

MIROSLAWA BUKOWSKA*, JERZY GAWRYŚ**, URSZULA SANETRA***, DANUTA SZEDEL****,
MARIUSZ WADAS***

Parametry fizyczne surowców skalnych a ich przydatność w budownictwie i drogownictwie

Słowa kluczowe

Geologia, surowce skalne, własności fizyczne

Streszczenie

W artykule przedstawiono grupę podstawowych parametrów fizycznych (w tym mechanicznych) skał zwięzłych będących podstawą wstępnej oceny surowców skalnych pod kątem ich przydatności do zastosowań przemysłowych w budownictwie i drogownictwie. Są wśród nich: wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na zginanie, gęstość objętościowa, nasiąkliwość, ścieralność i mrozoodporność. Na ich podstawie wskazano kierunki wykorzystania badanych skał (dolomitu, diabazu i porfiru) w budownictwie ogólnym (kształtki budowlane, kamień łupany do wykonywania murów oraz elementów do licowania ścian), budownictwie drogowym, mostowym i wodnym (krawężniki uliczne, mostowe i drogowe), jak również do produkcji kruszyw do nawierzchni drogowych i kolejowych. Podkreślono również znaczenie niektórych parametrów fizycznych (w tym wytrzymałościowo-odkształceniowych) wykorzystywanych dotychczas do rozwiązywania różnych zagadnień i zastosowań nietypowych z zakresu górnictwa podziemnego i budownictwa tunelowego. Niektóre z nich (własności pokrytyczne, wyrażające się np. modulem spadku) uzyskuje się stosując w badaniach laboratoryjnych generację nowoczesnych maszyn wytrzymałościowych z możliwością serwokontroli i odpowiednio dużą sztywnością.

Wprowadzenie

Eksploatacja surowców skalnych oraz ich wykorzystanie zależą od tempa rozwoju infrastruktury, w tym głównie od rozwoju budownictwa i komunikacji. Wzrost zapotrzebowania na

* Dr, **Mgr inż., *** Mgr, **** Inż., Główny Instytut Górnictwa, Katowice.

Recenzował doc. dr hab. inż. Władysław Konopko

naturalne materiały kamienne, jak również kruszywa łamane, może zintensyfikować ich wydobycie i produkcję. Z tym wiąże się uaktualnienie opracowań dotyczących rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich złóż w celu udostępniania ich nowych rejonów i prowadzenia bezpiecznej eksploatacji przez rozwiązywanie różnych problemów inżynierskich. Niezbędnym elementem do rozwiązywania szeregu zagadnień inżynierskich związanych z eksploatacją surowców skalnych jest znajomość wartości parametrów fizycznych (w tym mechanicznych) skał danego rejonu. Przykładem może być ocena stateczności ścian eksploatacyjnych, którą dokonuje się przez wyznaczenie krytycznego kąta nachylenia stoku oraz wyznaczenie wysokości odkrywkowych wyrobisk eksploatacyjnych.

Określenie parametrów fizycznych skał jest również niezbędne dla przeprowadzenia wstępnej oceny i kwalifikacji surowców skalnych pod kątem przydatności jako materiałów kamiennych do budownictwa, drogownictwa lub innych zastosowań. Biorąc powyższe pod uwagę, w artykule, na przykładzie wybranych złóż (rodzajów skał), przedstawiono podstawowy zakres badań parametrów fizycznych, które są niezbędne do oceny surowców skalnych, zgodnie z obowiązującymi w tym obszarze klasyfikacjami, celem wskazania i określenia możliwości zastosowania w budownictwie i drogownictwie.

W celu uzyskania wiarygodności oznaczeń parametrów fizycznych niezbędne jest spełnienie kilku podstawowych warunków, a mianowicie: dobrze wyszkolony, doświadczony zespół badaczy, odpowiednie wyposażenie laboratorium w aparaturę badawczą i sprzęt, jak również stosowanie metod badawczych opartych na normach PN i standardach międzynarodowych. Laboratorium Geomechaniki Górniczej Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach dba o najwyższą jakość swoich usług i potrzeby klientów. Fachowość, doskonała baza sprzętowa i wypracowane metody badawcze potwierdzone zostały certyfikatem nr L221/1/98 Polskiego Centrum Badań i Certyfikacji w zakresie badania własności fizyczno-mechanicznych węgla kamiennego, skał zwięzłych (materiałów kamiennych), betonów zwykłych oraz żywic organicznych i mineralno-organicznych porowatych.

1. Metody badań własności fizycznych surowców skalnych

Skały lite (zwięzłe) będące fragmentem masywu skalnego różnią się między sobą budową, tj. składem mineralnym, strukturą i teksturą, oraz własnościami.

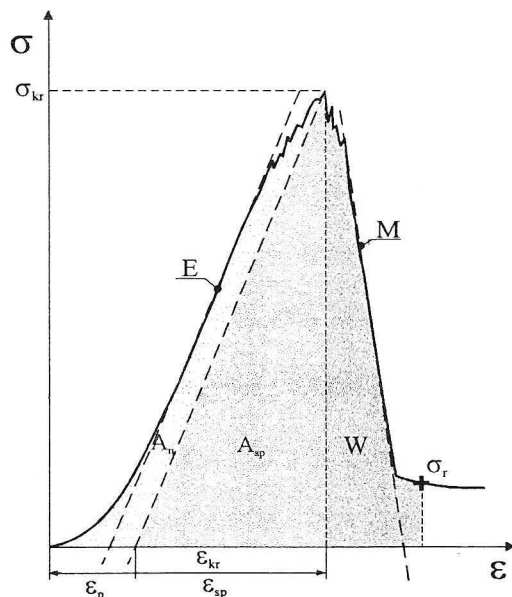
Uwzględniając przeznaczenie materiału skalnego do spełnienia konkretnego zadania — zastosowania, konieczne jest badanie skał w różnych stanach wilgotności, np. w stanie powietrzno-suchym, w stanie nasycenia wodą lub w stanie po badaniu mrozoodporności.

Dany materiał skalny (np. konstrukcyjny) może znajdować się w warunkach powstawania różnych rodzajów naprężeń. Stąd wynika konieczność prowadzenia badań w układach obciążeniowych — ściskającym, rozciągającym, zginającym lub ścinającym.

