

WŁODZIMIERZ OŁASZOWSKI,
LESZEK WACHELKA, ANDRZEJ HANAŚ
Politechnika Śląska

METODYKA BADAŃ WŁASNOŚCI SKAŁ PRZY WYKORZYSTANIU PETROSKOPU

UKD 550.834:534-8].002.54:622.83:550.822.3.023(438)

Technika ultradźwięków znalazła szerokie zastosowanie w pracach poszukiwawczych złóż surowców mineralnych oraz rozpoznawczych do określenia przybliżonych wielkości fizyczno-mechanicznych cech skał odwierconych w otworach. Mniejsze jej zastosowanie można stwierdzić w laboratoryjnych badaniach własności skał oraz w badaniach tych własności w warunkach naturalnych w odsłoniętych płaszczyznach górotworu.

Dotychczasowe badania w tym zakresie (1, 5) oraz rozważania teoretyczne (4) potwierdziły ścisłą zależność parametrów wytrzymałościowych skał od prędkości

rozchodzenia się fal ultradźwiękowych i od tłumienia tej fali przez badany ośrodek. Wśród cech wytrzymałościowych zależnych od prędkości przejścia fali ultradźwiękowej należy szczególnie wymienić: moduł sprężystości, współczynnik Poissona oraz wytrzymałość na ściskanie. Z pozostałych własności fizycznych mają wpływ na rozchodzenie się fali ultradźwięków: skład mineralny, gęstość, struktura, porowatość, wilgotność, stan naprężeń itp. Analiza rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w skale przeprowadzona w pracy (5) wykazała zależność prędkości fali ultradźwiękowej od kierunku uławicenia. W technice pomiarowej do określenia prędkości rozchodze-

nia się ultradźwięków stosuje się najczęściej metodę przepuszczania. W metodzie tej fale ultradźwiękowe wytworzone przez przetwornik po przejściu przez badane ciało odbierane są przez odbiornik. Urządzenie służące do określenia czasu przejścia fali przez ośrodek skalny wg podanej metody nosi nazwę petroskopu.

TEORETYCZNE PODSTAWY OKREŚLANIA FIZYCZNO-MECHANICZNYCH WŁAŚNOŚCI SKAŁ ZA POMOCĄ PETROSKOPU

W ciałach stałych istnieje kilka różnych postaci fal ultradźwiękowych, z których każda ma swoją własną prędkość rozchodzenia się. Do wyznaczenia tych prędkości można użyć stałych sprężystości materiału. I tak, prędkość rozchodzenia się fal podłużnych w ośrodku można określić ze wzoru:

$$c_p = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

natomiast prędkość fal poprzecznych ze wzoru:

$$c_s = \sqrt{\frac{E}{\rho \cdot 2(1+\nu)}}$$

gdzie:

- E — dynamiczny moduł sprężystości,
- ρ — gęstość skały,
- ν — współczynnik Poissona,
- c_p — prędkość fali podłużnej,
- c_s — prędkość fali poprzecznej.

Po przekształceniu powyższych wzorów, otrzymuje się zależności modułów sprężystości i współczynnika Poissona od prędkości fal w postaci:

$$E = \frac{c_p^2 \rho (1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu}$$

$$\nu = \frac{0,5 c_p^2 + c_s^2}{c_p^2 - c_s^2}$$

Brak natomiast ścisłych zależności określających wielkość wytrzymałości skał na ściskanie w zależności od prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej. Powyższą zależność określa się doświadczalnie. Ogólna postać tej zależności ma charakter funkcji potęgowej:

$$R_c = a c_p^n$$

przy czym różni badacze podają różne wielkości współczynników a i n . Przykładowo w pracy (1) określono następujące wartości współczynników dla skał karbońskich: $a = 1$ oraz $n = 2,5 \div 4,5$. Jak widać z powyższego wzoru, wielkość R_c podano tylko w zależności od prędkości fali podłużnej. Nie określono natomiast tej zależności dla prędkości fali poprzecznej lub tłumienia. Brak tej zależności wynika z konstrukcji petroskopu, który służy tylko do pomiaru prędkości fali podłużnej. W celu określenia prędkości rozchodzenia się fali poprzecznej, wykorzystywane jest zjawisko załamania fali na granicy dwóch ośrodków. Fala załamana przy odpowiednim kącie padania oraz spełnieniu pewnych warunków jest falą poprzeczną. Konstrukcję takiego urządzenia zastosowanego do pomiaru prędkości rozchodzenia się fali poprzecznej w otworach wiertniczych podano w pracy (3).

