale piątym zawarte są dane o właściwościach akustycznych skały (Pinińska, 1992). W rubrykach 5.1, 5.2 przedstawiono prędkość rozchodzenia się fali w ośrodku, współczynnik anizotropii akustycznej oraz wskaźniki zmiany prędkości fali podłużnej pod wpływem nasycenia ośrodka wodą i zamrażania, a w rubrykach 5.3 i 5.4 dane o emisji akustycznej stanu przedkrytycznego: procentowy udział zdarzeń oraz typ emisji wg Boyce'a (Boyce i in., 1981).

W podobnej kolejności są przedstawione zagadnienia dotyczące stanu pokrytycznego. Zbiór parametrów rozpoczynają dane dotyczące wytrzymałości. Dział szósty zawiera ocenę wytrzymałości rezidualnej, liczbę faz makropęknięcia i mikropęknięcia pokrytycznego oraz przedziały towarzyszących im poziomów relaksacji naprężeń (6.1 do 6.3).

Parametry odkształcalności są prezentowane w dziale siódmym. Dane o całkowitych pokrytycznych odkształceniach objętościowych oraz odkształceniach objętościowych

*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski,
ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

związanych z fazami pęknięcia pokrytycznego są zawarte w rubryce 7.1, a wartości modułów odkształcenia faz deformacji pokrytycznej w rubrykach 7.2 i 7.3. Rubryka 7.4 prezentuje wartość stopnia uszkodzenia ośrodka skalnego. W dziale siódmym jest przedstawiony również pełny przebieg typowej dla danej skały krzywej naprężenie-odkształcenie wraz z kwalifikacją modelu deformacji (7.6) (Pinińska, 1994, 1995), a także mikroskopowy obraz struktury skały przed i po zniszczeniu, dla identyfikacji charakteru pęknięcia (7.5).

W dziale ósmym jest przedstawiony graficznie model przebiegu pokrytycznej emisji akustycznej według Pinińskiej (1994, 1995). Obwiedzona ramką krzywa, reprezentuje model przebiegu sygnałów akustycznych charakterystyczny dla danej skały.

Wskaźniki porównawcze, przedstawione w dziale dziewiątym, stanowią podstawę do oceny stanu zaawansowania pęknięcia na podstawie proporcji modułów deformacji stanu przedkritycznego i pokrytycznego (9.3 i 9.4), zgodnie z propozycją Xie (1993). Charakteryzują również dane o charakterze podstawowym, jak proporcje wytrzymałości maksymalnej i rezidualnej, statycznego i dynamicznego modułu sprężystości, wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie i rozciąganie, a także wartość wskaźnika Protodiakonowa (9.1, 9.2, 9.5, 9.6).

Trzecia grupa tematyczna obejmuje dane dotyczące masywu skalnego i w jej skład wchodzi działy: dziesiąty, jedenasty i dwunasty.

Dział dziesiąty odnosi się do oceny masywu na podstawie 100-punktowej klasyfikacji Bieniawskiego (*fide* Kidybiński, 1982) (10.1 do 10.6), a jedenasty i dwunasty do polowych pomiarów szczelinowatości (11.1 do 11.3), oraz odbojności młotkiem Schmidta (12.1).

Na podstawie prezentowanych w karcie danych można łatwo porównywać skały o różnej litologii, bądź o podobnej litologii, a pochodzące z różnych odsłoneń. Można również łatwo dokonać porównań wybranego parametru dla skał z różnych regionów. W karcie przedstawione są bowiem tak przedziały zmienności jak i wartości średnie. Możliwa jest również modyfikacja i uzupełnianie zawartości karty w obrębie poszczególnych grup tematycznych.

Metoda sporządzenia karty

Pierwszą wersję *Karty Dokumentacyjnej* (Dziedzic & Pinińska, 1995) sporządzono przy użyciu programu komputerowego QuarkXPress pracującego w środowisku Windows. Została wtedy wykorzystana zdolność programu do tworzenia ramek, do których wprowadzano odpowiednie informacje tekstowe lub graficzne. Większość informacji zawartych w pierwotnej wersji karty była tekstowa, ale zawarte były w niej także obiekty graficzne: lokalizacja miejscowości, krzywa deformacji i rysunki symbolizujące różne modele aktywności pokrytycznej. Nie było jednak możliwości bezpośredniej transmisji danych z istniejących baz, lecz wprowadzano je oddzielnie dla każdego rodzaju badania oraz dla każdego typu skały.