Badania laboratoryjne własności wytrzymałościowych i odkształceniowych przeprowadza się w maszynach wytrzymałościowych starszej generacji, w tzw. miękkich maszynach wytrzymałościowych lub w nowoczesnych maszynach wytrzymałościowych z możliwością serwokontroli, charakteryzujących się odpowiednio dużą sztywnością. Prowadząc badania w sztywnej maszynie wytrzymałościowej można uzyskać pełną charakterystykę naprężeniowo-odkształ-

cenioną badanej próbki skalnej, zarówno w stanie przedkrytycznym, jak i pokrytycznym (Wawersik, Fairhurst 1970; Wawersik, Brace 1971).

Własności mechaniczne skał w stanie przedkrytycznym określa się ze wznoszącej części charakterystyki naprężeniowo-odkształceniowej, które to własności charakteryzują skałę zwarłą, natomiast jej część opadająca określa własności skały w stanie pokrytycznym, gdy struktura skały ulega zniszczeniu. Niektóre parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe uzyskiwane w próbie jednoosiowego ściskania z przedkrytycznej i pokrytycznej części charakterystyki naprężeniowo-odkształceniowej przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Charakterystyka naprężeniowo-odkształceniowa uzyskiwana w sztywnej maszynie wytrzymałościowej
Naprężenie: σ_{kr} — krytyczne, σ_r — resztkowe; odkształcenie: ε_{kr} — krytyczne, ε_n — nieodwracalne, ε_{sp} — sprężyste;
moduł: E — Younga, M — spadku; energia odkształcenia: A_n — nieodwracalnego, A_{sp} — sprężystego,
W — pokrytycznego

Fig. 1. Characteristic stress-strain parameters and specific energy of longitudinal strain — stiff-testing machine
 σ_{kr} — critical stress, σ_r — residual stress, ε_{kr} — critical strain, ε_n — non-reversible strain, ε_{sp} — elastic strain,
E — modulus of elasticity, M — drop modulus, A_n — energy of non-reversible strain at strength,
 A_{sp} — energy of elastic strain at strength, W — energy of post-critical destruction of sample

Jest wśród nich stosunkowo nowy parametr, nazwany modułem spadku M (osłabienia lub kruchości), który wyznaczono jako tangens kąta nachylenia stycznej do krzywej pokrytycznej. Na podstawie badań stwierdzono, że parametr ten ściśle koreluje z naprężeniem krytycznym σ_{kr} i modułem Younga (sprężystości) E wyznaczonym z przedkrytycznej części charakterystyki naprężeniowo-odkształceniowej (Bukowska, Krzysztoń 1994; Bukowska 1997).

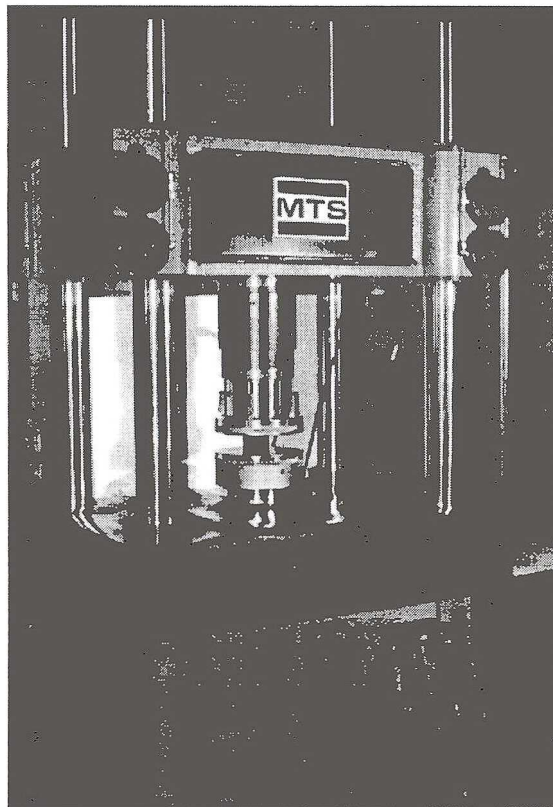
Prowadząc eksperymenty w sztywnej maszynie wytrzymałościowej istnieje możliwość wyboru sterowania procesem, np. elementem sterującym może być siła obciążająca lub odkształce-

nie podłużne czy odkształcenie obwodowe próbki skalnej. Zaletą sztywnej maszyny wytrzymałościowej jest również możliwość prowadzenia badań ze stałą prędkością odkształcenia.

Badania niszczące skał prezentowane w artykule przeprowadzono w maszynie wytrzymałościowej MTS-810 z możliwością serwokontroli (rys. 2).

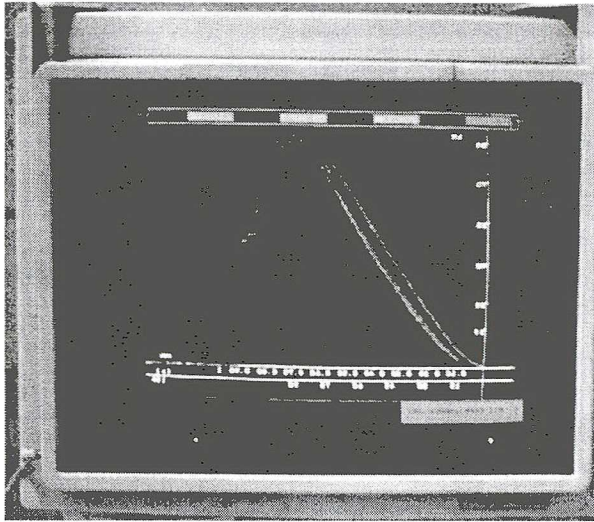
Parametrem sterującym eksperymentem była prędkość odkształcenia podłużnego, która wynosiła 10^{-4} s^{-1} . Na podstawie rejestrowanych wyników pomiarowych w próbie jednoosiowego ściskania wyznacza się dla każdej próbki skały charakterystykę naprężeniowo-odkształceniową, którą wyświetla się na monitorze komputera (rys. 3).

Dysponując odpowiednim wyposażeniem laboratorium w sprzęt, aparaturę i urządzenia (szkło laboratoryjne, wagi, suszarkę, zamrażarkę oraz tarczę Boehmego) można oznaczyć pozostałe, bardzo istotne dla surowców skalnych parametry fizyczne, takie jak: gęstość objętościową ρ_o (PN-66/B-04100) i gęstość ρ (PN-66/B-04100), porowatość całkowitą p (PN-66/B-04100), nasiąkliwość wagową n_w (PN-B-04101), ścieralność S na tarczy Boehmego (PN-84-B-04111) i mrozoodporność (PN-85-B-04102).