CEL I ZAKRES PRACY

Zadaniem niniejszej pracy było ustalenie zależności parametrów wytrzymałościowych skał karbońskich od prędkości rozchodzenia się ultradźwiękowej fali podłużnej w próbie. W tym celu pobrano próbki skał karbońskich, dla których oznaczono parametry wytrzymałościowe: moduł sprężystości, współczynnik Poissona, wytrzymałość na ściskanie i rozrywanie, spójność oraz kąt tarcia wewnętrznego. Dla każdej

próbki oznaczono prędkość c_p . Następnie dokonano oceny statystycznej uzyskanych wyników, a zależności opisano funkcją matematyczną.

W dalszej części opisano konstrukcję urządzenia do oznaczenia prędkości rozchodzenia się poprzecznej fali ultradźwiękowej. Jako ośrodek, z którego wykonano specjalne głowice, użyto parafiny. Skonstruowanymi głowicami pomierzono prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej poprzecznej w próbkach skalnych, oceniając w ten sposób przydatność metody. Na zakończenie wskazano na możliwość praktycznego wykorzystania petroskopu do badań dotowych w kopalniach.

BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA PETROSKOPU

Za pomocą petroskopu można wyznaczyć czas przejścia fali ultradźwiękowej podłużnej przez badaną próbkę skalną oraz tłumienie tej fali. Dwoma podstawowymi zespołami petroskopu są: nadajnik impulsów ultradźwiękowych N oraz odbiornik Odb wraz z generatorami pomocniczymi (ryc. 1).

Nadajnik N jest zbudowany na podstawie techniki półprzewodnikowej. Wytwarza on z częstotliwością 25 Hz impulsy drgań gasnących o częstotliwości 40 kHz. Impulsy elektryczne są przetworzone w głowicy nadawczej GN na drgania ultradźwiękowe o charakterze fali podłużnej, która po przejściu przez badaną próbkę skalną zostaje zmieniona w głowicy odbiorczej GO na przebiegi elektryczne. Przebiegi te, po wzmocnieniu w odbiorniku, są kierowane na płytkę odchylenia pionowego lampy oscyloskopowej. Na drugą z płytek odchylenia pionowego są podawane impulsy z generatora znaczników czasu GZC , służące do określenia czasu przejścia t fali ultradźwiękowej przez próbkę. Generator znaczników czasu umożliwia pomiar czasu przejścia fali ultradźwiękowej przez próbkę w granicach $2 \mu s \div 15 ms$ w czterech podzakresach.

Płytki odchylenia poziomego są zasilane napięciem pilotażowym z generatora podstawy czasu GPC , który jest synchronizowany odpowiednio ukształtowanymi impulsami pobieranymi z nadajnika. Sposób określenia czasu przejścia fali ultradźwiękowej przez próbkę na ekranie lampy oscyloskopowej przedstawia ryc. 2.

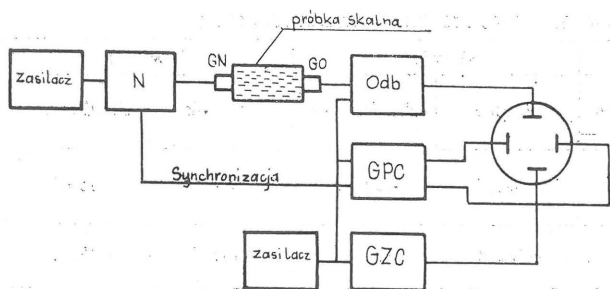
SPOSÓB WYKONYWANIA POMIARÓW

W celu wyznaczenia omówionych na początku artykułu zależności własności wytrzymałościowych od prędkości fali ultradźwiękowej, pobrano próbki skał w kopalni „Z” Dąbrowskiego Zjednoczenia Przemysłu Węglowego. Były to rdzenie z trzech otworów wiertniczych, wykonywanych w stropie wyrobiska, bądź też w stropie i spagu na poziomie 300 m i przechodzące przez skały stropowe i spagowe pokładów grupy 800. Długość otworów wahała się od $25 \div 34 m$, a średnica od $56 \div 59 mm$. W stropie pokładów zalegał piaskowiec drobnopłazowy, łupki ilasty oraz mułowiec. Uzyskane rdzenie wiertnicze pocięto na odcinki walcowe, których stosunek wysokości do średnicy zmieniał się w granicy od 1:1 do 1:1,2. Następnie opisano poszczególne próbki wybierając do badań tylko te, które nie miały makroskopowych pęknięć lub zaburzeń struktury.

