

## Ocena cech strukturalnych piaskowców krośnieńskich z Mucharza (Beskid Mały) na podstawie pomiarów prędkości ultradźwiękowej fali podłużnej

Artur Dziejcz\*

**Estimate of structural features of Krosno Sandstones of Mucharz (Beskid Mały Mountains) using ultrasonic longitudinal wave propagation speed.** Prz. Geol., 53: 601–604.

*Summary.* Ultrasonic longitudinal wave propagation speed ( $V_p$ ) tests were carried out on samples of Krosno Sandstones from Górka-Mucharz quarry (Beskid Mały Mountains). The tests putted focused estimating influence of characteristic structural features of the rock on obtained values of  $V_p$ , using on variability of obtained results depending on orientation of mineral elements. Results of this investigations show directional variability of longitudinal wave speed in the investigated sandstones, which depends on features of internal structure. The applied frequency of ultrasonic signals (1MHz) yields significany selective of measurements; allowing to detect even small structural changes.



**Key words:** geomechanics, flysch, Krosno Sandstones, ultrasonic nondestructive tests, anisotropy

Nieniszczące badania ultradźwiękowe znajdują szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach nauk przyrodniczych, a także w wielu gałęziach techniki oraz w medycynie (badania ultrasonograficzne). W technice pomiarowej wykorzystuje się ultradźwięki bierne, o bardzo małym natężeniu, które praktycznie nie wywołują żadnych zmian w badanym ośrodku. Badania ultradźwiękowe polegają na wzbudzaniu za pomocą głowic (przetworniki elektroakustyczne, np. piezoelektryczne) mechanicznych drgań cząstek ośrodka. W ciele sprężystym drgające cząstki przekazują część energii cząstkom sąsiednim, tworząc w ten

sposób fale ultradźwiękową. Jeżeli na drodze takiej fali znajdzie się przeszkoda (np. pusta przestrzeń bądź granica gęstości), to część energii fali powróci do miejsca wzbudzenia w postaci fali odbitej. Można w ten sposób, tzw. metodą echa, określać jednorodność badanych ośrodków, sprawdzać obecność pęknięć, swego rodzaju „wad” w budowie wewnętrznej badanego materiału.

Cechy fizyczne ośrodków warunkują prędkość rozchodzenia się fal ultradźwiękowych. Określa się ją mierząc czas przejścia fali przez badane ciało o znanej geometrii. Dla danego ośrodka wartość ta jest cechą charakterystyczną, swego rodzaju parametrem, gdyż jest pochodną jego właściwości fizycznych: gęstości, porowatości, szczelności, jednorodności itd.

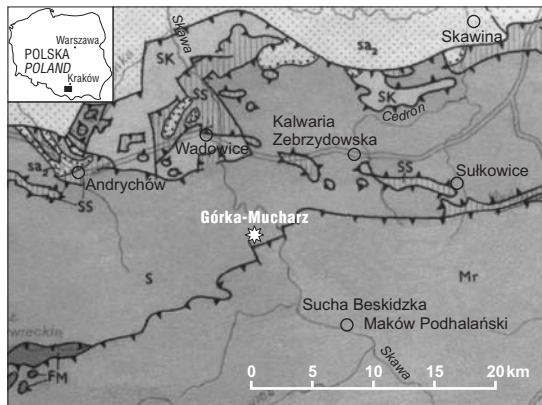
Pomiaru prędkości fali dokonuje się najczęściej tzw. metodą przejścia, wykorzystując dwie głowice: nadawczą i odbiorczą, umieszczone dokładnie naprzeciw siebie, po obu stronach badanego ciała. Fala ultradźwiękowa, prze-

\*Zakład Geomechaniki, Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; artur.dziejcz@uw.edu.pl

