

*Andrzej Staniek**

SYSTEM MONITORINGU STANU ZABEZPIECZENIA WYROBISKA W ASPEKTCIE OCENY JAKOŚCI WKLEJENIA ŻERDZI KOTWIOWYCH ORAZ KOTWI LINOWYCH

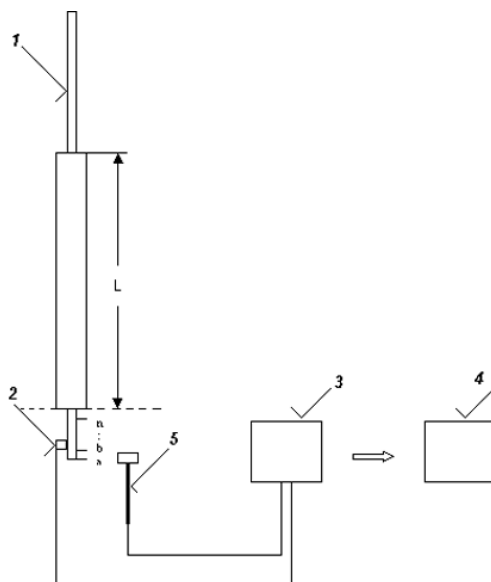
1. Opis metody

Metoda oceny jakości wklejenia żerdzi kotwiowych oraz kotwi linowych (strunowych) w górotworze [10] realizowana jest w następujących etapach:

- Wymuszenie drgań badanego obiektu w danym punkcie pomiarowym z wykorzystaniem młotka udarowego wraz z równoczesną rejestracją sygnału wymuszenia (sygnał z przetwornika siły umieszczonego w głowicy młotka) i sygnału odpowiedzi na to wymuszenie (sygnał z piezoelektrycznego przetwornika drgań). Kierunek wymuszenia i oś główna przetwornika odbiorczego są prostopadłe do osi symetrii kotwi.
- Zmiana punktu wymuszenia i rejestracja sygnałów dla kolejnych punktów wymuszenia rozmieszczonych na wystającym z górotworu odcinku żerdzi kotwiowej lub struny przy ustalonym położeniu przetwornika odbiorczego. Dane zapisywane są w pamięci kontrolera cRio (wytwórca National Instruments) wbudowanym w wytworzony w GIG rejestrator sygnałów pomiarowych.
- Bezprzewodowa transmisja danych po wykonaniu pomiarów do programu realizującego analizę modalną [2, 6, 8, 9, 11, 12] celem identyfikacji odpowiednich częstotliwości drgań własnych badanego obiektu, charakterystycznych dla danego rodzaju nieciągłości wklejenia.
- Otrzymane częstotliwości drgań własnych porównywane są z wynikami teoretycznej analizy modalnej [3, 4, 6, 11] realizowanej na modelu elementów skończonych badanego obiektu dla różnych warunków brzegowych, odpowiadających różnym przypadkom nieciągłości wklejenia.

* Główny Instytut Górnictwa, Katowice

Układ pomiarowy stosowany w metodzie przedstawiono na rysunku 1, natomiast stanowisko badawcze w warunkach *in situ* pokazano na rysunku 2.



Rys. 1. Układ pomiarowy: (1) żerdź kotwiowa; (2) przetwornik drgań; (3) rejestrator sygnałów pomiarowych; (4) stacja robocza dla analizy modalnej; (5) młotek uderowy; (6) powierzchnia stropu, (*a-n*) punkty wymuszenia, *L* — długość wklejenia



Rys. 2. Stanowisko badawcze w warunkach *in situ* — wymuszanie drgań młotkiem uderowym, sygnał odpowiedzi mierzony piezoelektrycznym przetwornikiem drgań

2. Rejestrator sygnałów pomiarowych

Rejestrator sygnałów pomiarowych, przedstawiony na rysunku 3. realizuje rejestrację i zapis sygnałów pomiarowych z piezoelektrycznego przetwornika drgań oraz przetwornika siły, umieszczonego w głowicy młotka udarowego. Rejestrator posiada zdalne łącze typu Ethernet, ekran dotykowy i umieszczony jest w obudowie pyłoszczelnej oraz wodoszczelnej spełniającej wymagania IP65.

Elementy składowe rejestratora to:

- Ekran dotykowy typ TPC-2006 5.7in., pamięć typu CompactFlash, USB 1.1, Ethernet;
- Kasetta pomiarowa typu cRio-9103 4-slot 3M Gate;
- Karta pomiarowa typu NI 9233 4-Channel $\pm 5V$, 50 kS/s per Channel, 24 bit IEPE;
- Kontroler typu cRIO-9014 Real-Time, 2 GB Flash Storage, 128 MB DRAM.



