ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2002
Seria: GÓRNICTWO z. 254 Nr kol. 1563

Jan URBAŃCZYK
Politechnika Śląska, Gliwice

POMIAR I REJESTRACJA CIŚNIENIA I DEFORMACJI GÓROTWORU WOKÓŁ WYROBISK KORYTARZOWYCH W BADANIACH NA MODELACH

Streszczenie. Jedną z metod badawczych, pozwalających na badanie zjawisk z dziedziny mechaniki górotworu, a także współpracy obudowy wyrobiska górniczego z otaczającymi go skałami, jest odwzorowywanie wzorca naturalnego, w odpowiedniej skali, na modelach wykonanych z materiałów ekwiwalentnych. W pracy zwrócono uwagę na zasadność prowadzenia takich badań, mimo rozwoju techniki komputerowej. Podano także podstawowe zasady prowadzenia badań tak, aby możliwym byłoby wnioskowanie o zachowaniu się wzorca naturalnego – górotworu na podstawie badań jego modelu. W dalszym ciągu pracy przedstawiono możliwość przystosowania czujników do pomiaru ciśnienia w gazach do tego typu badań oraz podano schemat blokowy rejestracji i analizy danych pomiarowych. Podano również koncepcję pomiaru i rejestracji odkształceń górotworu i zaciskania wykonanego w nim wyrobiska za pomocą cyfrowego aparatu fotograficznego i komputera.

MEASUREMENT AND REGISTRATION THE PRESSURE AND THE ROCK MASS DEFORMATION ROUND A DOG HEADING IN RESEARCH ON MODELS

Summary. One of the research methods that allows you to study events from the rock mechanics domain and co-operation the heading support with the surrounded rocks, is a natural situation model made in an appropriate scale from equivalent materials. In the research work an attention was paid on a legitimacy of conducting such research, in spite of the computer technology development. The main principles of conducting the research were given too, to conclude about the natural rock mass model behaviour, on the basis of researching on its model. Further the possibility of adaptation the gas-pressure sensors into this type of research, and the block diagram of registration and analysis the output data was presented. Moreover, the conception of measurement and registration the rock mass deformation and a dog heading tightening by means of digital camera and computer was presented.

1. Wprowadzenie

Niektóre zjawiska zachodzące w górotworze naruszonym robotami górniczymi, ze względu na specyficzne warunki, nie dają się śledzić bezpośrednio w kopalni. Stąd też do badania zjawisk z dziedziny mechaniki górotworu, a także współpracy obudowy wyrobiska górniczego z otaczającymi go skałami - obok obserwacji i pomiarów w warunkach „in situ" -stosuje się również badania laboratoryjne na modelach.

Jedną z metod badawczych jest odwzorowywanie wzorca naturalnego, w odpowiedniej skali, na modelach wykonanych z materiałów ekwiwalentnych.

Mimo rozwoju techniki komputerowej, pozwalającej na szybką symulację i śledzenie na „modelach elektronicznych" zjawisk zachodzących w górotworze w otoczeniu wyrobiska górniczego, prowadzenie odpowiednich badań na modelach wykonanych z materiałów ekwiwalentnych - aczkolwiek pracochłonne i wymagające dłuższego czasu - jest nadal w pełni uzasadnione. Badania takie umożliwiają jakościową i ilościową obserwację przebiegu takich zjawisk, a przy tym modele - pod warunkiem właściwego ich przygotowania - zachowują się (do pewnego stopnia) jak wzorzec naturalny, zaś komputer „przetworzy" jedynie te informacje dotyczące wyrobiska, jego obudowy i własności otaczających ją skał, które zostaną do niego wprowadzone i to z precyzją uzależnioną od zastosowanego oprogramowania.

2. Zasady prowadzenia badań laboratoryjnych na modelach

Zgodnie z zasadami podobieństwa modelowego [2, 3, 4] tylko te zjawiska są podobne między sobą, które mają jednakowe warunki jednoznaczności określające kryteria podobieństwa. Podobieństwo warunków jednoznaczności określone jest następującymi cechami:

- podobieństwo geometrycznych własności systemów, w których przebiega badany proces,
- proporcjonalność stałych fizycznych mających istotne znaczenie w badanym procesie,
- początkowy stan systemu,
- podobieństwo warunków na granicach systemu w okresie prowadzenia badań.