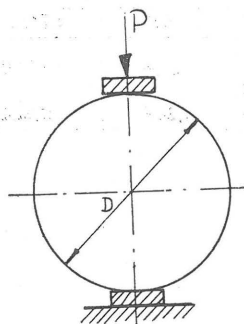
Dla poszczególnych próbek oznaczono prędkości przechodzenia fali ultradźwiękowej, wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na rozrywanie, kohezję, kąt tarcia wewnętrznego, moduły sprężystości wzdłużnej, współczynnik Poissona oraz gęstość. Prędkość fali ultradźwiękowej oznaczono za pomocą petroskopu, mierząc czas przejścia fali t przez próbkę oraz długość próbki H . Prędkość c_p dla piaskowca wahała się w granicach $c_p = 2200 \div 5600 m/s$, dla łupku ilastego $c_p = 1900 \div 5500 m/s$ oraz dla mułowca $c_p = 3450 \div 6000 m/s$. Zauważa się więc dość dużą rozpiętość uzyskanych wyników wielkości c_p w granicach $1900 \div 6000 m/s$.

Wytrzymałość na rozrywanie oznaczono metodą poprzecznego ściskania rdzeni wiertniczych (ryc. 3) (2). Obliczenia szukanej wielkości wykonano wg wzoru Frochta:

$$R_r = 0,7336 \frac{P}{D \cdot H}$$



Ryc. 1. Schemat blokowy petroskopu.
Fig. 1. Block scheme of petroscope.



Ryc. 3. Schemat rozrywania próbek walcowych metodą poprzecznego ściskania
Fig. 3. Scheme of breaking of cylindrical sample by the method of transversal compression.

gdzie:

P — siła niszcząca próbkę,
 D — średnica próbki,
 H — długość próbki.

Badania kohezji c oraz kąta tarcia wewnętrznego φ wykonano metodą bezpośredniego ściskania skały w pierścieniu, przy użyciu prasy hydraulicznej (ryc. 4). Do wywołania naprężeń normalnych σ_n użyto oprzyrządowania aparatu do bezpośredniego ściskania skał. W celu określenia c oraz φ dla badanej partii skał należało przeprowadzić co najmniej dwie próby dla dwóch różnych naprężeń normalnych. Do wyznaczenia liczbowych wielkości parametrów c i φ wykorzystano zależność:

$$\tau = \sigma_n \tan \varphi + c$$

Wielkość naprężeń tnących obliczono ze wzoru:

$$\tau = \frac{T}{2F}$$

gdzie:

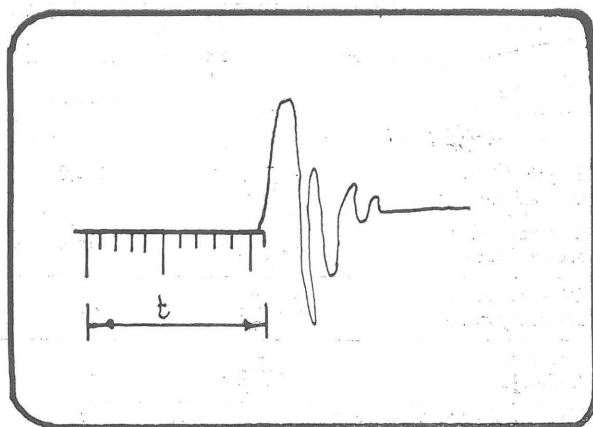
F — powierzchnia przekroju próbki,
 T — siła ścinająca.

Moduł sprężystości E i współczynnik Poissona ν oznaczono badając odkształcenia poprzeczne i podłużne próbki w czasie próby ściskania (2).

