

Stanisław JANICZEK
Ryszard MAJCHRZAK
Jan BORYCZKO
Krzysztof KROPCZYŃSKI

ULTRADZWIĘKOWA METODA PROPAGACJI POŚREDNIEJ FAŁ W POMIARZE WYTRZYMAŁOŚCI GÓRNICZYCH OBUDÓW MUROWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono metodykę badań wytrzymałości górniczych obudów murowych przy zastosowaniu metody propagacji pośredniej fal ultradźwiękowych. Przedstawiono praktyczny sposób wykonania pomiarów.

1. WPROWADZENIE

Podstawowymi parametrami technicznymi obudowy murowej wyrobiska jest doraźna wytrzymałość na ściskanie materiału obudowy oraz jej grubość. Wytrzymałość obudowy wyrobiska ulega obniżaniu w miarę upływu czasu i działania takich czynników, jak m.in.: korozyjne działanie środowiska, szczególnie wód kopalnianych czy też wpływów eksploatacji górniczej. Zjawisko to szczególnie obserwowane jest w wyrobiskach eksploatowanych przez długi okres czasu (50-80 lat), np. w starych szybach.

Dlatego niezbędne jest okresowe przeprowadzanie badań kontrolnych wytrzymałości obudowy, szczególnie w przypadku występowania niekorzystnych układów hydrogeologicznych. Ocena wytrzymałości obudów betonowych i murowych wyrobisk przeprowadza się z reguły na podstawie klasycznych badań wytrzymałościowych próbek pobranych z obudowy. Dla nowych obudów wykonywanych techniką betonu monolitycznego pobiera się próbki betonu w miejscu betonowania. Pobranie próbki z wykonanej obudowy wyrobiska jest trudne, narusza jej strukturę, a w warunkach zagrożenia wodnego wręcz niemożliwe do wykonania. Wady i trudności, związane ze stosowaniem w budownictwie górniczym takiego sposobu określania rzeczywistej wytrzymałości na ściskanie materiału obudowy, postawiły przed nauką problem stosowania w tych specyficznych warunkach metod niszczących. W budownictwie powierzchniowym stosowane są głównie takie niszczące metody badań konstrukcji, jak badania sklerometryczne i badania akustyczne.

Badania sklerometryczne polegają na pomiarze twardości badanej konstrukcji, a wytrzymałość określa się z ustalonych laboratoryjnie zależności funkcyjnych pomiędzy wytrzymałością a twardością materiału. Zasadniczą

wadą badań sklerometrycznych jest określanie wytrzymałości tylko w warstwie powierzchniowej grubości około 3 cm, co zdecydowało o ograniczonym zastosowaniu tej metody w warunkach budownictwa szybowego.

W badaniach akustycznych głównie wyróżnia się metody ultradźwiękowe i młoteczkowe [1]. Zasady stosowania obu metod są jednakowe, różne jest jedynie zakres stosowanych częstotliwości. Wytrzymałość na ściskanie R_c określamy z ustalonych laboratoryjnie równań $R_c = f(V_L)$, na podstawie zmierzonej prędkości fali akustycznej V_L w materiale konstrukcji. W warunkach budownictwa powierzchniowego pomiar prędkości realizowany jest metodą przepuszczania fali akustycznej i wymaga obustronnego dostępu do badanej konstrukcji. Stosowanie metod akustycznych dla określania wytrzymałości górniczych obudów murowych wymaga: opracowania odpowiedniej techniki pomiaru prędkości w warunkach jednostronnego dostępu do badanej konstrukcji, badań laboratoryjnych dla skalowania równań $R_c = f(V_L)$ oraz odpowiedniej aparatury elektronicznej, która mogłaby pracować w trudnych warunkach dołowych.