Rys. 3. Rejestrator sygnałów pomiarowych z ekranem dotykowym oraz bezprzewodową transmisją danych

Zastosowana transmisja bezprzewodowa eliminuje konieczność bezpośredniego dostępu rejestratora do sieci przewodowej. Wykorzystanie systemów baz danych umożliwia gromadzenie wyników i ich późniejsze udostępnianie użytkownikom systemu, a także przechowywanie i dostęp do danych konfiguracyjnych systemu. Dostęp do systemu pomiarowego jest możliwy z dowolnego miejsca za pośrednictwem komputera osobistego dołączonego do sieci Internet. Transmisja bezprzewodowa realizowana jest w standardzie IEEE 802.11 (handlowa nazwa Wi-Fi — *wireless fidelity*) — oryginalny standard zatwierdzony przez Instytut Inżynierii Elektrycznej i Elektronicznej w 1997 r.

3. Walidacja działania rejestratora sygnałów pomiarowych

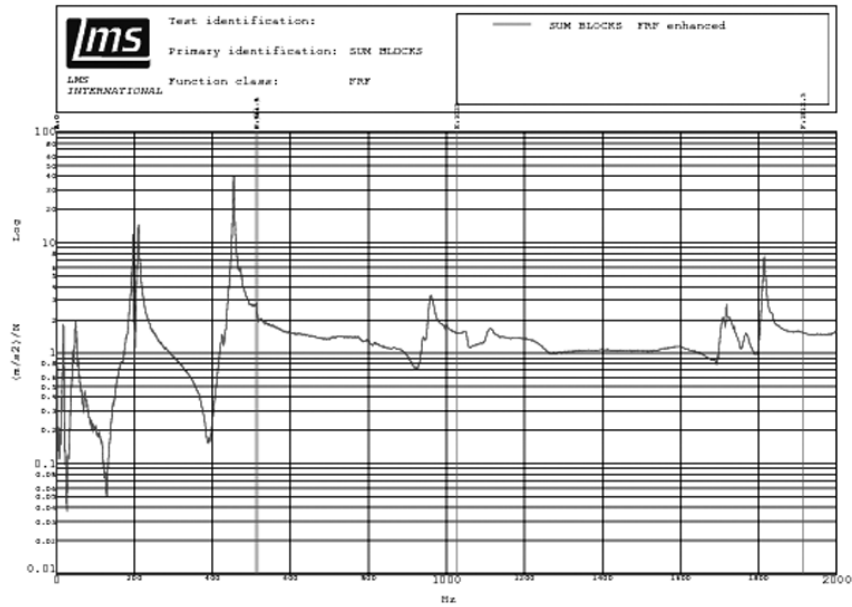
Walidację działania rejestratora sygnałów pomiarowych przeprowadzono w laboratorium metodą porównawczą z systemem pomiarowym PULSE, firmy Bruel & Kjaer Dania, (rys. 4).



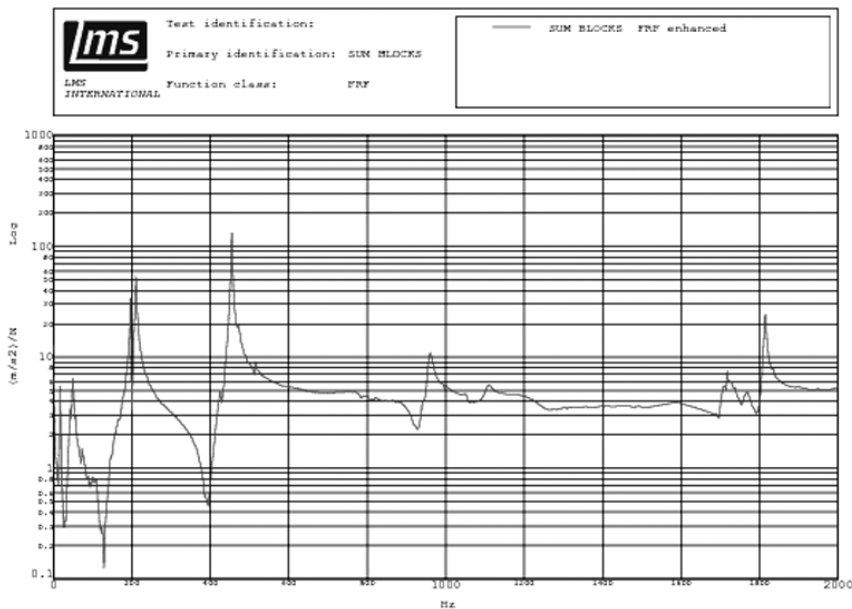
Rys. 4. Układ pomiarowy PULSE, firmy Bruel & Kjaer Dania, wykorzystany w badaniach walidacyjnych rejestratora sygnałów pomiarowych

W ramach walidacji wykonano rejestrację sygnałów pomiarowych systemem pomiarowym odniesienia PULSE — funkcja przejścia (inertancja) przedstawiona na rysunku 5 oraz przedmiotowym rejestratorem — funkcja przejścia (inertancja) przedstawiona rysunku 6 oraz wykonano analizę modalną. W tabeli 1 zamieszczono wyznaczone częstotliwości drgań własnych dla widocznego na rysunku 4 układu modelowego.