Odkształcenia próbki mierzono czujnikami zegarowymi o dokładności odczytu 0,01 mm. Na podstawie pomiarów sporządzono wykresy zależności odkształceń względnych pionowych ε_z i poziomych ε_x od naprężeń ściskających σ_c . Zgodnie z zaleceniami normy, moduł sprężystości i współczynnik Poissona obliczono dla kolejnych przyrostów naprężeń wg wzorów:

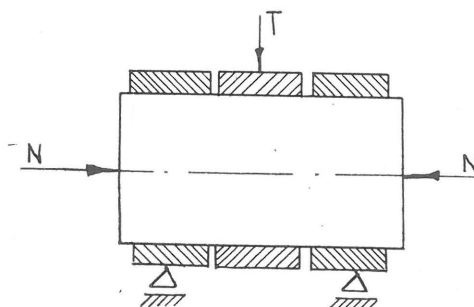
$$E_i = \frac{\Delta \sigma_i}{\Delta \varepsilon_{zi}}$$

$$\nu_i = \frac{\Delta \varepsilon_{xi}}{\Delta \varepsilon_{zi}}$$



Ryc. 2. Określenie czasu przejścia fali ultradźwiękowej przez próbkę.
 t — czas przejścia

Fig. 2. Measurement of time of passage of ultrasound wave through sample.
 t — time of passage.



Ryc. 4. Schemat bezpośredniego ściskania skały w pierścieniu.

Fig. 4. Scheme of direct shearing of rock in ring.

Jako wynik próby przyjęto średnią arytmetyczną z kolejnych wielkości E_i i ν_i dla jednej próby:

$$E = \frac{\sum E_i}{i}$$

$$\nu = \frac{\sum \nu_i}{i}$$

Ogółem oznaczono prędkości przechodzenia fali ultradźwiękowej dla 300 próbek, wytrzymałość na ściskanie — dla 150, wytrzymałość na rozciąganie — dla 100, kohezję i kąt tarcia wewnętrznego — dla 30, moduł Younga i współczynnik Poissona — dla 50 oraz gęstość — dla 250 próbek.

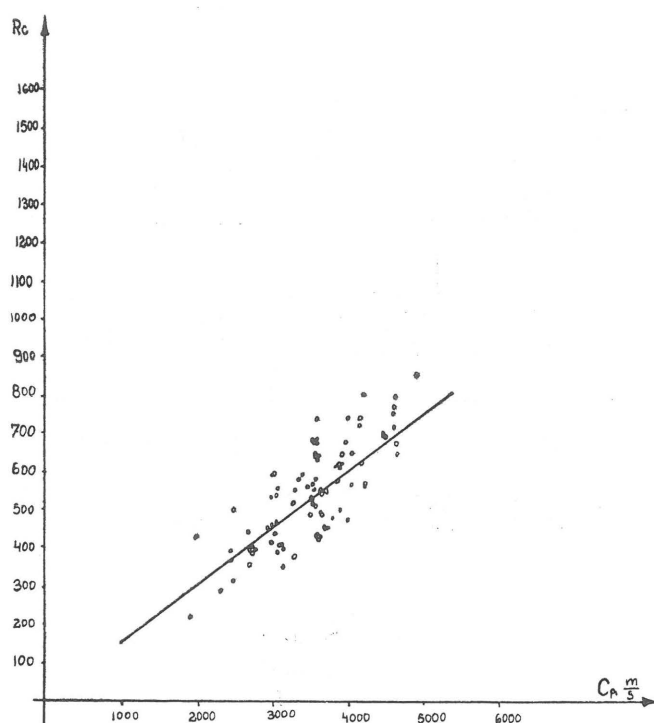
W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano bogaty materiał statystyczny, pozwalający określić zależności innych własności wytrzymałościowych od c_p . Na podstawie otrzymanych wyników określono zależności własności wytrzymałościowych od prędkości fali ultradźwiękowej w postaci równań matematycznych.

W tabeli I zestawiono średnie liczbowe wielkości wskaźników własności skał karbońskich: piaskowca, łupku ilastego i mułowca, pobranych z każdego otworu oddzielnie. Wyniki badań naniesiono w postaci punktów na układ współrzędnych o osiach: wytrzymałość ÷ prędkość fali c_p , oznaczając osobno dane dotyczące łupku ilastego, piaskowca oraz mułowca. Sposób rozłożenia parametrów wytrzymałościowych poszczególnych skał w układzie współrzędnych świadczy o możliwości badania współzależności bez konieczności rozdzielenia na poszczególne rodzaje skał karbońskich.