Koniecznym warunkiem istnienia podobieństwa jest więc równość kryteriów określających dany proces; w szczególności powinno zostać zachowane:

a) podobieństwo geometryczne zachodzące wówczas, gdy stosunek α_l odpowiednich liniowych wymiarów wzorca naturalnego l_N i badanego modelu l_M jest wielkością stałą,

b) podobieństwo kinematyczne zachodzące wówczas, gdy odpowiednie części wzorca naturalnego i modelu, poddane geometrycznie podobnym naprężeniom, ulegają geometrycznie podobnym odkształceniom w odstępach czasu różniących się stałym mnożnikiem; podobieństwo to wyraża się stosunkiem α_t wielkości czasu przebiegu danego zjawiska we wzorcu naturalnym t_N i w modelu t_M.,

c) podobieństwo dynamiczne zachodzące wówczas, gdy stosunek α_m mas wzorca naturalnego m_N do mas modelu m_M jest wielkością stałą.

W celu możliwie wiernego odwzorowania badanego zjawiska powinny być także spełnione wytrzymałościowe warunki podobieństwa [5], które w przypadku wzorca naturalnego

w postaci wycinka górotworu, odtwarzanego na modelu wykonanym z materiałów ekwiwalentnych, mają przykładowo - w odniesieniu do wytrzymałości na ściskanie - postać zależności (1):

$$R_{c_M} = \frac{l_M}{l_N} \cdot \frac{\rho_M}{\rho_N} \cdot R_{c_N} \tag{1}$$

gdzie:

R_c – wytrzymałość na ściskanie (materiału modelu - M i skał wzorca naturalnego - N),

l – wymiar liniowy (modelu - M i wzorca naturalnego - N),

ρ – gęstość (materiału modelu - M i skał wzorca naturalnego - N)

Jeżeli spełnione zostaną wytrzymałościowe kryteria podobieństwa, to z wystarczającym przybliżeniem [4] można przyjąć, że dla modelu prawdziwe będą również równania opisujące stan naprężeń i odkształceń wzorca naturalnego – górotworu.

W praktyce spełnienie wszystkich kryteriów podobieństwa modelowego, dokładne odwzorowanie na modelu zjawisk zachodzących w górotworze, jest znacznie utrudnione z uwagi na anizotropowość wzorca naturalnego; dotyczy to szczególnie takich cech górotworu jak kliważ, porowatość, szczelinowatość, stopień zawilgocenia itp.

Stąd też przy badaniach laboratoryjnych na modelach należy położyć szczególny nacisk na spełnienie tych warunków podobieństwa modelowego, które mają decydujący wpływ na przebieg badanych zjawisk.

3. Koncepcja pomiaru i rejestracji ciśnienia oraz deformacji górotworu i wyrobiska w modelach wykonanych z materiałów ekwiwalentnych

Istotnym problemem podczas prowadzenia badań na modelach wykonanych z materiałów ekwiwalentnych jest możliwość pomiaru i rejestracji wielkości ciśnień oddziałujących na masyw skalny bezpośrednio w otoczeniu wykonanego w nim wyrobiska korytarzowego, jak również w strefie w pewnej od niego odległości. Zasięg strefy, w której koncentrują się naprężenia związane z wykonaniem wyrobiska, mierzony od jego obrysu w wyłomie, określa się [6] na 3a-5a, gdzie a oznacza połowę szerokości tego wyrobiska.