Rys. 2. Rama obciążeniowa sztywnej maszyny wytrzymałościowej MTS-810 NEW

Fig. 2. Loading frame of the stiff-testing machine MTS-810 NEW



Rys. 3. Komputerowe odwzorowanie charakterystyki naprężeniowo-odkształceniowej próbki skalnej

Fig. 3. Computer modelling of stress-strain characteristic of a rock sample

2. Charakterystyka wybranych złóż surowców skalnych

Baza surowcowa w Polsce do produkcji kamienia budowlanego i drogowego oraz kruszyw łamanych i łupanych, jak również do produkcji wyrobów z kamienia naturalnego, koncentruje się głównie w czterech rejonach: dolnośląskim, świętokrzyskim, śląsko-krakowskim i karpackim.

Spośród surowców skalnych pobrano próbki z trzech rodzajów skał w celu przebadania ich własności fizycznych i określenia przydatności jako materiałów kamiennych. Są wśród nich skały z rejonu śląsko-krakowskiego, a mianowicie:

- diabazy czarnoszare ze złoża Niedźwiedzia Góra
- porfiry szarozielone i różowoszare ze złoża Zalas
- dolomity żółtoszare ze złoża Ząbkowice Będzińskie I.

2.1. Złoże Niedźwiedzia Góra koło Krzeszowic

Kamieniołom w Niedźwiedziej Górze położony jest na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej na południe od Krzeszowic. Założony jest w obrębie wzgórza zbudowanego z diabazu występującego w dwóch odmianach. Trzon intruzji stanowi diabaz niezwiertzały, barwy ciemnej, szarej lub nawet czarnej, charakteryzujący się dużą twardością i zwięzłością. Diabaz zwiertzały jest jaśniejszy, z odcieniem żółtawym (Gradziński 1972). W skład diabazów z Niedźwiedziej Góry wchodzi przede wszystkim pirokseny i skalenie (głównie plagioklasy), struk-

tura skały jest drobnoziarnista, a skała należy do zasadowych skał magmowych (Bolewski, Parachoniak 1982). Jej powstanie związane jest z orogenezą hercyńską — faza asturyjska (przełom westfalu i stefanu).

Diabaz występuje wśród osadowych skał górnego karbonu należących do westfalu, tworząc żyłę pokładową (sill), której miąższość wynosi maksymalnie około 30 m i zmniejsza się ku wschodowi i zachodowi. Żyłą ta, zgodnie z upadem utworów karbońskich, nachylona jest łagodnie ku SW i dalej w tym kierunku przykryta jest osadami westfalu. Utwory karbońskie na kontakcie z diabazem (widoczne w najniższym poziomie eksploatacyjnym) są nieco zmienione, co uwidacznia się przede wszystkim zmianą barwy. Spągowe partie diabazu są również nieco odmienne od reszty — mniej zwarte, nieco porowate i czerwono zabarwione.

2.2. Złoże Zalas koło Krzeszowic

Kamieniołom Zalas położony jest na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej na południe od Krzeszowic i na wschód od wsi Frywałd. Porfir eksploatowany jest w dwóch odmianach. Dominującą odmianą jest porfir barwy czerwonej i różowoszarej. Oprócz porfiru barwy czerwonej występuje tu odmiana o zabarwieniu zielonawoszarym (szarzielonym). W cieście skalnym tkwią liczne kryształy skaleni, wyróżniające się jasną barwą. Oprócz nich występują blaszki biotyту i kryształy kwarcu. Porfir zbudowany jest głównie ze skaleni (ponad 50%) i kwarcu, zaliczany jest do grupy kwaśnych skał wylewnych (Bolewski, Parachoniak 1982).

Opisywany porfir stanowi część wielkiej intruzji o charakterze zbliżonym do lakkolitu, odsłaniającej się w licznych odkrywkach na obszarze między Głuchówkami, Zalasem i Frywałdem (Gradziński 1972). Powstała ona w ten sposób, że wzdłuż linii hercyńskiej dyslokacji wyciśnięta została z głębi magma i wytworzyła wśród utworów karbońskich formę kopulastą – lakkolit porfirowy. Wiek intruzji porfirów zalaskich określa się na dolny perm.

W złożu występują trzy systemy spękań ciosowych:

- cios zwany stożkowym, który tworzą spękania ustawione pionowo w środkowej części intruzji, a na jej obwodzie nachylone ku centrum,
- cios promienisty stanowią spękania zazwyczaj pionowe, ustawione prostopadle do płaszczyzn ciosu stożkowego, a równocześnie rozbiegające się promieniście od środka intruzji,
- cios obwodowy, gdzie płaszczyzny spękań układają się równoległe do ścian intruzji i widoczne są tylko w jej brzeżnych partiach.

2.3. Złoże Ząbkowice Będzińskie I

Złoże występuje na Wyżynie Śląsko-Krakowskiej w obrębie Garbu Tarnogórskiego, który tworzy płytę wapienia muszlowego o powierzchni około 1010 km², wzniesioną średnio 340—380 m n.p.m. i opadającą na południe progiem tektoniczno-denudacyjnym w stronę zagłębia węglowego. Eksploatowane złoże obejmuje dolomity kruszczońskie i diploporowe, reprezentujące wapień muszłowy dolny i środkowy. Dolomity kruszczońskie leżą na warstwach gogolińskich wykształconych w postaci wapieni. W stropie dolomitów występuje rumosz w różnym stopniu zagliniony. Grubość nadkładu jest zmienna od 0,2 do 12,7 m i wynosi średnio 2,43 m. Seria złożowa zapada pod kątem do 12°, średnio 5—7° w kierunku NE.

Dolomity kruszczone zawierają sfaleryt, wircyt, galenę, piryt, markasyt i towarzyszące im siarkosole. Są to skały drobnokrystaliczne, zbite oraz porowate i kawemiste, barwy szarej, szarobieżowej i żółtoszarej.

3. Badania laboratoryjne parametrów fizycznych skał w celu określenia zakresu przydatności

Skały (surowce skalne, naturalne materiały kamienne) różnią się między sobą własnościami. Surowce skalne, które służą poprzez uszlachetnienie (np. obróbkę) do produkcji materiałów kamiennych cechują się odpowiednimi własnościami fizycznymi (w tym mechanicznymi). Istnieje szereg klasyfikacji skał ze względu na własności fizyczne. Wśród nich podział skał ze względu na: gęstość objętościową, nasiąkliwość, wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na zginanie, ścieralność na tarczy i mrozoodporność.