2. METODY OCENY STANU TECHNICZNEGO OBUDÓW MUROWYCH STOSOWANYCH OBECNIE PRZEZ KRAJOWE OŚRODKI NAUKOWE

Obecnie badania stanu technicznego obudów murowych wykonywane są przez Politechnikę Śląską, Akademię Górniczo-Hutniczą i Główny Instytut Górnictwa. Wszystkie te ośrodki stosują nieniszczące akustyczne metody określania doraźnej wytrzymałości na ściskanie obudowy szybu, Politechnika Śląska i Akademia Górniczo-Hutnicza metodą ultradźwiękową, Główny Instytut Górnictwa natomiast metodą młoteczkową.

Metoda opracowana i stosowana w Akademii Górniczo-Hutniczej polega na pomiarze prędkości fali ultradźwiękowej w obudowie szybu metodą echa. Metoda ta polega na określeniu czasu przejścia fali od głowicy nadawczej do odbiorczej po odbiciu się fali na granicy ośrodków obudowa - górotwór. Zasadniczą zaletą tej metody jest możliwość określania grubości badanej obudowy, jednak jak podają autorzy [2], występują trudności interpretacji odczytu czasu przejścia fali.

W Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej opracowano metodę "V" do określania wytrzymałości i grubości obudowy murowej wyrobisk górniczych. Metoda ta polega na określaniu czasu przejścia fali ultradźwiękowej o maksymalnej energii odbitej od powierzchni granicznej obudowa - górotwór. W metodzie tej głowica odbiorcza przemieszczana jest po powierzchni badanej obudowy aż do momentu odebrania maksymalnego sygnału fali ultradźwiękowej obserwowanego na ekranie betonoskopu, wtedy też należy określić czas przejścia fali oraz odległość pomiędzy głowicą nadawczą i odbiorczą.

Ze względu na konieczność dokładnego a zarazem bezpiecznego operowania głowicami ultradźwiękowymi, metoda ta jest trudna w stosowaniu w warunkach wyrobisk pionowych.

Dla potrzeb budownictwa górniczego opracowano metodę propagacji pośredniej, pozwalającą w prosty i dokładny sposób określić prędkość fali ultradźwiękowej w obudowie.

3. POMIAR WYTRZYMAŁOŚCI MATERIAŁU OBUDOWY PRZY ZASTOSOWANIU METODY PROPAGACJI POŚREDNIEJ FALI

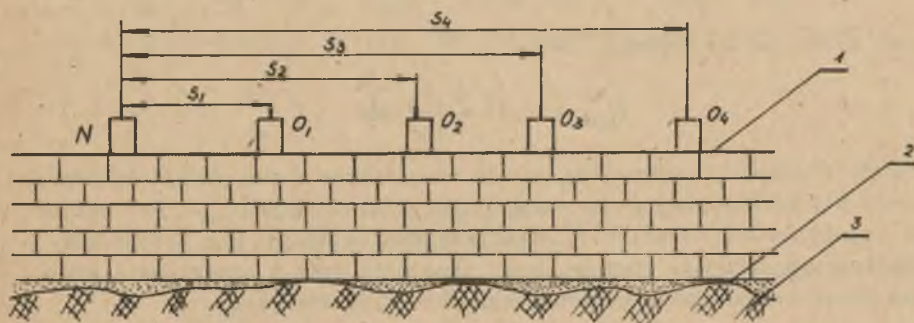
Metoda propagacji pośredniej polega na pomiarze prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej w obudowie z wykorzystaniem jednej dostępnej płaszczyzny. W metodzie tej głowica nadawcza N (rys. 1) generuje w konstrukcji obudowy pola akustyczne. Zasadnicza część energii pola akustycznego ukierunkowana jest w głąb obudowy w płaszczyźnie prostopadłej do głowicy nadawczej. W płaszczyźnie równoległej ukierunkowana jest nieznaczna tylko część energii, tj. około 2-3% mocy sygnału akustycznego [3], co ogranicza czułość metody. Dodatkowym utrudnieniem przy stosowaniu tej metody jest konieczność traktowania układu obudowa - górotwór jako ośrodka warstwowego, mogącego zmienić warunki pomiaru. Dla wykluczenia tego wpływu należy zapewnić spełnienie warunku

$$\frac{H}{\lambda} \geq 2,$$

gdzie:

H - grubość obudowy,

λ - długość fali,



Rys. 1. Układ głowic w metodzie propagacji pośredniej

$$\lambda = \frac{v_L}{f}$$

f - częstotliwość fali,

v_L - prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej w obudowie.