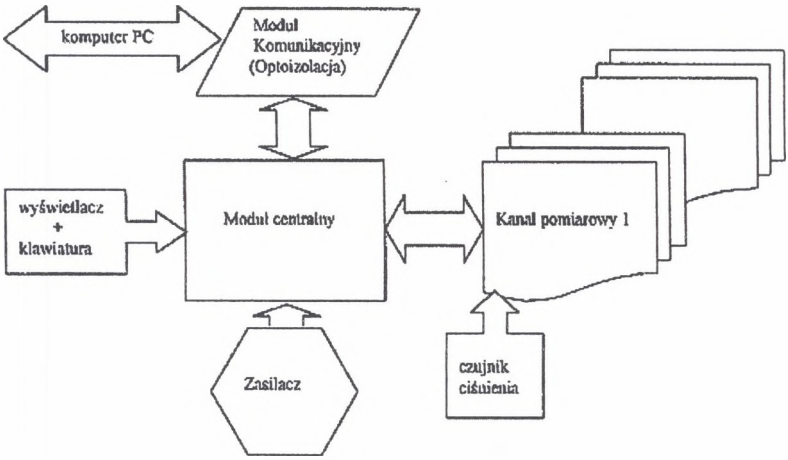
W dotychczas prowadzonych w Katedrze Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni badaniach na modelach, w celu pomiaru i rejestracji ciśnienia, stosowano czujniki tensometryczne [1]. Podstawową wadą tych czujników, oprócz problemów natury technicznej związanych z ich wykonaniem i zabudową w modelu wzdłuż założonych linii pomiarowych, były ich znaczne - po uwzględnieniu skali modelowania - wymiary (nie pozostające bez wpływu na rozkład sił kształtujący się w strefie górotworu objętej pomiarami), a także zawodność działania, sposób rejestracji wskazań i brak ich wymaganej powtarzalności.

Miniaturyzacja czujników ciśnienia, niezawodność i stabilność pracy, dokładność i powtarzalność wskazań, a także możliwość prowadzenia, rejestracji i – w dalszej kolejności – analizy odczytów z wykorzystaniem techniki komputerowej, to wymagania, jakie powinien spełniać układ pomiarowy przewidziany do zastosowania w planowanych do realizacji w Katedrze badaniach na modelach wykonanych z materiałów ekwiwalentnych.

W projektowanym układzie pomiarowym proponuje się wykorzystać wielokanałowy system rejestracji danych uzyskiwanych z czujników pomiarowych, którego schemat blokowy przedstawiono na rys.1.

Wielokanałowy, modularny system komputerowy czasu rzeczywistego WkSR przeznaczony jest do nadążnej rejestracji sygnałów pochodzących z czujników pomiarowych ciśnienia. W pełnej konfiguracji system umożliwia jednoczesną kontrolę i rejestrację parametrów 32 punktów pomiarowych z możliwością transmisji danych do PC i zapisu danych do pamięci masowej. Każdy z kanałów rejestracji danych ma możliwość dowolnego wybrania warunków wyzwolenia rejestracji. Po wykryciu przekroczenia zadanych wielkości w którymkolwiek z kanałów następuje zapisanie do pliku stanu wszystkich aktywnych kanałów wraz z aktualnym czasem, liczonym od momentu rozpoczęcia procesu rejestracji.

Zapisywana jest także informacja o kanale, z którego przyszło pobudzenie. Urządzenie ma także możliwość pracy w trybie wyzwalania od zadanego momentu czasu.



Rys. 1. Schemat blokowy rejestracji danych pomiarowych
Fig. 1. The block diagram of the measured data

Do pomiaru ciśnienia proponuje się wykorzystać czujniki NPP-301 firmy Lucas NovaSensor [7]. Serię NPP stanowią krzemowe czujniki ciśnienia w obudowach przeznaczonych do montażu powierzchniowego; wymiary czujników tej serii wynoszą 5 mm x 3,8 mm x 2,4 mm. Układ piezorezystywny, produkowany przez firmę Lucas NovaSensor, bazujący na mikrotechnologii łączenia struktur krzemowych zapewniających bardzo wysoką stabilność jest umieszczony w obudowie z tworzyw sztucznych, co pozwala pogodzić wymagania odnośnie do wysokiej czułości czujnika z minimalizacją jego kosztów wytwarzania, a zatem i ceną.

Przy zachowaniu stałego poziomu zasilania napięcie z czujnika NPP-301 jest liniowo proporcjonalne do rejestrowanego przez czujnik ciśnienia; użytkownik może, poprzez dodanie odpowiedniego układu, wzmocnić sygnał czujnika.