Wyznaczanie podstawowych parametrów fizycznych surowców skalnych i ich klasyfikowanie jest podstawą określenia zakresu ich przydatności jako materiałów kamiennych przeznaczonych do celów budowlanych, drogowych, kolejowych lub zastosowań w innym przemyśle.

Oprócz parametrów wskazanych powyżej, porfiry, diabaz i dolomit badano pod kątem porowatości, sprężystości, odkształcalności oraz charakterystyki pozniszczeniowej, która opisywana jest między innymi przez moduł spadku. Wyznaczono również, na podstawie parametrów wytrzymałościowych (wytrzymałość na ściskanie i zginanie), wskaźniki zmniejszenia wytrzymałości pod wpływem działania wody — współczynnik rozmiękczenia r (przy wytrzymałości na ściskanie) i współczynnik rozmiękczenia r_z przy wytrzymałości na zginanie.

Średnie wartości parametrów fizycznych oraz wynikające z nich współczynniki zestawiano tabelarycznie (tab. 1—5), a na ich podstawie skonstruowano zbiorcze trójwymiarowe wykresy, na których przedstawiono zmiany poszczególnych własności w zależności od rodzaju skały i stanu w jakim przeprowadzono badanie (np. w stanie powietrzno-suchym — ps, w stanie nasycenia wodą — nw, lub po badaniu mrozoodporności — pbm (rys. 4—10).

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono wykresy rozkładu wytrzymałości na ściskanie i wytrzymałości na zginanie.

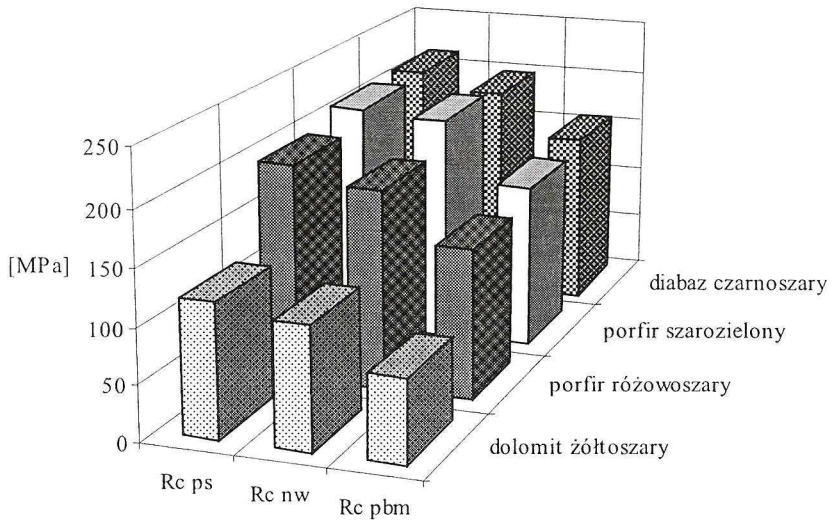
TABELA 1

Średnia wytrzymałość na ściskanie R_c i wytrzymałość na zginanie R_g

TABLE 1

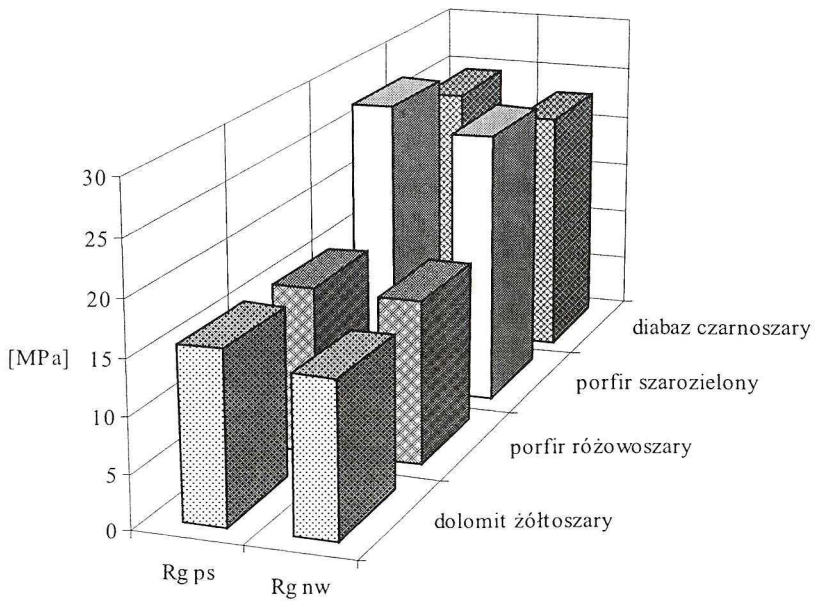
Values of compression strength and bending strength

Skala \ Parametr	Diabaz			Porfir szarozielony			Porfir różowoszary			Dolomit		
	ps	nw	pbm	ps	nw	pbm	ps	nw	pbm	ps	nw	pbm
R_c [MPa]	212,6	196,4	157,0	209,7	205,3	149,8	195,6	180,3	135,9	120,5	110,0	74,7
R_g [MPa]	24,51	22,82	—	27,32	25,33	—	15,29	15,08	—	15,51	14,03	—



Rys. 4. Zależność wytrzymałości na ściskanie od wilgotności

Fig. 4. The dependence of the compression strength on a humidity



Rys. 5. Zależność wytrzymałości na zginanie od wilgotności

Fig. 5. The dependence of the bending strength on a humidity

Pod wpływem działania wody wytrzymałość na ściskanie i zginanie przebadanych skał ulega zmniejszeniu mniej niż 10%. Po 25 cyklach zamrażania i odmrażania na przebadanych próbkach skalnych nie wystąpiły uszkodzenia powierzchni, krawędzi czy naroży. Mrozoodporność wyrażona ubytkiem masy s (w %) po 25 cyklach zamrażania i odmrażania dla diabazu ciemnoszarego, porfiru szarozielonego i porfiru różowoszarego wynosi 0%. Dolomit żółtoszary charakteryzuje się wynikiem 1%. Zarejestrowany 1-procentowy przyrost masy próbek spowodowany jest wchłanianiem przez dolomit dodatkowej ilości wody w trakcie kolejnych cykli rozmrażania. Wchłanianie dodatkowej ilości wody przez próbkę po uprzednim całkowitym jej nasyceniu jest spowodowane prawdopodobnie rozszerzaniem się porów na skutek zamrażania.