Spełnienie tego warunku limituje jednocześnie dobór częstotliwości generowanej podłużnej fali ultradźwiękowej w obudowie. Prace prowadzone w IPBKiOP pozwoliły na ustalenie częstotliwości generowanej podłużnej fali ultradźwiękowej i dla górniczych obudów kamiennych wartość ta wynosi $f = 250$ kHz.

Drugim warunkiem jest wielkość minimalnej bazy pomiarowej, którą określamy jako

$$S_{\min} \geq 1,5\lambda,$$

gdzie

S_{\min} - minimalna baza pomiarowa.

Spełnienie tego warunku umożliwia uzyskanie jednoznacznych wartości prędkości fali podłużnej ultradźwiękowej w konstrukcji obudowy. Prace prowadzone w IPBKiOP pozwoliły na ustalenie częstotliwości podłużnej fali ultradźwiękowej $f = 250$ kHz minimalnej bazy pomiarowej $S_{\min} = 8$ cm, przykładowo dla $v = 3000$ m/s [300 000 mm/s]

$$h = 60 \text{ cm}$$

$$f = 250000 \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{300\ 000}{250\ 000} = 1,2 \text{ cm.}$$

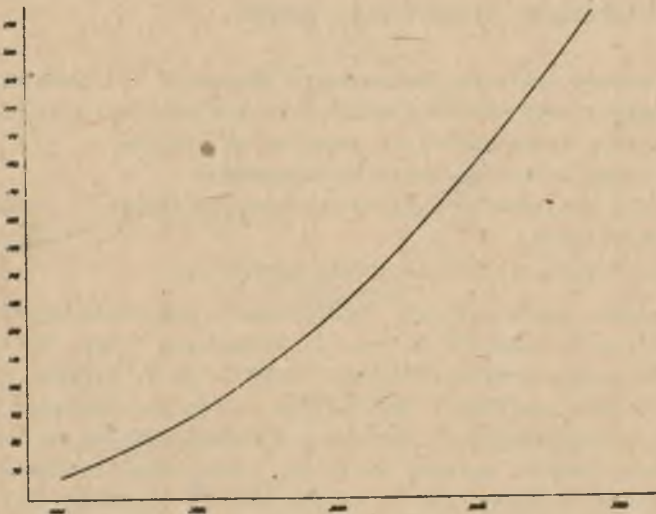
Warunek I będzie zatem spełniony wg równania

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{60}{1,2} = 50.$$

Warunek II natomiast spełnia równanie

$$S_{\min} = 1,5\lambda = 1,8 \text{ cm.}$$

Metoda propagacji pośredniej polega na pomiarze czasu przejścia podłużnej fali ultradźwiękowej na drogach S_1, S_2, S_3, S_4 (rys. 1). Do pomiaru czasu przejścia podłużnej fali ultradźwiękowej stosuje się betonoskop o zmodyfikowanym układzie odczytu czasu przejścia fali i odpowiednio wzmocnionym układzie nadajnika generującego fale ultradźwiękowe.



Rys. 2. Funkcja regresji

Następnie według czasu

$$V_L = \frac{S}{t},$$

gdzie:

- V_L - prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej w konstrukcji obudowy,
- S - odległość pomiędzy głowicą nadawczą i odbiorczą,
- t - czas przejścia fali na drodze S .

Obliczamy V_{L_1} , V_{L_2} , V_{L_3} , V_{L_4} . Dla każdego punktu pomiarowego konstrukcji określamy prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej jako wartość średnią z czterech pomiarów prędkości, która służy do określania doraźnej wytrzymałości ściskania obudowy z krzywej skalowania $R_c = f(V_L)$ (rys. 2).