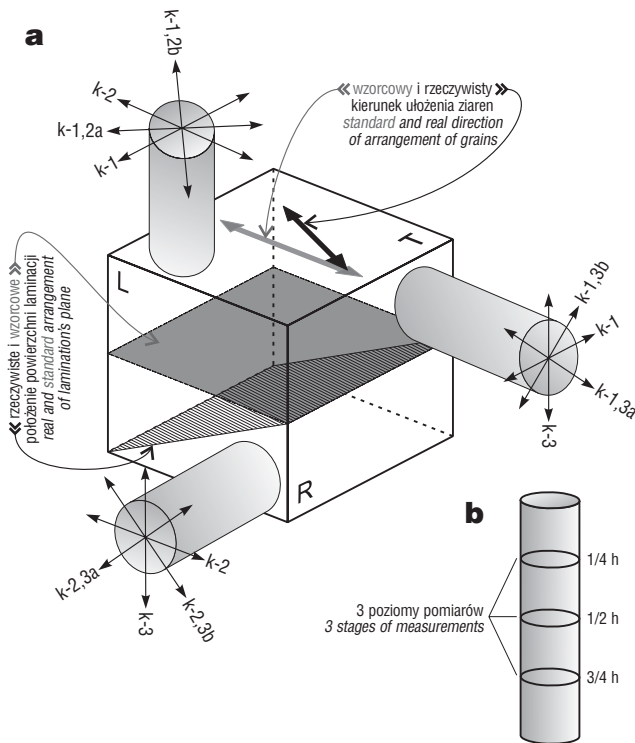
mieszczając się od jednej do drugiej głowicy jest w różnym stopniu tłumiona. Jeżeli ośrodek jest porowaty lub w jego wnętrzu występują powierzchnie nieciągłości, następuje spowolnienie propagacji fali, rozchodzi się ona z mniejszą prędkością.

Ultradźwiękowe techniki pomiarowe stosowane są z dużym powodzeniem w materiałoznawstwie, przy analizie cech metali, ceramiki, tworzyw sztucznych, w diagnozowaniu stopnia zniszczenia elementów maszyn, itd. Stosuje się je także w badaniach ośrodków bardziej niejednorodnych, takich jak betony i skały.

Badania właściwości geomechanicznych ośrodków skalnych z wykorzystaniem metod ultradźwiękowych są stosunkowo szeroko stosowane w praktyce laboratoryjnej. Dzięki stosowaniu fal o dużej częstotliwości, 1 MHz i wyższej, możliwe jest wykonywanie pomiarów na próbkach o



Ryc. 1. Lokalizacja kamieniołomu Górk-Mucharz  
Fig. 1. Location of the Górk-Mucharz quarry



Ryc. 2. a — schemat wycinania próbek z bloków sześciennych oraz przyjęte kierunki pomiarowe; b — miejsca wykonywania pomiarów na poszczególnych próbkach

Fig. 2. a — the scheme of cutting samples from cubic blocks and directions of measurements; b — distribution of measurement sites on individual samples

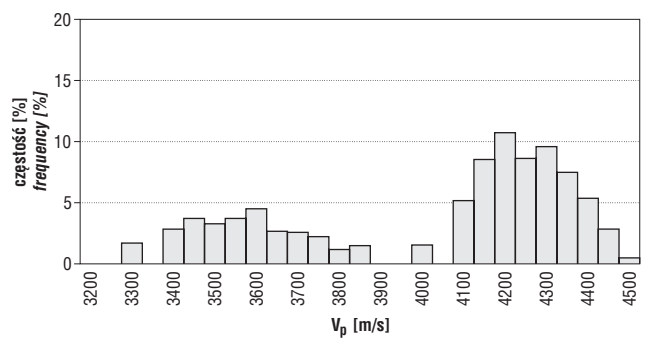
niewielkich rozmiarach (Hobler, 1977; Karska & Pinińska, 1982; Pinińska & Płatek, 2002). W Polsce techniki te zostały zaproponowane przez Kołtońskiego (1955). W praktyce laboratoryjnej najczęściej mierzy się czas przejścia fali przez próbkę skalną, otrzymując w ten sposób wypadkową prędkość czoła fali. Prędkość ta zależy od litologii, struktury i tekstury skały lub też stopnia upakowania ziaren mineralnych (Thiel, 1980; Pinińska, 1981; Karska, 1987) stanowiąc w ten sposób właściwy danej skale parametr cech sprężystych.

Bardzo istotnym elementem badań ultradźwiękowych jest możliwość ustalenia zmienności budowy wewnętrznej materiału skalnego, gdyż lokalne pory, laminy, mikroszczeliny, kierunkowość ułożenia ziaren mineralnych, mineralizacja i tym podobne zmiany w budowie wewnętrznej są przyczyną zróżnicowanego tłumienia fal ultradźwiękowych (Pinińska, Płatek, 2002).