Wskaźniki zmniejszenia wytrzymałości pod wpływem działania wody r i r_z oraz współczynnik odporności na zamrażanie, w będący stosunkiem wytrzymałości na ściskanie po badaniu mrozoodporności do wytrzymałości na ściskanie w stanie nasycenia wodą, przyjmują wartości takie jak podano w tabeli 2.

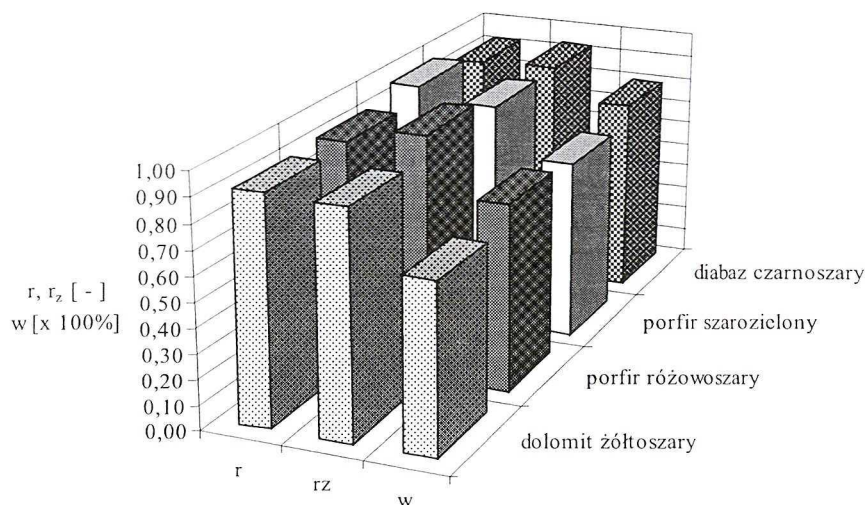
TABELA 2

Współczynniki zmniejszenia wytrzymałości pod wpływem działania wody r i r_z oraz współczynnik odporności na zamrażanie w

TABLE 2

Values of the ratio r , r_z and w

Współczynnik \ Skała	Diabaz	Porfir szarozielony	Porfir różowoszary	Dolomit
r [bezwym.]	0,92	0,98	0,92	0,91
r_z [bezwym.]	0,93	0,93	0,99	0,91
w [%]	80	75	73	68



Rys. 6. Wartości r , r_z i w w zależności od rodzaju skały

Fig. 6. Values of the r , r_z and w depending on the rock

Ważne w grupie parametrów fizycznych są: gęstość ρ , gęstość objętościowa ρ_o , nasiąkliwość n , porowatość p oraz wynikająca z nich szczelność S . Parametry te dla poszczególnych skał przyjmują wartości takie jak zamieszczone w tabeli 3, a ich rozkład przedstawiono na rysunkach 7 i 8.

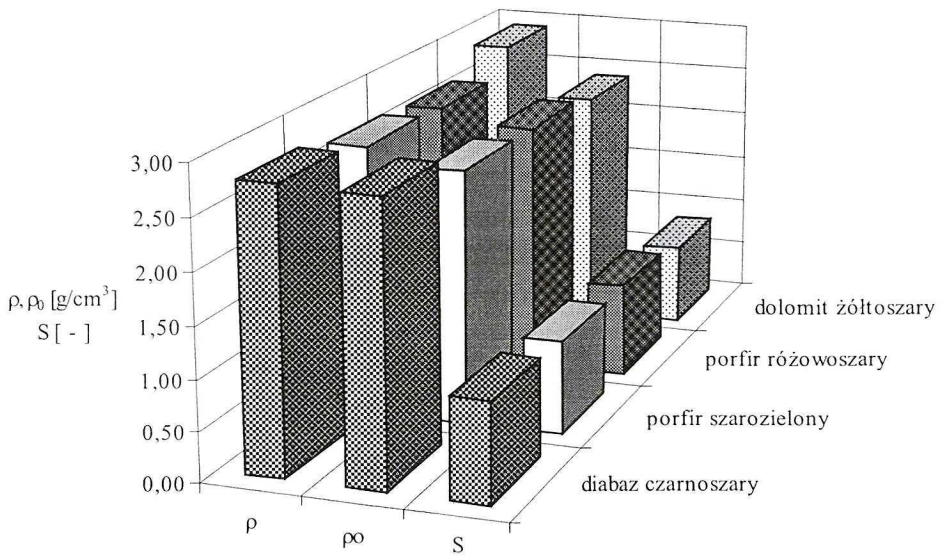
TABELA 3

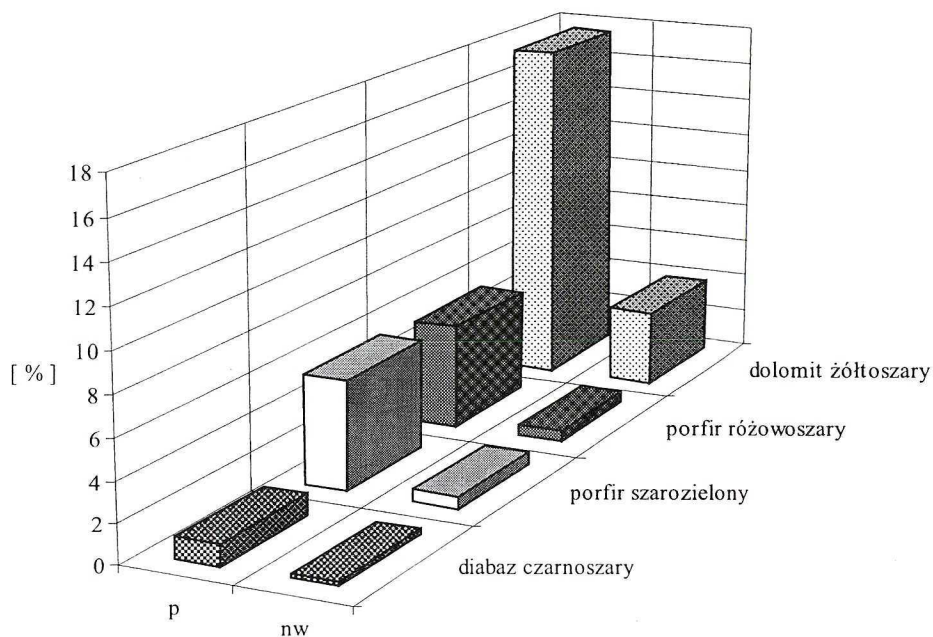
Średnie wartości parametrów fizycznych badanych skał

