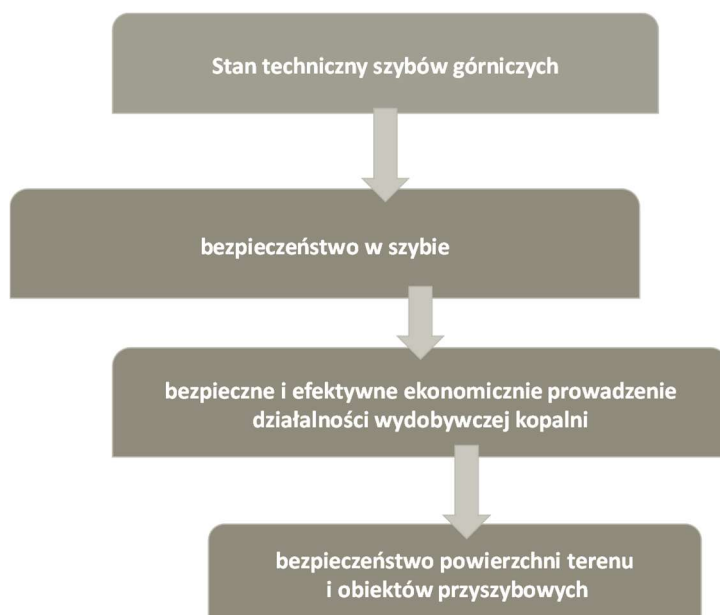


8

ZAŁOŻENIA SYSTEMU MONITOROWANIA SZYBÓW GÓRNICZYCH W ŚWIETLE WYBRANYCH USZKODZEŃ OBUDÓW SZYBOWYCH

8.1 WPROWADZENIE

Stan techniczny obudowy szybów górniczych w podstawowym stopniu decyduje o bezpiecznym prowadzeniu działalności wydobywczej kopalni głębinowej oraz o bezpieczeństwie powierzchni terenu i obiektów budowlanych, zlokalizowanych w otoczeniu szybów (rys. 8.1). Szczególne znaczenie dla funkcji, jaką pełni obudowa szybu mają jej wytrzymałość i ewentualne uszkodzenia.

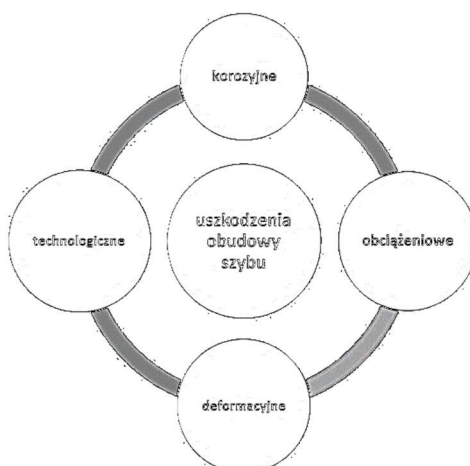


Rys. 8.1 Znaczenie stanu technicznego obudowy szybów dla bezpieczeństwa górniczego i powszechnego

Podstawowy wpływ na stan techniczny szybów w tym szczególnie na stan obudowy mają czynniki naturalne, górnicze i techniczne oraz czas użytkowania tego wyrobiska.

Z uwagi na przyczyny uszkodzenia obudowy szybów można podzielić na [2, 6] (rys. 8.2):

- spowodowane obciążeniem statycznym i zmianą warunków współpracy obudowy z górotworem,
- wynikające z przepływu wód przez obudowę – oddziaływania korozyjnego,
- spowodowane obciążeniem deformacyjnym górotworu wywołanym wpływami eksploatacji górniczej,
- spowodowane obciążeniem dynamicznym wywołanym wstrząsami górotworu,
- spowodowane czynnikami użytkowymi i technologicznymi w tym wadami i starzeniem się materiału obudowy.



Rys. 8.2 Przyczyny uszkodzeń obudowy szybów

Uszkodzenia obudowy szybów mogą prowadzić do wystąpienia awarii i katastrof, skutkujących nawet zawaleniem się szybu. Znane z praktyki górniczej przypadki awarii w szybach, wywołane uszkodzeniem obudowy, prowadziły do katastrofalnych skutków, powodujących [6]:

- wystąpienie zagrożenia dla pracowników znajdujących się w szybie i na powierzchni terenu przy szybie oraz dla załogi górniczej przebywającej w wyrobiskach sąsiadujących z szybem,
- wystąpienie zagrożeń wodnych, wentylacyjnych, metanowych, wybuchu pyłu węglowego i pożarowych,
- uszkodzenie szybów w zakresie uniemożliwiającym ich funkcjonowanie i użytkowanie,
- uszkodzenie obiektów budowlanych i technicznych zlokalizowanych na powierzchni terenu przy szybie,
- konieczność czasowego zatrzymania wydobywania w części, a nawet całej kopalni.