Różnica w wyznaczonych wartościach tłumienia drgań, tabela 1, wynika z różnej częstotliwości próbkowania sygnału oraz ilości próbek danych podlegających akwizycji a co z tym się wiąże różnej rozdzielczości charakterystyki częstotliwościowej uzyskiwanej w obu porównywanych systemach pomiarowych. Szczególnie odnieść to należy do niższego zakresu częstotliwości, w którym rozdzielczość charakterystyki częstotliwościowej dla wyznaczania tłumienia sygnału odgrywa znaczącą rolę. Należy jednak podkreślić, że parametry techniczne karty pomiarowej rejestratora umożliwiają pomiar sygnału z zadawalającą rozdzielczością.



Rys. 5. Zmierzona funkcja przejścia (inertancja) z wykorzystaniem systemu pomiarowego PULSE, oś pionowa: inertancja, w $m/s^2/N$, oś pozioma częstotliwość, w Hz



Rys. 6. Zmierzona funkcja przejścia (inertancja) z wykorzystaniem rejestratora sygnałów pomiarowych, oś pionowa: inertancja, w $m/s^2/N$, oś pozioma częstotliwość, w Hz

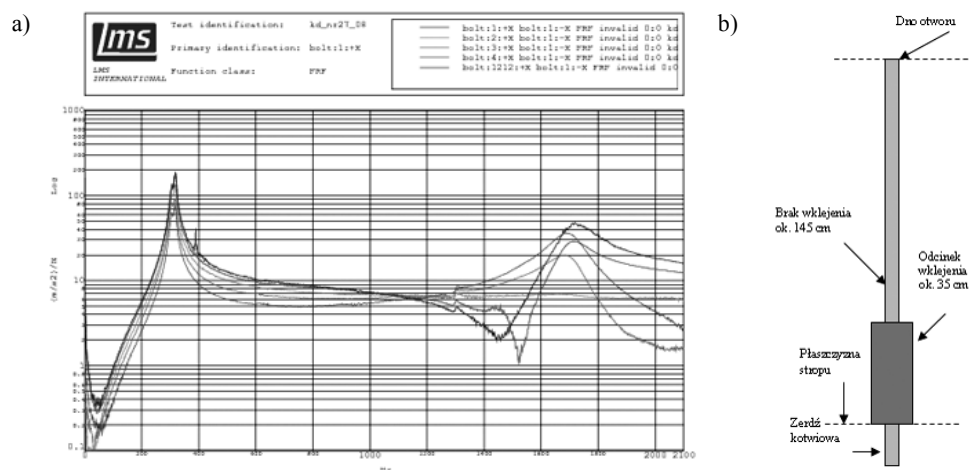
TABELA 1

Zestawienie zidentyfikowanych częstotliwości drgań własnych dla walidowanych układów pomiarowych

Pomiar systemem cRio			Pomiar systemem PULSE		
Numer postaci	Częstotliwość, [Hz]	Tłumienie, [%]	Numer postaci	Częstotliwość, [Hz]	Tłumienie, [%]
1	48,93	7,472	1	47,606	3,359
2	196,257	0,872	2	196,725	1,881
3	209,986	1,047	3	209,512	0,658
4	454,505	0,358	4	453,702	0,421
5	705,371	2,475	5	704,142	2,047
6	957,464	1,02	6	959,774	0,559
7	1592,176	1,861	7	1585,138	1,946
8	1716,426	0,491	8	1717,135	0,539
9	1813,742	0,221	9	1812,871	0,221

4. Przykłady wykonanych badań

Sprawdzenie poprawności metody zrealizowano w Kopalni Doświadczalnej „Barbara” w Mikołowie, gdzie przedmiotem badań były kotwie wklejane w sposób kontrolowany (tzn. przy zadanej długości nieciągłości wklejenia).



Rys. 7. Charakterystyki funkcji przejścia dla analizowanego przypadku (a) oraz wyznaczony odcinek wklejenia zerdzi kotwieniowej w górnotworze (b), przy długość zerdzi równej 2 m. Oznaczenie osi wykresu: oś pionowa — inertancja, w $m/s^2/N$, oś pozioma częstotliwość, w Hz

Na rysunku 7a przedstawiono przykład wyników prowadzonych badań — charakterystykę funkcji przejścia (inertancja) natomiast na rysunku 7b geometrię zidentyfikowanej nieciągłości wklejenia dla badanego przypadku. W tabeli 2 przedstawiono wyniki analizy modalnej dotyczące zidentyfikowanych częstotliwości drgań własnych charakterystycznych dla odcinków nieciągłości wklejenia.