W nowej karcie, utworzonej za pomocą programu komputerowego „Access” możliwe jest bezpośrednie wykorzystanie baz danych gromadzących dane z poszczególnych badań laboratoryjnych. Archiwizacja podstawowych zbiorów informacji niezbędnych do zestawienia karty przeprowadzana jest w relacyjnej bazie, składającej się z kilkunastu tabel (*Table*) i kilkudziesięciu poleceń (*Query*) oraz raportów (*Report*) zawierających dwanaście działów tematycznych, z których każdy jest oddzielnym podraportem

(*Subreport*). Kartę stanowi zbiorczy raport, przeznaczony do prezentacji danych, w postaci wydruku komputerowego, będący elementem programu Access. Dane do poszczególnych działów są pozyskiwane na podstawie zaprogramowanych poleceń — zapytań. Każdy podraport składa się z różnej liczby „pól tekstowych”, w których wyświetlane są informacje tekstowe i wartości liczbowe. Niektóre podraporty zawierają również ramki obiektów z elementami graficznymi (wykresy, rysunki).

Zbieranie danych laboratoryjnych następuje stopniowo wraz z postępem badań. Do tabel są one wprowadzane poprzez odpowiednio skonstruowane formularze (*Form*), wykonane w trzech różnych typach. Pierwszy rodzaj to formularze przeznaczone do wprowadzania danych ogólnych, dotyczących jednego typu skały, które później są umieszczane w działach: pierwszym, ósmym, dziesiątym, jedenastym i dwunastym. Drugi służy do wprowadzania informacji odnoszących się do poszczególnych próbek w obrębie jednego typu, poddanych różnym badaniom. Po ich przetworzeniu wartości: minimalna, maksymalna i średnia są przedstawione w działach: drugim, trzecim, piątym. Trzeci rodzaj jest przeznaczony do wprowadzania danych pochodzących z arkusza kalkulacyjnego Excel. Są to wartości minimalne, maksymalne i średnie parametrów przedstawionych w działach: czwartym, szóstym, siódmym.

Aby zapewnić poprawne funkcjonowanie relacyjnej bazy danych niezbędne jest zadeklarowanie odpowiedniej komendy, tzw. klucza. Każdy typ skały jest opisany własnym, charakterystycznym dla niego kluczem — symbolem, a w obrębie danego typu skały kluczem jest numer próbki. Dzięki temu program Access może rozpoznać dane i właściwie je grupować, a następnie prawidłowo przedstawiać w karcie.

Przetwarzanie danych podstawowych, po ich wpisaniu do formularza, następuje automatycznie na podstawie odpowiednio skonstruowanych formuł. Automatyczne i natychmiastowe jest również wprowadzanie tych danych do odpowiedniej rubryki karty, właściwej dla każdego odsłoneńia. Przykładowo, po wprowadzeniu odpowiednich, podstawowych danych o parametrach pojedynczej próbki, pochodne parametry dotyczące stanu powietrzno-suchego i po nasyceniu wodą, czyli wartości gęstości pozornej oraz nasiąkliwości wagowej i szczelności wprowadzane są natychmiast do odpowiednich rubryk w karcie, w rozbięciu na wartości minimalne, maksymalne i średnie.

Podobnie, wskaźnik odporności na pęknięcie K_{IC} , zostaje automatycznie wpisany do karty po podaniu informacji o wartości siły niszczącej w kN i wymiarów próbki. Poszczególne parametry są obliczane dla wszystkich próbek poddanych badaniom, natomiast do karty są transmitowane tylko wartości: minimalna, maksymalna i średnia.

Przyporządkowanie danej skały do właściwej klasy wytrzymałościowej następuje również automatycznie. Klasa według PN-84/B-01080 jest określana na podstawie średnich wartości wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe w trzech różnych stanach: powietrzno-suchym, po nasyceniu wodą i po 25 cyklach zamrażania i prezentowana wynikowo w karcie zgodnie z terminologią tej normy.