Warunki eksploatacyjne szybów oraz potrzeba regularnej kontroli stanu obudowy i ewentualnych jej uszkodzeń wymaga zastosowania optymalnego systemu monitoringu tych wyrobisk. W wielu przypadkach bezpośredni dostęp eksperta do powierzchni obudowy jest mocno utrudniony, a duża powierzchnia i czas prowadzenia kontroli obudowy, często przekracza możliwości percepcyjne człowieka. W tej sytuacji dogodnym sposobem może być zastosowanie systemu monitorującego obudowę

i wyposażenie szybu, wykorzystującego nowoczesne metody rejestracji i przetwarzania informacji.

8.2 PRZYKŁADY NAJCZĘŚCIEJ WYSTĘPUJĄCYCH USZKODZEŃ OBUDOWY BETONOWEJ SZYBÓW

Najczęstszymi uszkodzeniami obudowy betonowej spotykanymi w czasie wizji w szymbach są uszkodzenia korozyjne, wywołane przez wpływ czynników fizykochemicznych środowiska w szybie i jego otoczeniu. Agresywne wody i gazy wywołują chemiczną korozję betonu, która ma najczęściej charakter: ługujący, kwasowy, węglanowy, magnezowy, siarczanowy itp. Również w wyniku zmian temperatury i wilgotności atmosfery w szybie dochodzi do korozji fizycznej betonu, okresowego zamarzania oraz krystalizacji związków chemicznych [2].

Przykładowe uszkodzenie obudowy betonowej szybu, będące efektem procesów korozyjnych betonu przedstawia rys. 8.3.



Rys. 8.3 Korozja obudowy betonowej szybu

Uszkodzenia betonowej obudowy szybowej typu obciążeniowego występują w postaci pęknięć (rys. 8.4 i 8.5), złuszczeń i odspojeń fragmentów obmurza szybowego (rys. 8.6). Wśród pęknięć w obudowie, spotyka się pęknięcia o szczelinach rozwartych i zamkniętych.

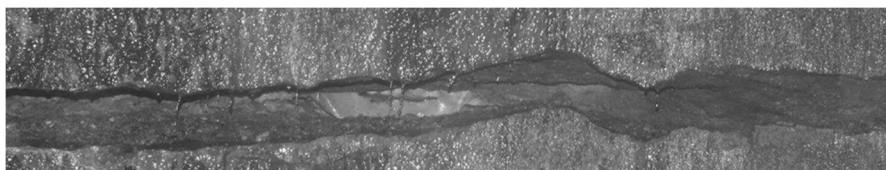
a)



b)



Rys. 8.4 Szczelina w obudowie betonowej szybu:
a) szczelina pozioma, b) szczelina skośna



Rys. 8.5 Pozioma szczelina w obudowie betonowej szybu



Rys. 8.6 Powierzchniowe odspojenie z obudowy betonowej szybu

W przypadku szybów w obudowie betonowej często występują jej uszkodzenia w obrębie złącz technologicznych, będących miejscami połączeń odcinków pierścieni obudowy powstałych w czasie wykonywania obudowy betonowej. Uszkodzenia w obrębie złącz technologicznych występują w postaci ubytków obudowy w złączu, szczelin oraz uszkodzeń korozyjnych w wyniku przepływu agresywnej wody przez te nieciągłości w konstrukcji obudowy szybu (rys. 8.7).



Rys. 8.7 Uszkodzenia betonu w rejonie złącza technologicznego

8.3 ZASADY PROWADZENIA MONITORINGU STANU TECHNICZNEGO OBUDOWY SZYBÓW

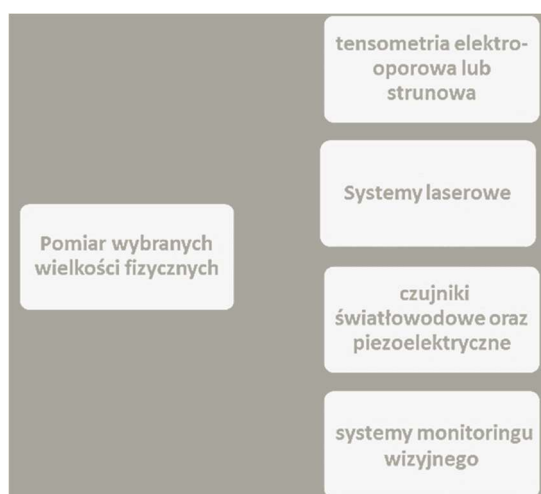
Szczególnie znaczące postępy w monitorowaniu konstrukcji inżynierskich można obecnie obserwować w przypadku budowli hydrotechnicznych i obiektów mostowych, gdzie instalowane są na wybranych elementach tych konstrukcji systemy