W takim wypadku można wyznaczyć wspólną funkcję charakteryzującą zmienność parametrów od

ŚREDNIE LICZBOWE WIELKOŚCI WSKAŹNIKÓW WŁASNOŚCI SKAŁ KARBOŃSKICH

Nr otworu	Rodzaj skały	Otwór 1		Otwór 2		Otwór 3	
		Łupek	Piaskowiec	Łupek	Piaskowiec	Łupek	Piaskowiec
Prędkość fali ultradźwiękowej	$c_p \frac{m}{s}$	3652,0	3552,0	3643,7	4296,4	3365,2	3053,8
Wytrzymałość na ściskanie	$R_c \frac{N}{cm^2}$	5206,8	4951,1	4751,8	5610,8	4301,7	4075,9
Wytrzymałość na rozrywanie	$R_r \frac{N}{cm^2}$	753,7	571,8	643,3	878,3	626,4	400,4
Spoistość (kohezja)	$c \frac{N}{cm^2}$	792,5	838,6	805,4	730,0	512,4	809,4
Kąt tarcia wewnętrznego		64°00'	61°27'	59°46'	60°43'	57°01'	52°36'
Moduł sprężystości podłużnej	$E \frac{N}{cm^2} \times 10^{-3}$	396,2	561,9	464,9	841,4	376,0	398,8
Współczynnik Poissona		0,217	0,267	0,242	0,249	0,254	0,287



Ryc. 5. Zależność wytrzymałości skały na ściskanie od prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej.

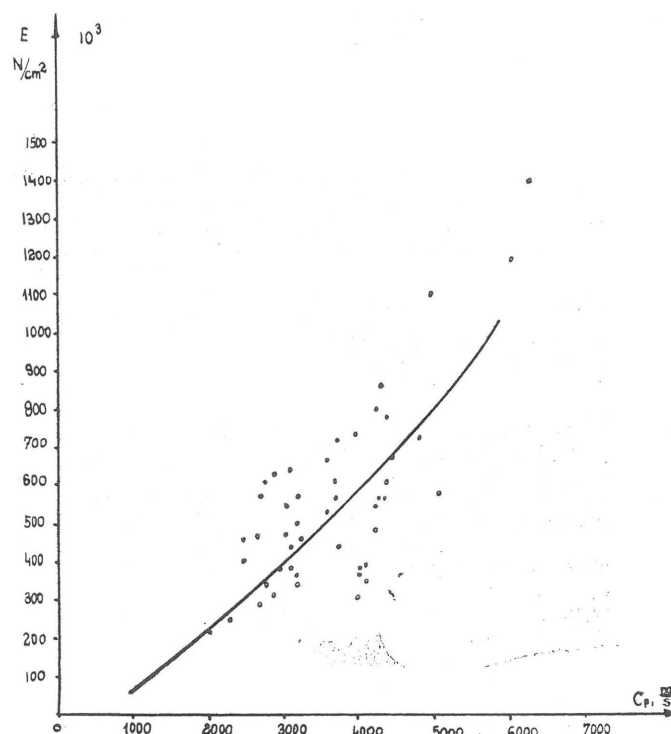
Fig. 5. Dependence of strength of rock to compression on velocity of propagation of longitudinal ultrasound wave.

prędkości fali dla wszystkich skał badanego rejonu. Spostrzeżenie powyższe jest ważne z praktycznego punktu widzenia, gdyż umożliwia stosowanie tylko jednej zależności dla całego obszaru kopalni, ponadto nie wymaga określenia przed próbą rodzaju i struktury skały, co jest szczególnie niekorzystne przy stosowaniu petroskopu w warunkach naturalnych na dole kopalni.

Zależności wytrzymałości na ściskanie od prędkości fali ultradźwiękowej dla analizowanego obszaru poszukiwano w postaci funkcji potęgowej o równaniu:

$$R_c = ac_p^n$$

W układzie logarytmicznym funkcja ta jest prostą w postaci zależności (6):



Ryc. 6. Zależność modułu sprężystości podłużnej od prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej.