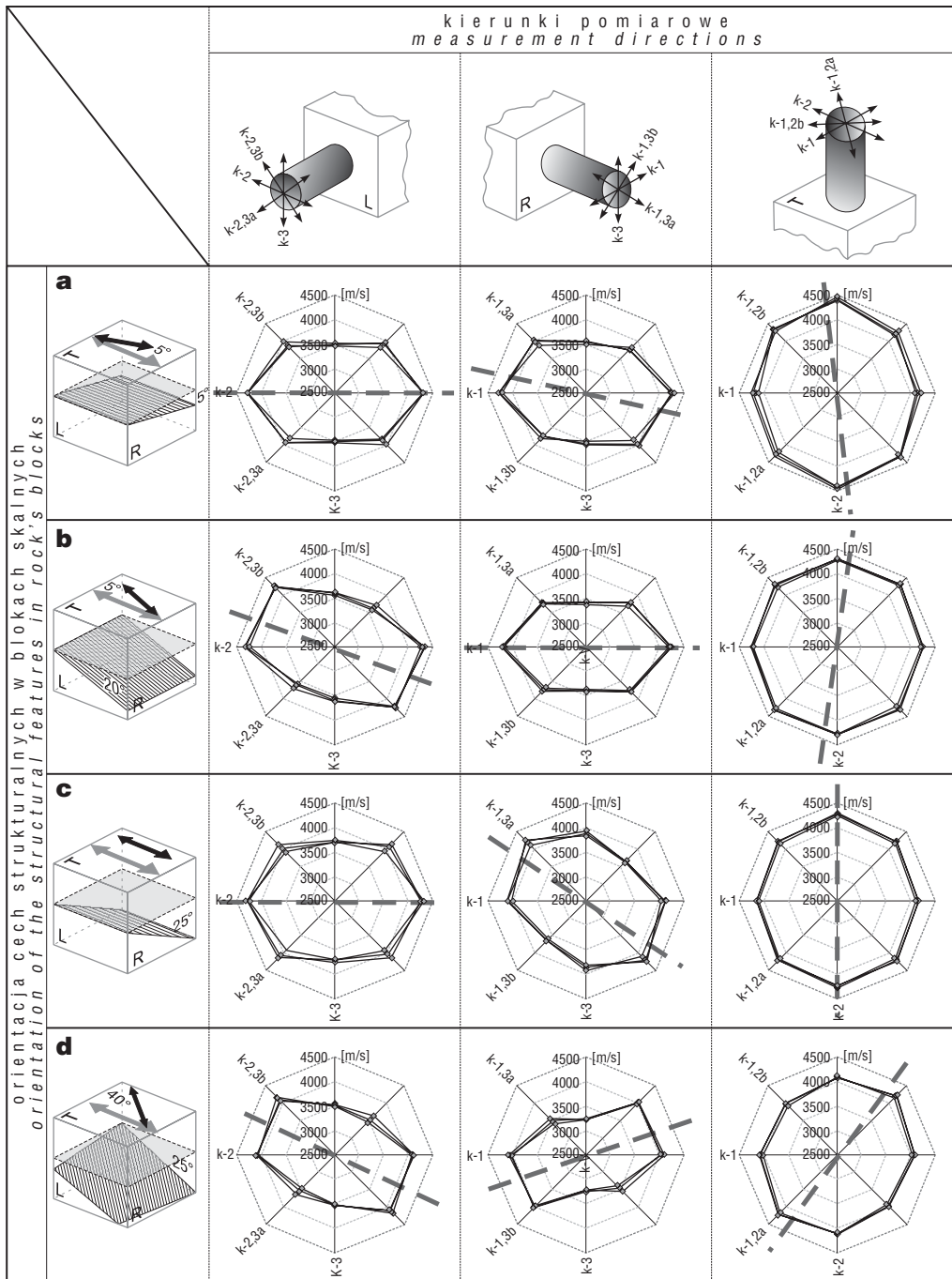
Istotnym zagadnieniem w pomiarach ultradźwiękowych skał jest skuteczność i selektywność diagnozy zmian budowy wewnętrznej, związana z dokładnością uzyskiwanych wyników. Trudno bowiem zdecydować, czy różnice prędkości fali podłużnej ( $V_p$ ) rzędu kilkudziesięciu m/s świadczą o lokalnej zmianie w strukturze materiału, czy też jest to efekt błędów pomiarowych. W literaturze (np. Carmichael, 1989) podaje się przeglądowo wartości  $V_p$  z dokładnością do 100 m/s. Jednak taka dokładność może okazać się za mało znacząca przy względnej ocenie zmian strukturalnych. W niniejszym artykule zostaną przedstawione wyniki badań ultradźwiękowych, z których wynika, że zmiany  $V_p$  rzędu kilkudziesięciu m/s są następstwem anizotropii budowy strukturalnej materiału skalnego.