monitorujące. Systemy te realizują ciągłe pomiary różnych wielkości fizycznych począwszy od odkształceń, a na określaniu wartości oddziaływań kończąc [9]. Obecnie nie tylko konstrukcje mostowe czy obiekty hydrotechniczne wyposażane są w systemy umożliwiające ich ciągłe i zdalne monitorowanie, ale również coraz częściej systemy monitorujące są instalowane na obiektach handlowych czy sportowych.

Systemy monitorujące stosowane w tych konstrukcjach inżynierskich bazują na (rys. 8.8) [9]:

- klasycznej tensometrii elektrooporowej czy strunowej,
- systemach laserowych,
- czujnikach światłowodowych oraz piezoelektrycznych.

Konieczność zapewnienia bezpieczeństwa załóg górniczych jak i ruchu zakładów górniczych, powoduje, że istotna jest kontrola stanu technicznego obudowy szybów i monitorowanie rozwoju ewentualnych jej uszkodzeń w celu odpowiednio szybkiego podjęcia adekwatnych działań prewencyjnych. Jednakże ze względu na przestrzenne zróżnicowanie oddziaływania górotworu, jak i środowiska na obudowę szybową, celowa jest ocena stopnia tego oddziaływania praktycznie na całej długości obudowy szybu. Z tego względu założenia monitorowania obudowy w szybach winno uwzględniać powyższe uwarunkowania oraz doświadczenia wynikające z prowadzonych od wielu lat kontroli stanu technicznego obudów szybowych.



Rys. 8.8 Współczesne techniki pomiarowe stosowane w obiektach inżynierskich

W świetle analizy występujących rodzajów uszkodzeń obudowy szybów, charakterystycznych warunków środowiskowych i dotychczasowych doświadczeń w kopalniach, wydaje się, że obecnie najbardziej korzystnymi rozwiązaniami służącymi do budowy systemów do monitorowania szybów górniczych są:

- skaningu laserowego,
- systemy wizyjne z zastosowaniem komputerowej analizy obrazu.

Systemy skaningu laserowego w ostatnich latach znalazły zastosowanie do przestrzennych pomiarów geometrii szybów górniczych. Technologia skanowania laserowego pozwala na wierne odzwierciedlenie mierzonego obiektu na podstawie

danych otrzymywanych ze skanerów laserowych oraz akcelerometrów i żyroskopów dla potrzeb pozycjonowania układu pomiarowego. Dane te za pomocą odpowiednich aplikacji tworzą „obraz” przestrzennych danych pomiarowych [1, 8, 10].

Systemy laserowego skanowania pozwalają uzyskać trójwymiarowe obrazy obudowy szybów wraz z wizualizacją powierzchni obudowy, pozwalające na rejestrację uszkodzeń obmurza szybu jak i elementów zbrojenia szybowego.

Z uwagi na możliwość uzyskania trójwymiarowych obrazów obudowy możliwe jest również określenie wielkości i głębokości uszkodzenia obudowy, a większa częstotliwość pomiaru w szybie może pozwolić na uzyskanie danych o czasowym rozwoju uszkodzeń obudowy.

Pomiary w szybach za pomocą skaningu laserowego mogą dotyczyć m. in. [1, 8]:

- geometrii obudowy i elementów zbrojenia szybu,
- prostoliniowości prowadzenia naczyń szybowych oraz wartości luzów roboczych,
- luzów w ciągach przewodników,
- odstępów ruchowych wraz z geometrią wyposażenia szybu.

Jak z powyższego wynika, podstawowymi efektami systemów skanowania są obrazy 3D obudowy i elementów wyposażenia i zbrojenia szybu. Dla zarówno dla systemu monitorowania opartego na skaningu laserowym jak i w przypadku systemów wizyjnych, podstawowe znaczenie ma identyfikacja uszkodzeń obudowy.

Monitorowanie stanu technicznego obudowy szybów wymaga zastosowania właściwego systemu obserwacyjnego i sformułowania kryteriów wykrywania uszkodzeń wraz z numerycznym opisem ich wielkości i oceną bezpieczeństwa.