Krzywa skalowania $R_c = f(V_L)$ charakteryzowana jest równaniem typu

$$R_c = a V_L^2 + b V_L + c,$$

w którym:

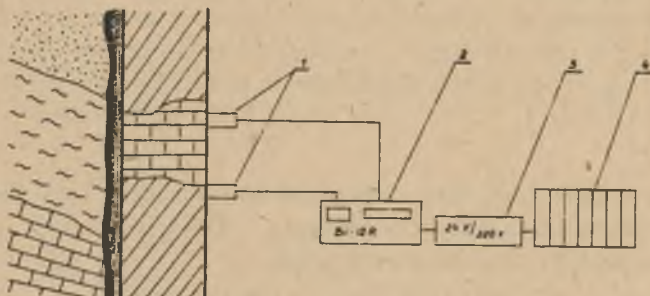
- R_c - wytrzymałość na ściskanie materiału obudowy,
- V_L - prędkość fali ultradźwiękowej,
- a, b, c - współczynniki wyznaczone doświadczalnie dla danego rodzaju obudowy.

4. PRZYKŁAD PRAKTYCZNEGO WYKORZYSTANIA METODY

Opisywana metoda znalazła zastosowanie zwłaszcza w badaniach obudów szybowych. Pomiar wytrzymałości wykonuje się w strefach pomiarowych, tj. odcinkach obudowy, wytypowanych do badań na podstawie:

- aktualnego stanu zniszczeń materiału obudowy,
- niekorzystnych miejscowych układów hydrogeologicznych i związanych z tym zagrożeń wodnych,
- występowania dużych ciśnień ze strony górotworu.

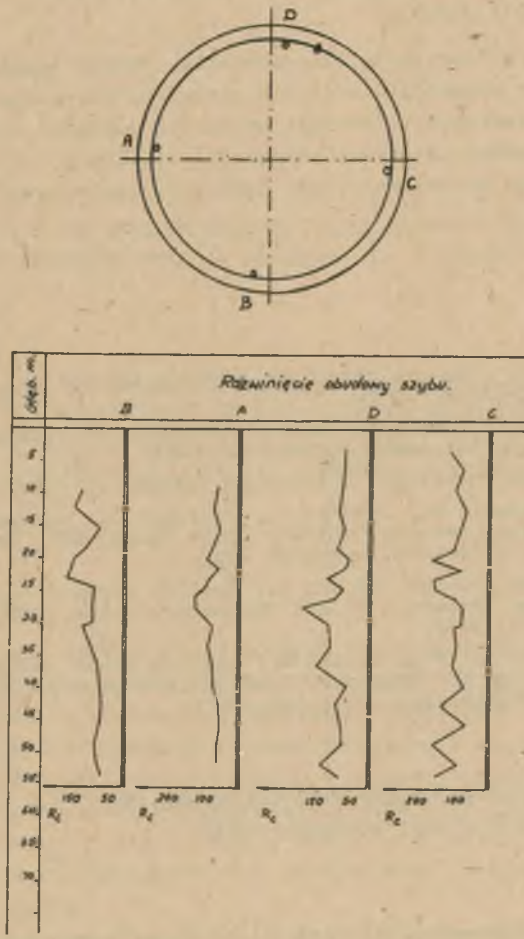
Schemat zestawu aparaturowego, stosowanego w badaniach metodą propagacji pośredniej, przedstawiono na rys. 3. Betonoskop 2 typu Bi-12R zasilany jest z akumulatora 4 wytwarzającego napięcie 24 V, poprzez przetwornicę 3 transformującą napięcie z akumulatora na napięcie robocze betonoskopu (220 V). Głowice nadawcza i odbiorcza 1 umieszczone są na zewnętrznej, dokładnie oczyszczonej z nalotów pyłowych, powierzchni obudowy. W każdym punkcie pomiarowym wykonuje się po cztery pomiary prędkości fali ultradźwiękowej, przyjmując jako reprezentatywną dla danego punktu pomiarowego średnią wartość z czterech pomiarów.