Fig. 6. Dependence of modulus of longitudinal elasticity on velocity of propagation of longitudinal ultrasound wave.

$$\lg R_c = \lg a + n \cdot \lg c_p$$

Zastosowana metoda pozwala określić nieznane współczynniki a i n za pomocą korelacji liniowej. Dla uzyskanych wyników badań współczynniki te wynoszą odpowiednio:

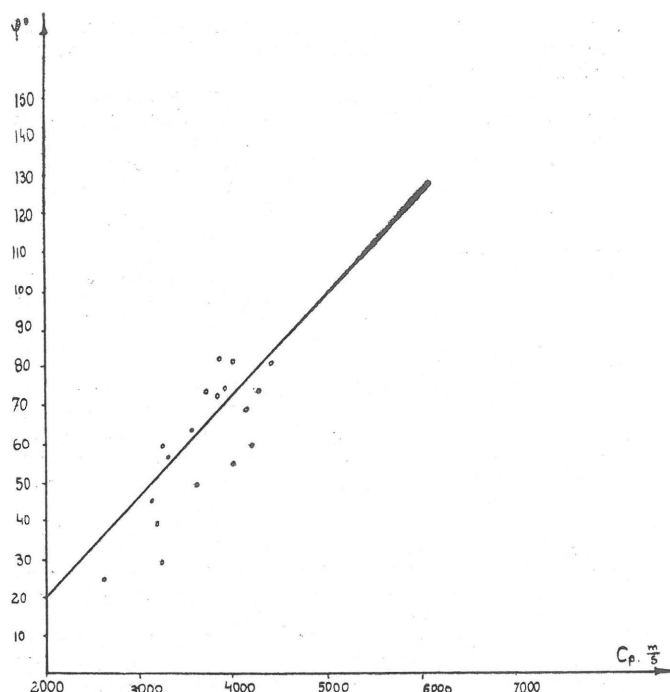
$$a = 0,953$$

$$n = 1,0486$$

Wobec powyższego równanie zależności $R_c = f(c_p)$ przybiera postać

$$R_c = 0,953 c_p^{1,0486}$$

której graficzny obraz przedstawia ryc. 5. Współczynnik korelacji wyniósł w tym wypadku 0,82, co świadczy o dużej współzależności parametrów.



Ryc. 7. Zależność kąta tarcia wewnętrznego od prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej.

Fig. 7. Dependence of angle of internal friction on velocity of propagation of longitudinal ultrasound wave.

W celu matematycznego wyznaczenia zależności modułu sprężystości od prędkości fali ultradźwiękowej, wyniki badań wielkości modułu E nanoszono na układ współrzędnych w postaci punktów. Zaobserwowane na ryc. 5 usytuowanie punktów wskazuje na możliwość poszukiwania zależności w postaci podanej poprzednio funkcji potęgowej. Postępując analogicznie jak poprzednio oraz dokonując korelacji liniowej, uzyskano współczynniki:

$$a = 3,99$$

$$n = 1,4374$$

co prowadzi do funkcji potęgowej w postaci

$$E = 3,99 c_p^{1,4374}$$

Graficzny obraz powyższej zależności przedstawia ryc. 6. Współczynnik korelacji wynosi w tym wypadku 0,89, tak więc współzależność wielkości jest silniejsza jak poprzednio.

Badania współczynników korelacyjnych pozostałych własności skał karbońskich rozpatrywanego regionu pozwoliły stwierdzić wyraźną zależność kąta wewnętrznego tarcia φ od prędkości fali ultradźwiękowej c_p . Współczynnik korelacyjny dla tej funkcji wynosi 0,78. Zależność tę opisano równaniem prostej w postaci:

$$\varphi = a \cdot c_p + b$$

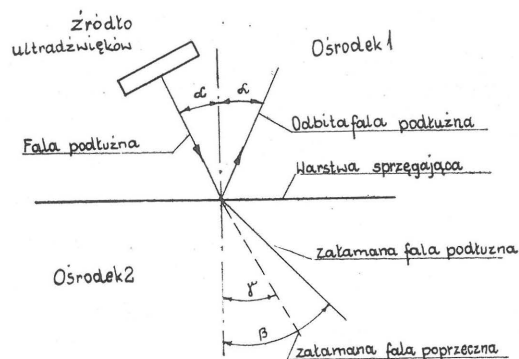
Po wyliczeniu odpowiednie współczynniki wynoszą:

$$a = 0,02714$$

$$b = 35,2036$$

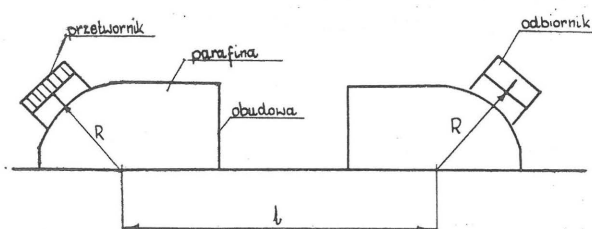
co prowadzi do równania:

$$\varphi = 0,02714 c_p - 36,2036$$



Ryc. 8. Zjawisko załamania fali ultradźwiękowej na granicy dwóch ośrodków.