Dla obudowy betonowej oraz dla obudowy murowej szybów można wyróżnić wstępnie następujące sposoby identyfikacji uszkodzeń obudowy [2, 4, 8]:

- nacieki mineralne, które mogą być identyfikowane na podstawie różnicy kolorów (związanej z zawartością składników mineralnych),
- spękania obudowy, identyfikowane jako wydłużone ciemniejsze linie o najczęściej nieregularnym charakterze (w odróżnieniu od elementów konstrukcyjnych o stosunkowo prostym kształcie),
- większe ubytki obudowy betonowej (odspojenia), mogą być identyfikowane na podstawie różnych parametrów teksturowych,
- ubytki w obudowie murowej z cegły, mogą być identyfikowane w oparciu o kryterium regularności tekstury związanej z wymiarami cegieł i spoin.

Opracowane dotychczas algorytmy [2, 4, 8] mogą identyfikować uszkodzenia obudowy, a w powiązaniu z nałożonym obrazem z analizy numerycznej wytężenia obudowy szybu mogą stanowić podstawę systemu automatycznej identyfikacji uszkodzeń obudowy szybów.

Z uwagi na stosowanie obecnie dla szybów normy dotyczącej oceny i metody badań betonowej obudowy szybów górniczych (norma PN-G-04211), gdzie stopień zagrożenia obudowy wyrażony jest przez tzw. współczynnik pewności przeniesienia naprężeń, charakteryzujący stopień zagrożenia obudowy według wzoru:

$$n = \frac{\sigma_{oc}}{\sigma_{red}} \quad (8.1)$$

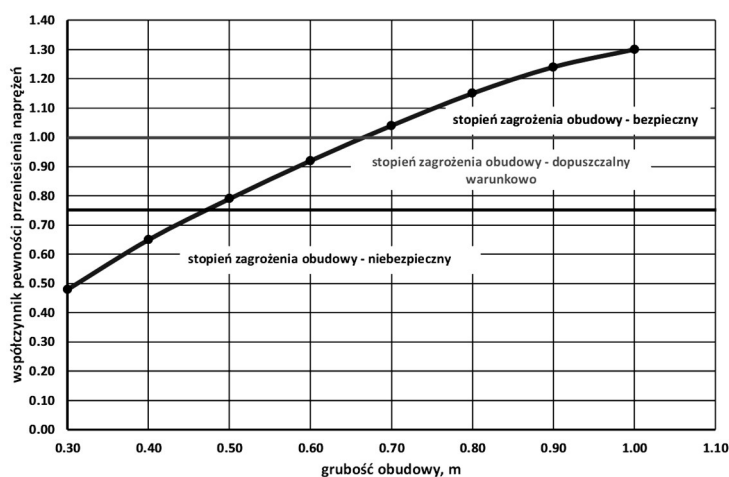
gdzie:

σ_{oc} – naprężenie dopuszczalne w obudowie betonowej szybu dla rzeczywistych klas betonu, przyjmowany jako równy wytrzymałości obliczeniowej betonu na ściskanie R_{bb} , określonej w jednoosiowym stanie naprężenia, MPa,

σ_{red} – naprężenia zredukowane w betonie obudowy, określone dla aktualnych obciążeń i dla aktualnego stanu deformacji obudowy, MPa.

Współczynnik pewności przeniesienia naprężeń może być wykorzystany w systemie monitorowania do identyfikacji stopnia bezpieczeństwa obudowy szybu

Na rys. 8.9 przedstawiono wykres kształtowania się współczynnika przeniesienia naprężeń w zależności od określonej na podstawie pomiarów grubości obudowy (przykładowo dla parametrów wytrzymałościowych betonu odpowiadających klasie C20/25), dla warunku wytrzymałościowego Coulomba-Mohra.



Rys. 8.9 Zmiany współczynnika przeniesienia naprężeń w zależności od grubości obudowy szybu

8.4 PODSUMOWANIE

Podstawowe znaczenie przy ocenie stanu obudowy betonowej wyrobisk, a w szczególności obudowy szybów ma dostęp do obmurza, umożliwiający wykonanie tej oceny. Ocena stanu technicznego i bezpieczeństwa jest wówczas w dużym stopniu oceną subiektywną, zależną praktycznie od percepcji i doświadczenia osoby oceniającej taki materiał obudowy. W przypadku dużych uszkodzeń obudowy szybu niemożliwe jest wykonanie kontroli obmurza na uszkodzonym odcinku nawet z wyciągu ratowniczego. W tych warunkach jedynym efektywnym rozwiązaniem jest stosowanie rozwiązań monitorujących, polegających na zastosowaniu aparatury pomiarowej przemieszczającej się w szybie bez obecności ludzi.