Za pomocą programu Access nie można wykonywać bardziej skomplikowanych transformacji danych. Dlatego też niektóre parametry skał są przetwarzane i analizowane w arkuszu kalkulacyjnym Excel. Dotyczy to szczególnie analizy faz w stanach przedkritycznych i pokrytycznych. Opracowano zatem specjalną procedurę, która umożliwia komputerową analizę faz deformacji i progów odkształceń. W efekcie otrzymuje się wartości stałych sprężystości, licz-

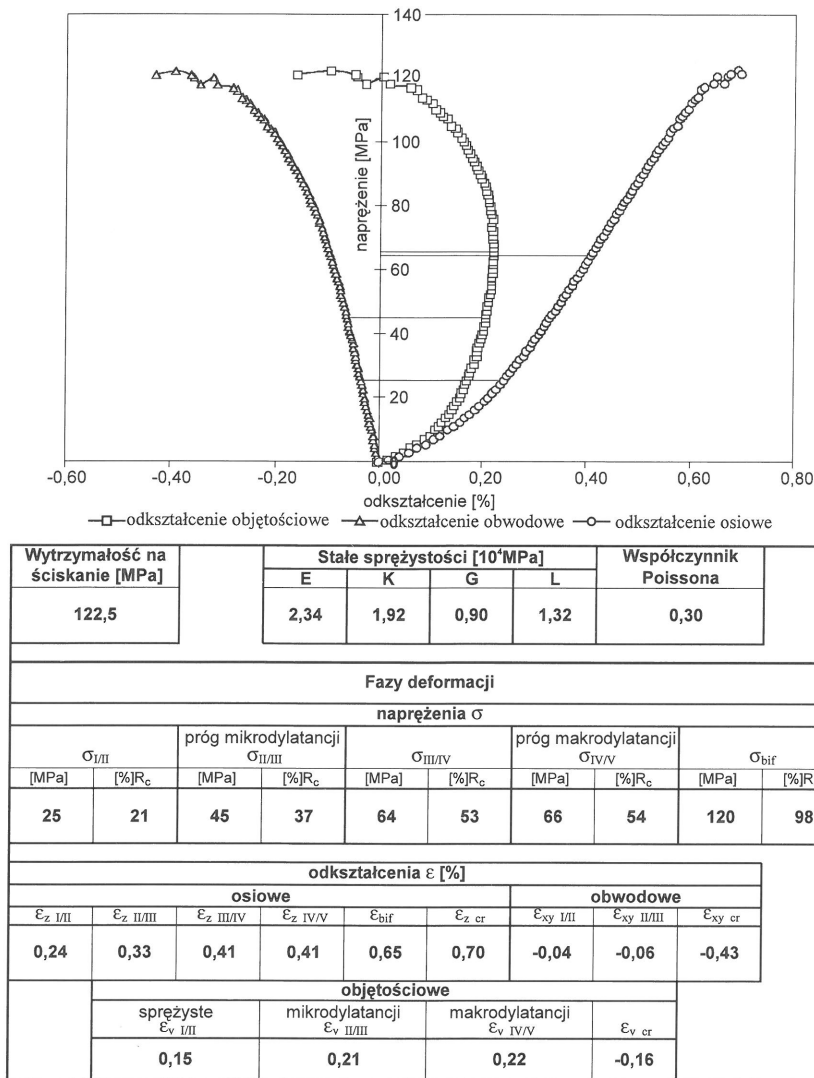


Fig. 2. Krzywa odkształcenie-napężenie i dane otrzymane w wyniku działania procedury obliczeniowej w programie Excel (piaskowiec ze Szczycnej — próbka nr 17)

bę faz deformacji, wartości naprężeń i odkształceń progowych wybranych z odpowiedniej krzywej odkształcenie-napężenie wg określonych kryteriów (ryc. 2). Oprócz wartości odpowiadających jednemu badaniu tworzone jest tutaj także zestawienie zbiorcze dla każdego typu skały. Znajdują się w nim wartości: maksymalna, minimalna i średnia, które są następnie wprowadzane do tabeli w programie Access i transmitowane do właściwego działu karty dokumentacyjnej.