### Przedmiot i cel badań

Badania wpływu cech strukturalnych na prędkość fali podłużnej ( $V_p$ ) przeprowadzono na próbkach piaskowca krośnieńskiego, eksploatowanego w kamieniołomie Górk-Mucharz, we wschodniej części Beskidu Małego (ryc. 1). Jest to piaskowiec średnioziarnisty, o spoiwie ilasto-węglanowym, barwy szarej, zmieniającej się w brunatną w wyniku wietrzenia. Wśród składników mineralnych występują: kwarc, skalenie, łuszczyki oraz duże ziarna muskowitu na tle drobnoziarnistej masy kwarcowej z miąk. Składniki mineralne są słabo obtoczone, a niezometryczne ziarna charakteryzują się kierunkowością ułożenia. Makroskopowo zauważalne jest także laminarne ułożenie ziaren, podkreślone poprzez smugowanie ciemnymi minerałami i związkami żelaza. Wiek tych skał określany jest jako oligoceński.



Ryc. 3. Histogram rozkładu prędkości fali podłużnej ( $V_p$ )  
Fig. 3. Histogram of distribution of longitudinal wave propagation speed ( $V_p$ )



**Ryc. 4.** Przykłady diagramów kołowych obrazujące zmienność prędkości fali podłużnej ( $V_p$ ), zależną od orientacji kierunku pomiaru względem cech strukturalnych. Linia przerywana na diagramach wskazuje, określoną pomiarami, orientację cech strukturalnych  
**Fig. 4.** Examples of circled diagrams showing variability of longitudinal wave speed ( $V_p$ ). It is dependent on orientation of measurement direction with respect to structural feature. Broken line shows orientation of structural features

Analiza petrograficzna wskazuje, że tekstura skały jest lekko kierunkowa, zaznaczona łyszczkami i minerałami nieprzezroczystymi. Wyszortowanie materiału jest dobre. W składzie skały stwierdza się także obecność litoklastów skał metamorficznych i węglanowych oraz liczne łyszczki jasne i ciemne. Sporadycznie występują pojedyncze ziarna nieprzeobrażonego glaukonitu. W ziarnach kwarcu zauważalne są niezabliźnione pęknięcia świadczące o mikrospekaniu w toku procesów diagenetycznych. Skład mineralny oraz projekcja na zmodyfikowanym schemacie Dotta (1964) pozwalają uznać piaskowiec z Mucharza, zgodnie z klasyfikacją Pettijohna (1972), za średnioziarnistą wakę lityczną bądź arkozową.

Jak wykazały przeprowadzone wcześniej na tych skałach badania ultradźwiękowe (Dziedzic, 2003), występujące w piaskowcu charakterystyczne cechy strukturalne wpływają na kierunkową zmienność propagacji fali ultradźwiękowej. Wyraziło się to wyraźnym obniżeniem prędkości — o ok. 600 m/s (15%), w kierunku prostopadłym do powierzchni laminacji, oraz niewielkim zróżnicowaniem  $V_p$  między kierunkami: prostopadłym i równoległym do dłuższych osi ziaren. W tym wypadku fale propagowały się szybciej w kierunku zgodnym z dłuższymi osiami ziaren i mimo, że wielkość zmiany nie była duża, rzędu 100 m/s (ok. 5%), to powtarzalność obserwacji wskazywała, że ta cecha strukturalna wpływa na rozchodzenie się fali w tym ośrodku skalnym.