TABLE 3

Values of the physical properties

Skala \ Parametr	Diabaz	Porfir szarozielony	Porfir różowoszary	Dolomit
ρ [g/cm^3]	2,79	2,67	2,63	2,90
ρ_o [g/cm^3]	2,76	2,52	2,49	2,39
n_w [%]	0,24	0,61	0,57	3,92
p [%]	1,08	5,62	5,32	17,59
S [bezwym.]	0,989	0,944	0,947	0,824

Rys. 7. Wartości ρ , ρ_o i S w zależności od rodzaju skałyFig. 7. Values ρ , ρ_o and S depending on the rock

Rys. 8. Wartości p i n_w w zależności od rodzaju skałyFig. 8. Values of the p and n_w depending on the rock

Kolejnym oznaczonym parametrem jest ścieralność, która ma bardzo duże znaczenie dla doboru materiałów kamiennych do produkcji płyt posadzkowych, stopni monolitycznych i okładzin stopni. Ścieralność oznaczona została na tarczy Boehmego i przyjmuje wartości jak podano w tabeli 4.

Ponadto w artykule przedstawiono wartości parametrów naprężeniowo-odkształceniowych i odkształceniowych, które uzyskano z próby jednoosiowego ściskania, takich jak: moduł sprężystości E, moduł spadku M i odkształcenie krytyczne ϵ_{kr} .

Próbki diabazu, porfirów i dolomitu poddawane obciążeniom ściskającym wykazały zróżnicowanie wartości parametrów wyznaczonych z nachylenia krzywej przedkrytycznej (moduł

TABELA 4

Wartości ścieralności na tarczy Boehmego

TABLE 4

Values of the abrasivity on the Böhme disc

Skala / Parametr	Diabaz	Porfir szarozielony	Porfir różowoszary	Dolomit
s [mm]	2,8	2,0	2,5	6,6

sprężystości E) oraz z krzywej pokrytycznej (moduł spadku M). Powyższe wartości określone dla poszczególnych rodzajów skał i stanów nawilżenia przedstawiono w tabeli 5, a ich rozkład zobrazowano na rysunkach 9 i 10.

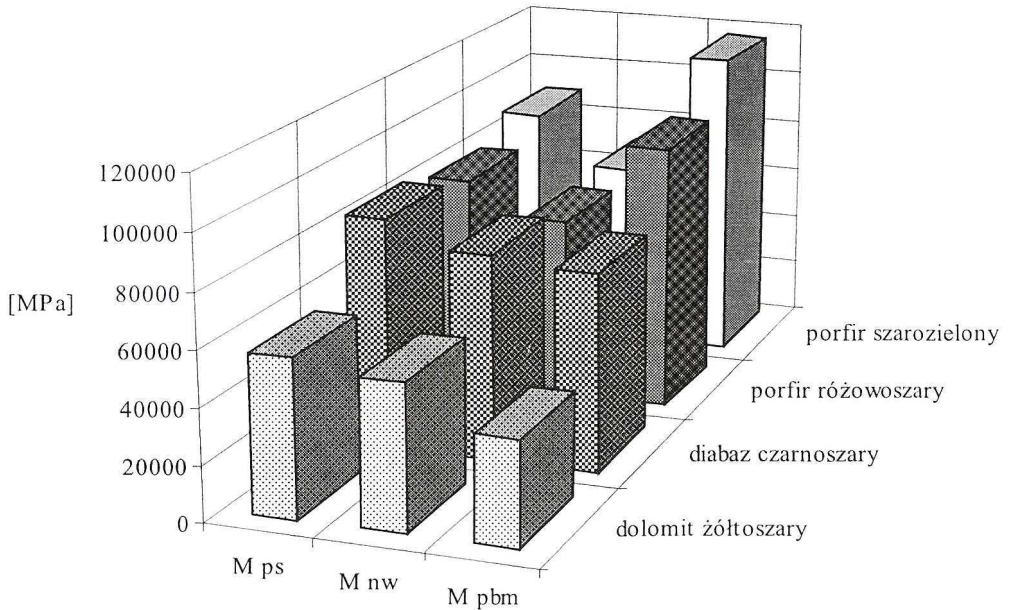
TABELA 5

Średnie wartości parametrów naprężeniowo-odkształceniowych i odkształceniowych

TABLE 5

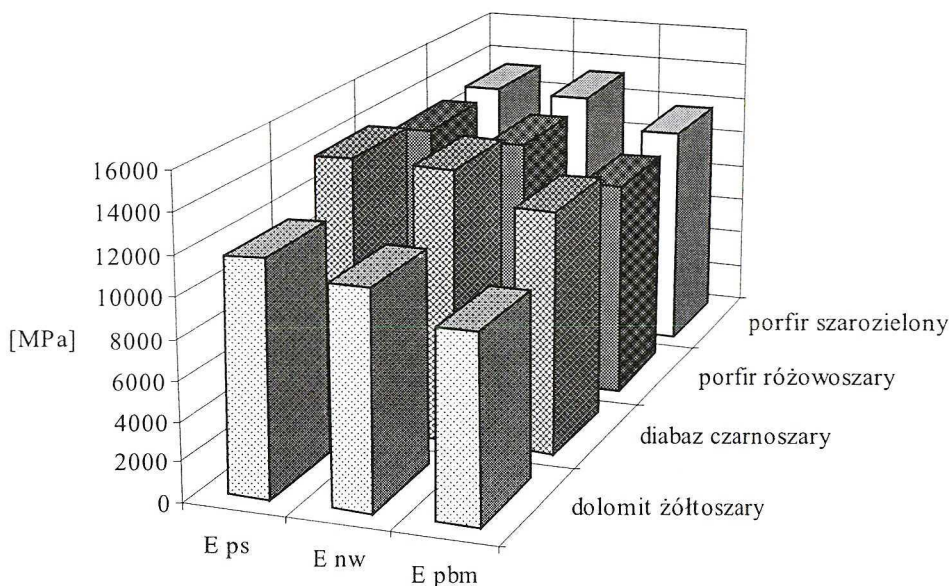
Values of the stress-strain parameters

Skała Pa- rametr	Diabaz			Porfir szarozielony			Porfir różowoszary			Dolomit		
	ps	nw	pbm	ps	nw	pbm	ps	nw	pbm	ps	nw	pbm
E [MPa]	14 020	13 914	12 363	13 311	13 244	11 579	13 217	12 863	11 110	11 736	10 933	9 355
M [MPa]	84 496	75 446	72 746	88 884	69 745	116 492	80 249	67 670	98 336	56 977	52 940	38 009
ε_{kr} [%]	19,00	17,00	17,06	19,00	18,11	18,02	17,99	16,49	16,99	14,26	13,82	11,00