Czujniki serii NPP charakteryzują się:

- szerokim zakresem temperatury pracy (w przedziale od – 40^0C do +125^0C),
- błędem dokładności wskazań mniejszym od 0,2% maksymalnej wielkości mierzonej,
- dokładnością wskazań układu dzięki zastosowaniu czteroelementowego mostka Wheatstone'a,
- zakresem pomiarowym 100, 200 i 700 kPa, w zależności od serii czujnika.

Czujniki tej serii w zasadzie przeznaczone są do pomiaru ciśnienia gazów nie powodujących korozji układu, w tym również suchego powietrza. Przeprowadzone próby wykazały jednakże możliwość poprawnej ich pracy po zanurzeniu w oleju, co pozwoliło na zamknięcie czujnika w miedzianej, szczelnej i nieodkształcalnej kapsule z elastyczną pokrywą. Dzięki takiemu rozwiązaniu czujnik pozwala na kierunkowy pomiar ciśnienia, w zależności od jego usytuowania w modelu.

W celu uzyskania pełnego obrazu kształtowania się strefy naprężeniowo–deformacyjnej wokół wyrobiska górniczego (oprócz informacji o wielkości i kierunku ciśnienia) niezbędna jest również informacja o przebiegu odkształcania się górotworu w jego otoczeniu i zaciskania samego wyrobiska.

W planowanych badaniach przewiduje się prowadzenie odpowiednich pomiarów i ich rejestrację metodą fotogrametryczną, z wykorzystaniem do tego celu cyfrowego aparatu fotograficznego. Rozwiązanie takie pozwoli na komputerową analizę przebiegu i wielkości odkształceń zamodelowanego wycinka górotworu i zaciskania wykonanego w nim wyrobiska.

LITERATURA

1. Chudek M., Garncarz R., Pach A., Skudlik G., Szutkowski I.: Badania modelowe w zakresie utrzymania chodników przyścianowych objętych wpływami eksploatacji górniczej. Metody i środki eksploatacji na dużych głębokościach. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 1982.
2. Muller L.:Teoria podobieństwa mechanicznego. Warszawa 1961.
3. Siedow L. J.:Analiza wymiarowa i teoria podobieństwa w mechanice. Warszawa 1966.
4. Singh T. N., Singh B.:Equivalent material model study, development of mine model. Central Mining Research Station. Research Paper nr 40,1967.
5. Stimpson B.:Modelling materials for engineering rock mechanics. International Journal for Rock Mechanics. Mining Science nr 1, 1970.
6. Szczepaniak Z., Urbańczyk J.: Określanie koncentracji naprężeń w skałach przyociosowych odgałęzień wyrobisk korytarzowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, zeszyt nr 899, seria Górnictwo nr 148. Gliwice 1989.
7. Katalog firmy Lucas NovaSensor 2002.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Kazimierz Rułka

Abstract

One of the research methods that allows you to study events from the rock mechanics domain and co-operation the heading support with the surrounded rocks, is a natural situation model made in an appropriate scale from equivalent materials. According to the similarity model principles [2, 3, 4], only these phenomena are similar, those have these unequivocal conditions that can define the criteria of similarity.

The necessary condition of the existence the similarity between the natural situation model and the similarity model is the equality between the criteria that describe the process in a given situation, in particular their geometric, kinetic and dynamic similarity should be preserved. To get the most real model, the durability conditions [5] of the similarity model should be met too.

The essential problem during researching into the similarity model made from the equivalent materials is a possibility of measurement and registration the of pressure, that interact with the surrounding rocks - not only strictly between the rocks and the dog heading, but in the zone located farther too. For pressure measurement, the Lucas NovaSensor's NPP-301 sensors are proposed. These sensors are in fact designed for a gas-pressure measurement, but the taken tests showed, that these sensors immersed in oil could operate correctly. That allowed to close the sensors in a tight and not deformable container with flexible lid. Thanks to that solution, the sensor allows to direct measurement of the pressure, depending on its location in the model.