Fig. 8. Refraction of ultrasound wave at the boundary of two media.



Ryc. 9. Schemat głowic do pomiaru prędkości poprzecznej fali ultradźwiękowej.

Fig. 9. Scheme of heads for measuring velocity of longitudinal ultrasound wave.

Zależność powyższą przedstawiono na ryc. 7. Dla pozostałych własności skał nie stwierdzono istotnej zależności od prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej.

POMIAR PRĘDKOŚCI ROZCHODZENIA SIĘ FALI POPRZECZNEJ

W celu wywołania w próbce fali poprzecznej, wykorzystując falę podłużną, można zastosować zjawisko załamania się fali ultradźwiękowej na granicy dwóch ośrodków, gdy fala ta pada pod pewnym kątem (4) (ryc. 8). Jeśli fala ultradźwiękowa pada na ośrodek 2 pod kątem α , to część fali podłużnej zostanie odbita zgodnie z zasadami fizyki również pod kątem α , a pozostała jej część ulegnie załamaniu pod kątem β zgodnie z równaniem.

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

gdzie:

c_1 — prędkość fali podłużnej w ośrodku 1,
 c_2 — prędkość fali podłużnej w ośrodku 2.

W ośrodku 2 powstanie również fala poprzeczna, załamana pod kątem γ . Ponieważ prędkość fal podłużnych jest zawsze większa od prędkości fal poprzecznych, zatem zawsze kąt β będzie większy od γ . Jeżeli kąt α osiągnie taką wielkość, że $\beta = 90^\circ$ — to dla fali podłużnej występuje całkowite wewnętrzne odbicie, zgodnie z równaniem:

$$\sin \alpha_{gr} = \frac{c_1}{c_2}$$

Warunkiem wystąpienia zjawiska wewnętrznego odbicia jest mniejsza prędkość fali ultradźwiękowej w ośrodku 1 od prędkości fali w ośrodku 2, co wynika z powyższego wzoru. W takim wypadku w ośrodku badanym 2 zostaje wzbudzona tylko fala poprzeczna. Aby spełnić powyższy warunek dla potrzeb górnictwa, należy znaleźć ośrodek, dla którego

prędkość dźwięku nie przekroczy wielkości 1900 m/s, gdyż jest to najmniejsza prędkość uzyskana w badaniach laboratoryjnych. Wśród stałych materiałów warunek powyższy spełnia wosk o prędkości $c_1 = 880$ m/s oraz parafina, $c_1 = 1304$ m/s. Z materiałów tych wykonano dwie głowice obrotowe umożliwiające zmianę kąta padania α (ryc. 9).

Do badań są potrzebne dwie głowice, z których jedna jest połączona z głowicą nadawczą petroskopu, druga natomiast, służąca do odbierania fali ultradźwiękowej, jest połączona z odbiornikiem. Po przyłożeniu do powierzchni — w odległości l od siebie obu głowic — obraca się głowicami tak, aby zanikła fala podłużna w próbce zgodnie z warunkiem:

$$\alpha > \alpha_{gr}$$

Na ekranie petroskopu obserwuje się wtedy wzrost amplitudy, gdyż energia fali poprzecznej jest większa od energii fali podłużnej. Prędkość rozchodzenia się fali poprzecznej oblicza się ze wzoru:

$$c_{zp} = \frac{1}{t_1 - \frac{2R}{c_1}}$$

w którym:

t_1 — czas zanotowany z petroskopu,
 R — promień łuku głowicy.

Przedstawionymi głowicami można wyznaczyć również prędkość fal podłużnych dla kąta padania nieco mniejszego od α_{gr} . Podstawową zaletą omówionej metody jest możliwość badania skał w odsłoniętych płaszczyznach bez potrzeby formowania próbki i jej szlifowania. Wstępne próby laboratoryjne, polegające na mierzeniu prędkości fali poprzecznej, wykazały jej pełną przydatność dla praktyki.