Zależność obciążenie-odkształcenie przedstawiona graficznie w dziale siódmym (7.6) jest tworzona w programie Excel w trakcie procedury analizującej fazy deformacji poprzez jej etapowe odwzorowanie. Utworzona krzywa deformacji przenoszona jest później do jednej z Tabel programu Access, a następnie do właściwej karty.

Lokalizacja odsłonięcia (1.11) jest wprowadzona w tło komputerowej Mapy Polski, sporządzonej według programu firmy Cartall. Część tej mapy, zawierająca nazwy głównych miejscowości, rzeki i ważniejsze drogi w otoczeniu odsłonięcia, jest zapisywana w formacie BMP (bitmapa) i wprowadzana do odpowiedniej rubryki karty, a następnie uzupełniana znakiem graficznym położenia i nazwy miejscowości, w której znajduje się odsłonięcie.

Konstrukcja ostatecznej wersji *Karty Dokumentacyjnej* polega więc na odpowiednim ułożeniu poszczególnych podraportów oraz uruchomieniu właściwych powiązań, dzięki

czemu w obrębie jednej karty jest możliwe zgromadzenie informacji dotyczących tylko jednego, zadeklarowanego odsłonięcia.

Dzięki połączeniu z bazą danych, uzupełnianie karty dokumentacyjnej nowymi danymi tworzonymi w trakcie badań laboratoryjnych następuje prawie w całości automatycznie. Karta jest automatycznie wypełniana danymi i może być wielokrotnie powielana. Dzięki zastosowaniu Karty zunifikowano zakres i formę prezentacji danych oraz wyeliminowano ryzyko omyłkowego wpisywania danych do tabel zbiorczych. Karta jest zatem równocześnie bazą danych i zestawieniem materiałów zbiorczych, ale także może służyć do wyszukiwania danych odnośnie jednego parametru z różnych regionów.

Literatura

- BOYCE G.M., McCABE W.M. & KOERNER R.M. 1981 — ASTM Special Technical Publication, 750: 142–154.
 CARMICHAEL R.S. 1988 — CRC Press, Boston.
 DZIEDZIC A. & PINIŃSKA J. 1995 — Pr. Nauk. Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Polit. Wr., 69: 87–92.
 HALLBAUER D.K., WAGNER H. & COOK N.G.W. 1973 — Int. J. of Rock Mech., Min. Sci. and Geomech. Abstr. 10: 713–726.
 KAMIŃSKI M. 1949 — Skały budowlane w Polsce. Wyd. Geol.
 KAMIŃSKI M. & SKALMOWSKI W. 1957 — Kamienie budowlane i drogowe. Wyd. Geol.
 KIDYBIŃSKI A. 1982 — Podstawy geotechniki kopalnianej. Wydawnictwo Śląsk, Katowice.
 KOZŁOWSKI S. 1981 — Katalog węglanowych złóż surowców wiążących w Polsce. Wyd. Geol.
 KOZŁOWSKI S. 1986 — Surowce skalne Polski. Wyd. Geol.
 KOZŁOWSKI S. 1987 — Atlas litologiczno-surowcowy Polski, 1 : 2 000 000. Surowce skalne. Wyd. Geol.
 KWAŚNIEWSKI M. 1992 — O naturze pustek w skałach, procesie mikropeknięcia i odkształceniach objętościowych poprzedzających kruche zniszczenie w polu naprężeń ściskających. III Szkoła Geofizyki Górniczej. Emisja sejsmoakustyczna w skałach. Wadowice.
 PINIŃSKA J. 1992 — Prz. Geol., 40: 727–732.
 PINIŃSKA J. 1994 — Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał. Część I. Skały osadowe regionu świętokrzyskiego. Zakład Geomechaniki IHiGI, Wydział Geologii UW, Warszawa.
 PINIŃSKA J. 1995 — Prz. Geol., 43: 546–553.
 PINIŃSKA J. & ŁUKASZEWSKI P. 1992 — Rock failure in acoustic emission spectre. Proc. of XX-th Meeting of the European Working Group-Acoustic Emission, Leuven.
 THIEL K. 1980 — Mechanika skał w inżynierii wodnej. PWN, Warszawa.
 WAWERSIK W.R. & FAIRHURST C. 1970 — Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Pergamon Press: 561–575.
 XIE H. 1993 — Fractal in rock mechanics. Balkema.