TABELA 2
Częstotliwości zidentyfikowanych drgań własnych
badanej żerdzi kotwiowej

Lp.	Częstotliwość, [Hz]	Tłumienie, [%]
1	306,3	2,4
2	316,3	1,0
3 ^{*)}	609,0	2,4
4 ^{*)}	942,3	1,8
5 ^{*)}	1298,7	0,6
6	1698,2	3,4

* częstotliwości charakterystyczne dla nie wklejonego odcinka kotwi.

Zidentyfikowana badaniami nieciągłość wklejenia kotwi jest zgodna z zadaną praktyczną nieciągłością (rozdzielczość metody: ok. 2,5%).

5. Podsumowanie i wnioski

Wzrost zainteresowania stosowaniem obudowy kotwiowej w przemyśle górniczym wynika z jej atrakcyjności ekonomicznej — zdecydowanie niższe są koszty obudowy. Składają się na nie oszczędność materiałów, niższe koszty transportu i krótszy czas wykonania. Ten rodzaj obudowy jest powszechnie stosowany w górotworze charakteryzującym się mocnymi stropami — USA, RPA, Australia. W Polsce, w górnictwie węglowym, według prowadzonych analiz [5, 7], należy za uzasadnione uznać stosowanie tego rodzaju zabezpieczenia wyrobiska w znacznie większym zakresie niż obecnie, w górnictwie rud miedzi obudowa kotwiowa jest podstawowym sposobem zabezpieczenia wyrobisk.

Prognoza znacznego zwiększenia ilości wyrobisk z obudową kotwiową wskazuje na potrzebę opracowania skutecznych metod kontroli jakości ich wklejenia co ma podstawowe znaczenie dla bezpieczeństwa pracy. Problem jakości wklejenia jest przedmiotem pracy innych ośrodków [1], jednakże dotychczas opracowane tego typu metody nie dostarczają dostatecznie pewnych wyników. Prezentowana metoda badania poprawności zamocowania

obudowy kotwiowej (żerdzi kotwiowych) umożliwia wykonanie takiej oceny. Umożliwia ona identyfikację odcinków nieciągłości wklejenia, co ma istotne znaczenie dla oceny prawidłowego zabezpieczenia wyrobisk korytarzowych z zastosowaniem kotwi.

Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzić również można, że metoda ta może być stosowana dla różnych rodzajów skał, zarówno w zakładach górniczych węgla kamiennego, jak i rud miedzi.

Pozytywna walidacja metody, ergonomiczność wytworzonej aparatury skłaniają jej twórców do podejmowania działań celem wdrożenia metody i aparatury pomiarowej na skalę przemysłową. Proponuje się również utworzenie w GIG jednostki centralnej realizującej prace analityczno — diagnostyczne (obliczeniowe) w zakresie kontroli jakości wklejenia żerdzi kotwiowych.

LITERATURA

- [1] *Beard M.D., Lowe M.J.S.*: Non-destructive testing of rock bolts using ultrasonic waves. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2003
- [2] *Byron F.W., Fuller R.W.*: Matematyka w fizyce klasycznej i kwantowej. Warszawa, PWN 1975
- [3] *Bochniak W., Uhl T., Lisowski W.*: Problemy dostrajania modeli elementów skończonych. Kraków, AGH 1999
- [4] *Brandt S.*: Metody statystyczne i obliczeniowe analizy danych doświadczalnych. PWN 1974
- [5] *Kidybiński A., Nierobisz A., Masny W.*: Utrzymanie wyrobiska przy wymuszonym wstrząsie stropu bezpośredniego. Tapania, 2005, str. 41
- [6] *Ewins D.J.*: Modal Testing: theory, practice and application. Research Studies Press Ltd., Letchworth, Herts, England, 2000
- [7] *Gawryś J.*: Analiza własności stropów pokładów węgla GZW pod kątem możliwości stosowania w wyrobiskach korytarzowych samodzielnej obudowy kotwiowej. GIG, 2004 (rozprawa doktorska)
- [8] *Maia, N.M.M., Silva, J.M.M.*: Theoretical and Experimental Modal Analysis, 1997
- [9] *Remington P.J.*: Experimental and theoretical studies of vibrating systems, Encyclopedia of Acoustics, vol. 2, John Wiley & Sons, 1997
- [10] *Staniek A.*: Method for identification of grouting continuity of rock bolts. Archives of Mining Sciences, vol. 50, Issue 3, 2005
- [11] *Uhl T.*: Komputerowo wspomaganą identyfikacją modeli konstrukcji mechanicznych. WNT, 1997
- [12] X-CADA User Manual, LMS, Lueven, 2000