UWAGI KOŃCOWE I WNIOSKI

1. Przegląd literatury zarówno krajowej, jak i zagranicznej wykazał, że technika ultradźwięków znalazła bardzo szerokie zastosowanie w metodach poszukiwania złóż, natomiast mniejsze — w badaniach laboratoryjnych własności skał. Stwierdzono ponadto nieprzydatność jej do badań własności górotworu w warunkach naturalnych.

2. Teoretyczny opis przejścia fali ultradźwiękowej przez skały wykazuje zależności prędkości fali podłużnej i poprzecznej od takich parametrów, jak: moduł sprężystości, współczynnik Poissona oraz gęstość. Zależności te pozwalają określić moduł E i

współczynnik ν dla znanej gęstości skał, na podstawie pomiaru prędkości fal ultradźwiękowych podłużnych i poprzecznych.

3. W badaniach laboratoryjnych przeprowadzonych przez autorów niniejszej pracy określono prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w następujących ośrodkach skalnych: w łupku ilastym $c_p = 1900 \div 5500$ m/s, w piaskowcu $c_p = 2200 \div 5600$ m/s oraz w mułowcu $c_p = 3450 \div 6000$ m/s.

4. W pracy wyznaczono ogólne zależności między wybranymi własnościami skał karbońskich obszaru kopalni „Z” a prędkościami rozchodzenia się fali podłużnej w postaci funkcji matematycznych. Ponadto stwierdzono zbliżone postacie wyznaczonych funkcji dla łupku, piaskowca i mułowca pobranych z jednego obszaru górniczego.

5. Stwierdzono możliwość pomiaru prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej poprzecznej i podłużnej, przy użyciu petroskopu z zastosowaniem głowic obrotowych, pozwalających wyznaczyć moduł sprężystości i współczynnik Poissona, przez pomiar w odsłoniętych płaszczyznach górotworu.

6. Podkreśla się możliwość praktycznego wykorzystania wyznaczonych zależności funkcyjnych oraz stosowania metodyki pomiarów z głowicami obrotowymi w warunkach dołowych, przy zastosowaniu petroskopu z zasilaniem bateryjnym.

7. W celu określenia ścisłych zależności własności skał od prędkości fali zaleca się przeprowadzić szerokie badania dla poszczególnych rejonów Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, uwzględniając ponadto w zależnościach inne własności, nie wyznaczone w niniejszej pracy. Do statystycznego opracowania wyników badań proponuje się zastosować regresję wielokrotną.

LITERATURA

1. Chmura K. — Własności fizyko-termiczne skał niektórych polskich zagłębi górniczych. Wyd. Śląsk 1970.
2. Chudek M., Olszowski W. — Laboratorium mechaniki górotworu. Skrypt Pol. Śl., Gliwice 1972.
3. Jaroszevska A., Kołtoński W. — Wykorzystanie kierunków własności fal akustycznych do pomiaru parametrów fal poprzecznych w otworze wiertniczym. Prz. Geol. 1975 nr 1.
4. Matauszek J. — Technika ultradźwięków. WNT 1961.
5. Pinińska J. — Własności akustyczne i mechaniczne piaskowców skorupowych warstw krosieńskich. Tech. Poszuk. 1974 nr 6.
6. Platt C. — Problemy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. PWN 1974.

SUMMARY

The paper indicates the possibilities to employ ultrasound technique for determining rock properties both in laboratory conditions and at the outcrops. Preliminary surveys of properties and velocity of propagation of longitudinal ultrasonic wave in rocks from an area of a single mine were carried out and general function interdependences between the velocity of wave propagation in the studied medium and selected properties of Carboniferous rocks (strength to compression, modulus of longitudinal elasticity, angle of internal friction) were determined. The paper also presents a method of measuring velocity of propagation of longitudinal and transversal waves with the use of petroscope and rotary heads.

РЕЗЮМЕ

В статье доказаны возможности применения ультразвуковой техники для изучения свойств горных пород в лабораториях и в обнажениях поверхности горного массива. Проведены разведочные исследования свойств и скорости распространения продольной ультразвуковой волны для пород происходящих из одного карьера. Определены общие функциональные зависимости между избранными свойствами карбоновых пород: сопротивление сжатию, модуль продольной упругости, угол внутреннего трения и скоростью распространения продольной волны в исследованной среде. Представлена методика измерений — при помощи петроскопа — скорости распространения продольной и поперечной волны с использованием поворотной головки.