W przedstawionych założeniach dla systemu monitorującego stan obudowy uwzględniono uwarunkowania przestrzenne i ruchowe występujące w szybach, omówiono stosowane zasady i kryteria wykrywania uszkodzeń obudowy oraz propozycje numerycznego opisu ich wielkości w aspekcie oceny bezpieczeństwa

i nośności obudowy szybu. Założenia systemu monitorowania stanu obudowy szybów zostały zastosowane w realizowanym międzynarodowym projekcie badawczym Intelligent Deep Mine Shaft Monitoring.

LITERATURA

1. A. Adamek. „Mobilna platforma górnicza (MPG) - nowatorskim rozwiązaniem w polskich kopalniach.” *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 27, pp. 11-24, 2015.
2. A. Bączek i in. *Wizualizacyjna metoda wspomaganie oceny stanu technicznego i bezpieczeństwa obudowy szybu z wykorzystaniem cyfrowej analizy obrazu*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2013.
3. A. Heyduk, H. Kleta. „Metody wstępnego przetwarzania obrazu w wizyjnym systemie monitoringu stanu technicznego obudowy szybowej.” *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, nr 10, pp. 40-46, 2011.
4. H. Kleta, A. Heyduk. „Analiza obrazu w zastosowaniu do oceny stanu obudowy szybów.” *Budownictwo Górnicze i Tunelowe*, nr 1, pp. 40-45, 2011.
5. H. Kleta, M. Jendryś. „Kryterium nośności obudowy betonowej szybu w świetle wybranych warunków wytrzymałościowych.” *Budownictwo Górnicze i Tunelowe*, nr 4, pp. 10-15, 2011.
6. H. Kleta. *Zasady oceny bezpieczeństwa szybów i ich odporność na oddziaływania górnicze*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2013.
7. H. Kleta, M. Jendryś. „iDeepMonKick-Off Meeting, Different examples of shaft lining defects.” Berlin, 2016. [niepublikowane]
8. T. Lipecki. *Kompleksowa ocena stanu geometrycznego obiektów i urządzeń szybowych z zastosowaniem skaningu laserowego*. Kraków: Wydawnictwo AGH, 2013.
9. R. Sieńko. „Systemy monitorowania obiektów mostowych.” *Materiały budowlane*, nr 4, pp. 65-66, 2008.
10. A. Tokarz. „Laserowy inspektor szybowy. Ocena stanu technicznego wyrobisk górniczych za pomocą skanera laserowego.” *Ratownictwo Górnicze*, nr 3, pp.11-12, 2013.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 10.2016

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 03.2017

dr hab. inż. Henryk Kleta, prof. Pol. Śl.

Politechnika Śląska,

Wydział Górnictwa i Geologii

Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego

i Zarządzania Ochroną Powierzchni

ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska

e-mail: henryk.kleta@polsl.pl

ZAŁOŻENIA SYSTEMU MONITOROWANIA SZYBÓW GÓRNICZYCH W ŚWIETLE WYBRANYCH USZKODZEŃ OBUDÓW SZYBOWYCH

Streszczenie: *W artykule przedstawiono założenia systemu monitorującego stan obudowy szybów, uwzględniającego uwarunkowania techniczne tych wyrobisk górniczych w świetle spotykanych w praktyce górniczej rodzajów uszkodzeń obudowy. W przedstawionych założeniach dla systemu monitorującego stan obudowy uwzględniono uwarunkowania przestrzenne i środowiskowe występujące w szybach wraz z podaniem sposobów identyfikacji uszkodzeń obudowy i oceny bezpieczeństwa obudowy. Przedstawione założenia systemu monitorowania stanu obudowy szybów zostały zastosowane w realizowanym międzynarodowym projekcie badawczym Intelligent Deep Mine Shaft Monitoring.*

Słowa kluczowe: *szyb, obudowa szybu, monitoring obudowy szybów*

ASSUMPTIONS FOR SYSTEMS MONITORING SHAFT LINING IN THE LIGHT OF VARIOUS DEFECTS

Abstract: *The article presents the principles of the system monitoring the condition of the lining, taking into account the technical conditions of the mine workings in the light of the common practice of mining types of damage to the housing. In their assumptions for the system monitoring the condition of the housing includes spatial and environmental conditions occurring in the shafts, together with the ways to identify damage to housing and assessing the safety of housing. The assumptions of the system of monitoring the state of the housing shafts have been used in an international research project carried out Intelligent Deep Mine Shaft Monitoring*

Key words: *shaft, lining shaft, monitoring lining shaft*