Pomiary ultradźwiękowe, wskazujące na istnienie przedstawionych wyżej zależności, wykonywane były na próbkach dokładnie zorientowanych względem obserwowanych cech strukturalnych. Celem tych badań było bowiem określenie anizotropii właściwości dynamicznych piaskowców z Mucharza. Ta dokładna orientacja nie pozwoliła jednak ocenić, w jakim stopniu daje się uchwycić za pomocą badań ultradźwiękowych, reorientację cech strukturalnych względem kierunku pomiaru, a tym samym nie było możliwe określenie, jak selektywne są takie pomiary. Przeprowadzono zatem analizę badań na próbkach niezorientowanych i na tej drodze sprawdzono, jak wynik pomiaru prędkości fali podłużnej ( $V_p$ ) odzwierciedla orientację struktur kierunkowych w badanych skałach.

### Metodyka badań

Prędkość fali ultradźwiękowej mierzono po obwodzie walcowych próbek skalnych, na każdej z nich wykonując, w 1/4, 1/2 i 3/4 wysokości, 12 pomiarów w 4 różnych kierunkach (ryc. 2). Kierunki te zorientowane były względem krawędzi prostopadłościennych bloków skalnych, wcześniej przygotowanych w kamieniołomie Górka-Mucharz. Wycięto nich, prostopadle do ścian bocznych (L, R, T) 12 próbek o średnicy 5 cm i długości ok. 25 cm. W blokach obserwowano różne, od 5° do 25°, nachylenie powierzchni laminacji w stosunku do przyjętego poziomu odniesienia, równoległego do jednej ze ścian (ryc. 2). Zróznicowane były także kąty (od 5° do 40°) między kierunkami dłuższych osi ziaren a przyjętym kierunkiem odniesienia równoległym do jednej z krawędzi bloku. Przyjęty sposób przygotowania materiału badawczego pozwolił na zachowanie w poszczególnych próbkach zmiennej orientacji cech strukturalnych względem kierunków pomiarowych.

Badania wykonywano przy użyciu defektoskopu ultradźwiękowego z przetwarzaniem cyfrowym typu UMT-11, stanowiącego kartę rozszerzeń do komputera PC. Do pomiaru prędkości propagacji fali podłużnej wykorzystano głowice o częstotliwości 1 MHz, co pozwoliło na generowanie długości fal kilkakrotnie mniejszych niż rozmiary próbek.

### Rezultaty badań

Pomierzone, wzdłuż przyjętych kierunków, prędkości fali podłużnej ( $V_p$ ) wskazują na obserwowaną we wcześniejszych badaniach, anizotropię cech sprężystych (Dziedzic, 2003). W całym zbiorze danych odnotowano dość znaczny rozrzut, od ok. 3300 m/s do ok. 4500 m/s. Histogram rozkładu  $V_p$  (ryc. 3) wykazuje dwudzielność, co potwierdza rejestrowane we wcześniejszych badaniach zróznicowanie właściwości dynamicznych. Obserwacje makroskopowe elementów strukturalnych w poszczególnych próbkach wykazały, że najniższe prędkości odnotowano w kierunkach, w przybliżeniu, prostopadłych do laminacji. Ich średnia wartość (3500–3600 m/s) jest zbliżona do uzyskanej we wcześniej prowadzonych badaniach (Dziedzic, 2003).

Dostosowany do celu badań, ujednolicony schemat kierunków pomiarowych umożliwił graficzną prezentację wyników na diagramach kołowych (ryc. 4). Wskazują one na uzyskaną, wysoką dokładność pomiarów ultradźwiękowych. Do rejestrowanej aparaturą zmiany prędkości dochodzi już przy 5° odchyleniu powierzchni laminacji od przyjętego, wzorcowego poziomu. Skutkuje to zauważalnym przesunięciem maksimum wartości  $V_p$  na diagramie kołowym dla próbki wyciętej prostopadle do ściany R (ryc. 4a). Z kolei, w próbce wyciętej prostopadle do ściany T obserwowane jest niewielkie przesunięcie maksimum  $V_p$ ,

odpowiadające 5° odchyleniu dłuższych osi ziaren od wzorcowego poziomu odniesienia.