Rys. 9. Zależności modułu spadku od wilgotności

Fig. 9. The dependence of the drop modulus on a humidity



Rys. 10. Zależności modułu sprężystości od wilgotności

Fig. 10. The dependence of the modulus of elasticity on a humidity

Znane zależności między naprężeniem krytycznym a modułem sprężystości E wyznaczonym z przedkrytycznej krzywej naprężeniowo-odkształceniowej i modułem spadku M , który charakteryzuje sposób niszczenia skał w fazie pokrytycznej, potwierdzone zostały badaniami diabazu i dolomitu, dla których wzrost wartości naprężenia krytycznego pociąga za sobą wzrost wartości modułu sprężystości E i modułu spadku M , co odnosi się do stanów nasycenia, w których prowadzono badania (Bukowska, Krzysztoń 1994; Bukowska 1997). Autorzy zwracają uwagę na wyraźny wzrost wartości modułu spadku M dla porfirów, zarówno szarozielonego jak i różowoszarego, badanych po mrozoodporności w stosunku do stanu powietrzno-suchego i stanu nasycenia wodą. Stwierdzony wzrost wartości modułu spadku po badaniu mrozoodporności należy wiązać z budową porfirów, a w szczególności z teksturą porowatą, która charakteryzuje się między innymi obecnością drobnych próżni po pęcherzykach gazowych (tekstura pęcherzykowa). Wielokrotne, a w szczególności ostatnie zamrażanie próbek może doprowadzić do zmian w sposobie zachowania się skały po przekroczeniu naprężenia krytycznego, co w tym przypadku przejawia się, mimo spadku wytrzymałości na ściskanie (naprężenia krytycznego), gwałtowniejszym rozpadem próbek skalnych w fazie pokrytycznej, wyrażonym wartościami modułu spadku M .

4. Ocena jakości surowca skalnego — możliwości zastosowania

Wyznaczanie podstawowych parametrów fizycznych i mechanicznych skał zwięzłych i ich klasyfikowanie jest podstawą określenia zakresu ich przydatności jako naturalnych materiałów kamiennych przeznaczonych do zastosowań przemysłowych.

Jednym z materiałów pierwotnych (wyjściowych) uzyskanych przez urabianie skał w złożu, stosowanych w budownictwie i drogownictwie oraz przeznaczonych jako surowiec do dalszej przeróbki, jest kamień łamany. Wymagania co do właściwości kamienia łamanego w zależności od jego przeznaczenia definiuje norma PN-B-01080. Ogólne kryteria stawiane skałom zwięzłym pod kątem ich wykorzystania w budownictwie i drogownictwie i wynikający z tego ich podział, przedstawione w PN-B-01080 zostały opracowane na bazie niektórych własności fizycznych, wymienionych w rozdziale 3. Właściwości te i szereg innych wraz z występującym w ich ramach podziałem stanowią podstawę oceny jakości naturalnych materiałów kamiennych, charakteryzując jednocześnie stawiane im wymagania dla różnych obszarów zastosowań.

Analiza przedstawionych wyników badań z uwzględnieniem wymagań wymienionej normy pozwala ocenić własności materiałów kamiennych pod kątem ich wykorzystania do celów budowlanych, drogowych i kolejowych. Generalnie, ze względu na gęstość objętościową przebadane skały należą do skał ciężkich i bardzo ciężkich (diabaz), z uwagi na nasiąkliwość do mało nasiąkliwych i bardzo mało nasiąkliwych (diabaz). Wytrzymałość na ściskanie oraz wytrzymałość na zginanie w stanie powietrzno-suchym, nasycenia wodą i po badaniu mrozoodporności osiąga wartości od bardzo dużych dla diabazu do średnich dla dolomitu. Ścieralność na tarczy przyjmuje wartości od bardzo małych (porfir szarzielony) do średnich (dolomit), a mrozoodporność jest bardzo duża dla wszystkich przebadanych skał.

Na podstawie przeprowadzonej oceny wyników badań można stwierdzić, że wszystkie rodzaje przebadanych skał spełniają podstawowe wymagania stawiane naturalnym materiałom kamiennym i mogą być wykorzystane do różnych zastosowań w budownictwie ogólnym, budownictwie drogowym, mostowym i wodnym, jak również do produkcji kruszyw i wypełniaczy. W przedstawionych obszarach zastosowania istnieją, określone normami przedmiotowymi, szczegółowe wymagania co do wartości parametrów fizycznych, jakie powinny spełniać materiały kamienne przeznaczone do produkcji czy wykonania konkretnego wyrobu. Wymagania te są również podstawą charakterystyki jakościowej wyrobu, przez zdefiniowanie jego gatunku, klasy, rodzaju itp. Zaprezentowany w artykule zakres przebadanych parametrów w pełni umożliwia podjęcie decyzji o możliwości zastosowania czy wykorzystania kamienia naturalnego do określonego celu.

W zakresie **budownictwa ogólnego** przebadany materiał kamienny pozwala na wykonywanie kształtek budowlanych według PN-B-11207 w klasie I z diabazu, a w klasie II z porfiru i dolomitu oraz produkcję kamienia łupanego stosowanego w budownictwie do wykonywania murów rzędowych i warstwowych według PN-B-11209 w klasie II z diabazu, a w klasie III z porfiru i dolomitu. Diabaz i porfir spełniają również wymagania fizyczne określone w normie PN-B-11211 dla elementów kamiennych łupanych przeznaczonych do licowania ścian.

W zakresie **budownictwa drogowego, mostowego i wodnego** prezentowane w artykule surowce skalne mogą być stosowane do wykonywania krawężników ulicznych, mostowych i drogowych według PN-B-11213 w klasie II z diabazu i porfiru.

Materiał kamienny można stosować również do **produkcji kruszyw** dla nawierzchni drogowych według normy PN-B-11112 i kolejowych według normy PN-B-11114 (w przedstawionym zakresie oznaczeń) w klasie I z diabazu i porfiru, a w klasie III z dolomitu.