Rys. 3. Układ pomiarowy do pomiarów wytrzymałości obudowy

1 - głowice nadawcze i odbiorcze, 2 - betonoskop ultradźwiękowy, 3 - przetwornica, 4 - zestaw akumulatorów

Graficzną interpretację wyników badań przedstawia się poprzez naniesienie na rozwinięcie obudowy odpowiednich wartości wytrzymałości R_c w punktach pomiarowych. Interpretacja taka przedstawiona jest na rysunku 4. Badania stanowią wytyczną do sprawdzenia warunków stateczności obudowy poprzez wykonanie obliczeń sprawdzających istniejącą jej grubość. Dane o grubości obudowy uzyskuje się na podstawie wierceń obudowy. Obecnie prowadzone są prace dla ustalenia nieniszczącej metody pomiaru grubości obudowy.



Rys. 4. Rozwinięcie obudowy szybowej

5. STWIERDZENIA KOŃCOWE

1. Metoda propagacji pośredniej fal jest prostym i dokładnym sposobem określania doraźnej wytrzymałości na ściskanie materiału obudowy, przy jednostronnym dostępie do jej powierzchni.

Wyniki badań stanowią podstawę do analizy stanu technicznego obudowy oraz wynikających stąd odpowiednich zabezpieczeń, pozwalających na utrzymanie jej sprawności eksploatacyjnej.

2. Dotychczasowe wykorzystanie metody w pracach badawczych (np. [4], [5], [6]) potwierdziło celowość jej stosowania głównie w trudnych warunkach badań obudów szybowych.

3. Opracowane w Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni funkcje regresji dla obudów murowych, eksploatowanych w różnych warunkach środowiskowych, pozwalają na bardzo dokładne oszacowanie rzeczywistych wytrzymałości materiału obudowy na ściskanie, co wielokrotnie zostało potwierdzone przeprowadzanymi dodatkowo kontrolnymi badaniami niszczącymi.

6. LITERATURA

- [1] Strzelecki Z.: Poradnik materiałoznawstwa dla potrzeb budownictwa górniczego. Wyd. Śląsk, 1972.
- [2] Praca zbiorowa: Badania materiałów elementów i konstrukcji. Budownictwo betonowe tom III. Arkady, Warszawa 1970.
- [3] Materiały firmy Teratest: Ultrasonie testing of concrete.
- [4] Chudek M., Borecki M., Sztelak J., Janiczek S., Boryczko J., Majchrzak R.: Sposób zabezpieczania obudowy szybu "Anna" KWK "Sosnowiec". Praca IPBKİOP nie publikowana, wrzesień 1977.
- [5] Praca zbiorowa pod red. Chudka M.: Analiza stanu technicznego obudowy szybowej szybu "Grunwald I" KWK "Halemba". Praca IPBKİOP nie publikowana, czerwiec, 1978.
- [6] Praca zbiorowa pod red. Chudka M.: Analiza stanu technicznego obudowy szybu Mieczysław KWK "Pstrowski" na odcinku od zrębu do 55 m. Praca IPBKİOP nie publikowana, wrzesień, 1977.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД КОСВЕННОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН
В ИЗМЕРЕНИИ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ КАМЕННЫХ КРЕПЕЙ

Р е з ю м е

В статье рассматривается методика исследований прочности горных каменных крепей при применении метода косвенного распространения ультразвуковых волн. Приводится практический способ произведения измерений.

THE ULTRASOUND PROPAGATION METHOD OF THE WAVES INTERMEDIATE IN THE
CALCULATION OF THE STRENGTHS OF BRICK LINING SUPPORTS

S u m m a r y

The paper presents a method for testing strength of the brick lining support with the application of a propagation method of intermediate ultrasound waves. A practical way for making measurements is given.