Podobne sytuacje wystąpiły także w próbkach wyciętych z pozostałych bloków (ryc. 4b, c, d), a dokumentujące badania diagramy kołowe poprawnie wskazują na orientację cech strukturalnych. Odnosi się to zarówno do pochylenia powierzchni laminacji, jak i do zmiany orientacji dłuższych osi ziaren mineralnych. Wraz ze wzrostem kąta odchylenia od przyjętych, wzorcowych poziomów odniesienia, wzrasta stopień przesunięcia maksimum  $V_p$  na diagramie.

### Wnioski

Rezultaty przeprowadzonych pomiarów wskazują, że przy zastosowaniu badań ultradźwiękowych można ustalić z dużą dokładnością zmienność struktury skały, a w ślad za tym, niejednorodność cech sprężystych. Charakterystyczne cechy strukturalne piaskowców z Mucharza wyraźnie wpływają na mierzone wartości prędkości fali podłużnej ( $V_p$ ). Relacja ta odnosi się nie tylko do kierunków badawczych zorientowanych prostopadle bądź równoległe względem cech strukturalnych, ale ma charakter płynny, „analogowy”. Uzyskane w badaniach zróznicowanie  $V_p$  osiągało różny poziom, ale zawsze było wynikiem zmiany orientacji kierunków pomiarowych względem cech strukturalnych.

Pomiary fali podłużnej prowadzone po obwodzie próbki wykazały znaczącą selektywność zastosowanej metody badawczej. Należy ją rozpatrywać przede wszystkim w wartościach względnych, uzyskanych na jednej próbce, a co najwyżej na próbkach pochodzących z jednego bloku skalnego. Zróznicowanie rzędu kilkudziesięciu m/s nie jest efektem przypadku, błędnego pomiaru czy zmiennych warunków pomiarowych, ale wynika bezpośrednio z cech badanej skały.

Prędkość fali podłużnej, traktowana jako parametr charakteryzujący właściwości danej skały jest z reguły, ze względu na naturalną zmienność ośrodków skalnych, wartością średnią szerokiego przedziału oznaczeń. Dlatego często w literaturze podaje się ją z dokładnością do 100 m/s. Wydaje się jednak, że wyniki badań ultradźwiękowych wykonywanych dla oznaczenia zmienności strukturalnej skały, winny być prezentowane z dokładnością większą, rzędu kilkudziesięciu m/s. Jak wykazały to badania przeprowadzone na piaskowcach krośnieńskich z Mucharza, tej wielkości zróznicowanie jest efektem zmian strukturalnych skały.

### Literatura

- CARMICHAEL R.S. (ed.) 1989 — Practical Handbook of Physical Properties of Rocks and Minerals”. Boca Raton, Floryda.  
 DOTT R.H. 1964 — Ancient deltaic sedimentation in eugeosynclinal belts, Development in Sedimentology, 1: 105–113.  
 DZIEDZIC A. 2003 — Structural control on fracture toughness (brittle cracking) in the Krosno Sandstones of Mucharz, southern Poland. Geol. Quart., 47: 21–28.  
 HOBLER M. 1977 — Badania fizykomechaniczne własności skał. PWN.  
 KARSKA Z. 1987 — Geologiczno-inżynierska ocena własności wytrzymałościowych i akustycznych skał otaczających złożę barytu w kopalni „Stanisławów” w Górach Kaczawskich. Arch. Wydz. Geol. UW, Warszawa.  
 KARSKA Z. & PINIŃSKA J. 1982 — Uproszczona kontrola parametrów sprężystości skał przy zastosowaniu zasady propagacji fali ultradźwiękowej wzdłuż pręta. Mat. Konf. Badania geologiczno-inżynierskie w górnictwie”, Kraków.  
 KOŁTOŃSKI W. 1955 — O możliwościach zastosowania fal ultradźwiękowych w geologii i górnictwie. Prz. Geol., 7: 327–334.  
 PETTJOHN F.J., POTTER P.E. & SIEVER R. 1972 — Sand and sandstone. Berlin, Heildeberg, New York.  
 PINIŃSKA J. 1981 — Zastosowanie ultradźwięków do oceny wytrzymałości skał. Technika Poszukiwań Geol., 4: 22–28.  
 PINIŃSKA J. & PŁATEK P. 2002 — Badania ultradźwiękowe w ocenie wytrzymałości skał. Górnictwo Odkrywkowe, 2/3: 89–96.  
 THIEL K. 1980 — Mechanika skał w inżynierii wodnej. PWN.