Prezentowana, na podstawie wybranych norm przedmiotowych, ocena jakościowa przykładowych wyrobów z materiałów kamiennych (ocena klasy), jak również przedstawiona wcześniej ocena wyników badań kamienia łamanego pod kątem spełnienia ogólnych wymagań stawianych materiałom kamiennym określonych w normie PN-B-01080, pozwala stwierdzić, że najkorzystniejszymi wartościami parametrów i najbardziej pożądanymi cechami charakteryzuje się diabaz czarnoszary. Nieznacznie tylko niższe jakościowo parametry fizyczne porfiru szarzielonego i różowoszarego określają, podobnie jak dla diabazu, szeroki zakres przemysłowego ich wykorzystania. Parametry fizyczne dolomitu, charakterystyczne dla tego typu skały, określają go głównie jako materiał do produkcji dobrych jakościowo kruszyw do nawierzchni drogowych i kolejowych.

Podsumowanie

Badaniom laboratoryjnym w zakresie określenia parametrów fizycznych (w tym mechanicznych) poddano trzy rodzaje skał zwięzłych, a mianowicie: diabaz, porfir i dolomit.

Ocena jakości skał zwięzłych przez wskazanie ich przydatności do zastosowań przemysłowych przeprowadzona została w oparciu o następujące parametry fizyczne: wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na zginanie, gęstość objętościową, nasiąkliwość, ścieralność na tarczy i mrozoodporność (wg PN-B-01080:1984) oraz ich pochodne w postaci współczynników, np. współczynnik rozmiękania.

Możliwe kierunki wykorzystania przebadanych surowców skalnych są następujące: budownictwo ogólne (kształtki budowlane, kamień łupany do wykonywania murów rzędowych i warstwowych oraz elementów do licowania ścian), budownictwo drogowe, mostowe i wodne (krawężniki uliczne, mostowe i drogowe), produkcja kruszyw do nawierzchni drogowych i kolejowych.

Parametry fizyczne przedstawione w artykule, a nie uwzględniane w normach przedmiotowych do oceny jakościowej wyrobów z naturalnego materiału kamiennego, jak moduł Younga i moduł spadku, odkształcenie krytyczne oraz porowatość, pozwalają w szerszym i pełniejszym niż dotychczas zakresie określić przydatność danego materiału do zastosowań niestandardowych, wymagających szczególnie szerokiego zakresu rozpoznania jego własności fizycznych, w tym wytrzymałościowo-odkształceniowych. Przykładem jest budownictwo podziemne, a szczególnie tunelowe, którego rozwój spowodował znaczne zainteresowanie własnościami pokrytycznymi skał możliwymi do uzyskania dzięki zastosowaniu sztywnych maszyn wytrzymałościowych.

LITERATURA

- Bukowska M., Krzysztoń D., 1994 — Wpływ przedkrytycznych własności naprężeniowo-odkształceniowych na proces niszczenia próbek skalnych. Symposium Nauk.-Tech. Tapania 94, Główny Instytut Górnictwa, Katowice s. 19—28.
- Bukowska M., 1997 — Kształt charakterystyk naprężeniowo-odkształceniowych skał karbońskich oraz korelacje między parametrami fazy przedkrytycznej i pokrytycznej. *Gcotechnika Górnicza i Budownictwo Podziemne*. Dolnośl. Wyd. Eduk., Wrocław, s. 67—79.
- Gradziński R., 1972 — Przewodnik geologiczny po okolicach Krakowa, Wyd. Geol., Warszawa.
- Norma PN-01080:1984 Kamień dla budownictwa i drogownictwa. Podział i zastosowanie wg własności fizyczno-mechanicznych.
- Norma PN-04100:1966 Materiały kamienne. Oznaczanie gęstości objętościowej, gęstości, porowatości i szczelności.
- Norma PN-04101:1985 Materiały kamienne. Oznaczanie nasiąkliwości wodą.
- Norma PN-04102:1985 Materiały kamienne. Oznaczanie mrozoodporności metodą bezpośrednią.
- Norma PN-04110:1984 Materiały kamienne. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie.
- Norma PN-04111:1984 Materiały kamienne. Oznaczanie ścieralności na tarczy Boehmego.
- Norma PN-04116:1991 Materiały kamienne. Oznaczanie wytrzymałości na zginanie.
- Norma PN-11207:1996 Materiały kamienne. Elementy kamienne. Kształtki budowlane
- Norma PN-11209:1996 Materiały kamienne. Kamień łupany
- Norma PN-11211:1997 Materiały kamienne. Elementy kamienne łupane do licowania ścian
- Norma PN-11212:1996 Kruszywa mineralne. Kruszywa łamane do nawierzchni drogowych
- Norma PN-11213:1997 Materiały kamienne. Elementy kamienne; krawężniki uliczne, mostowe i drogowe
- Norma PN-11214:1996 Kruszywa mineralne. Kruszywa łamane do nawierzchni kolejowych
- Wawersik W.R., Fairhurst C., 1970 — A Study of brittle rock fracture in laboratory compression experiments. *Int. J. Rock Mech. Min. Sc. No 6, vol. 7, s. 561—575.*
- Wawersik W.R., Bracc W.F., 1971 — Postfailure behaviour of granite and diabase. *Rock Mech. 3, s. 84—85.*

MIROSLAWA BUKOWSKA, JERZY GAWRYŚ, URSZULA SANETRA, DANUTA SZEDEL, MARIUSZ WADAS

PARAMETERS OF ROCKY RAW MATERIALS AND THEIR USEFULNESS IN CONSTRUCTION INDUSTRY

Key words

Geology, rocky raw materials, physical properties

Abstract

In this paper some basic physical parameters of compact rocks have been described. These parameters are used for the evaluation of the usefulness of rock materials in construction industry and road-making. Among these parameters the most important are: compressive strength, bending strength, density, frost resistance, absorbability and abrasion resistance. Investigations were made for different types of rock materials as dolomite, diabase and porphyry. Results of the investigations indicate possibilities of the utilisation of certain rocks in the construction industry. Also possible application in road, bridge, railways and waterways construction are shown.

But in case of tunneling or underground mining basic parameters are not sufficient. Investigations of particular rock parameters must be performed with the special emphasise on strength and strain criteria, if raw materials are supposed to be used in such industries. Measurements of some specific parameters, like post-critical properties (for instance a drop modulus), can be done only in laboratories, equipped in new generation of strain machines with features of the servo control and high stiff parameters.