

# Monitorowanie oddziaływania robót strzałowych na otoczenie – nowe rozwiązania

## Monitoring the impact of blasting works on the environment - new solutions

*Józef Pyra, Anna Sołtys, Jan Winzer*

Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, PL

*Autor do korespondencji:* pyra@agh.edu.pl

**Streszczenie:** Roboty strzałowe prowadzone w kopalniach odkrywkowych surowców skalnych wzbudzają drgania, które mogą powodować szkodliwe oddziaływanie na obiekty budowlane w otoczeniu. W związku z powyższym kopalnie prowadzą działania skierowane z jednej strony na wyznaczenie warunków bezpiecznego dla otoczenia wykonywania robót strzałowych, a z drugiej strony na dokumentowanie poziomu tego oddziaływania. Dokumentowanie oddziaływania przez cykliczne pomiary kontrolne i oceny oddziaływania mają zasadniczą wadę w postaci okresowej ich realizacji. Ta słaba strona pomiarów kontrolnych jest całkowicie niwelowana przez monitoring oddziaływania.

W Polsce do monitorowania oddziaływania robót strzałowych na otoczenie stosowany jest system Kopalniana Stacja Monitoringu Drgań (KSMD), który został zaprojektowany i zbudowany w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. System ten w czasie kilku lat uległ modernizacji i unowocześnieniu. Aktualnie jest to zdalnie sterowany system z zastosowaniem łączności przez Internet, dane pomiarowe gromadzone są na centralnym serwerze w AGH.

W artykule przedstawiono ewolucję systemu z podkreśleniem aktualnych jego możliwości.

**Abstract:** Blasting works which are carried by in open pits mines generate seismic vibrations, which can cause damaging influence on structure in nearby surrounding. Because of that open pits mines take an action for designing safety condition of the implemented blasting works. Also, they keep track of appearing influence. Periodic documenting of the seismic interference through measurements has got one disadvantage, which is its cyclic realization. This drawback is eliminated by applying a seismic monitoring.

In polish conditions, influence of the blasting works on the environment is monitored by the system which is called KSMD (system for monitoring and evaluation of the interaction intensity). The System was designed and extended in the AGH University of Science and Technology in Cracow. The system in the past years of its existence has been modernized and updated.

At present, the system is remotely controlled. The communication with it is via the internet. The data is stored on the main server which is set up in the AGH University of Science and Technology headquarter. System evolution and all its technical capabilities are presented in the article.

**Słowa kluczowe:** monitoring drgań, roboty strzałowe

**Keywords:** vibration monitoring, blasting works

## 1. Wprowadzenie

Odpalanie ładunków materiałów wybuchowych (MW), umieszczonych w otworach w kopalniach odkrywkowych surowców skalnych, wzbudza drgania, które mogą powodować oddziaływanie na obiekty budowlane w otoczeniu. W związku z powyższym kopalnie coraz częściej oprócz profilaktyki okresowej (badania kontrolne i wyznaczanie dopuszczalnych ładunków MW) sięgają po ciągły monitoring oddziaływania, aby w sposób skuteczny i bieżący kontrolować oddziaływanie drgań parasejsmicznych.

Wyznaczenie bezpiecznych warunków sprowadza się do wskazania ograniczeń co do masy używanych

ładunków MW, stosowania dobrej jakości MW i nowoczesnych systemów odpalania. Mechanicznie ładowane do otworów strzałowych, MW typu ANFO czy emulsyjne, odpalanie nieelektryczne i elektroniczne, to już dzisiaj standardy w górnictwie odkrywkowym. Zastosowanie nowoczesnych środków strzałowych pozwala również na odpalanie wielootworowych serii ładunków MW o większej masie.

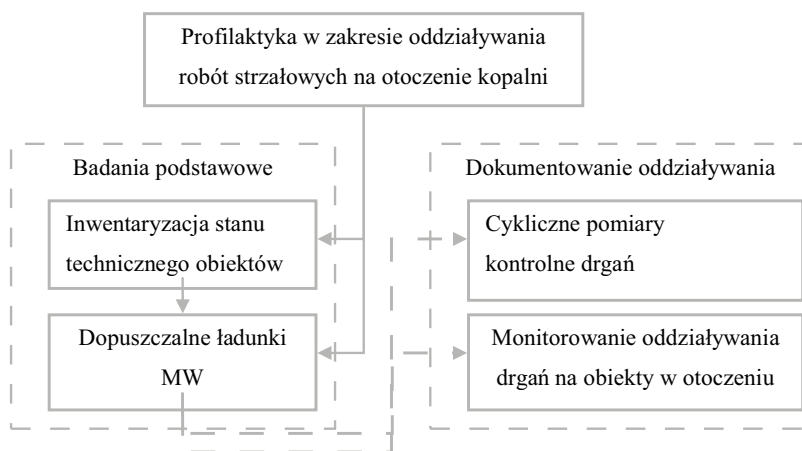
Standardem jest również wykonywanie robót strzałowych przez wyspecjalizowane podmioty zewnętrzne. Jest rzeczą zrozumiałą, że firmy te dążą do ograniczenia częstotliwości robót strzałowych, a to wiąże się ze zwiększaniem masy ładunków MW do jednorazowego odpalania. Obsługa robót strzałowych to również projektowanie parametrów siatki z zastosowaniem specjalistycznych programów komputerowych i techniki laserowej.

Często również samorządy lokalne, w opiniach na potrzeby organów koncesyjnych, wskazują na konieczność minimalizacji oddziaływania robót eksploatacyjnych na zabudowania w otoczeniu, dlatego w koncesjach pojawiają się wymagania co do niezbędności prowadzenia badań kontrolnych i monitorowania.

Zmiany te nie są antidotum na wszystkie problemy oddziaływania robót strzałowych na otoczenie i dlatego kopalnie coraz częściej korzystają z możliwości dokumentowania i archiwizowania zdarzeń związanych z detonowaniem ładunków MW w procesie eksploatacyjnym.

Działalność profilaktyczną kopalń odkrywkowych w zakresie minimalizacji oddziaływania robót strzałowych na otoczenie można podzielić na dwa zasadnicze zagadnienia (rys. 1):

- badania podstawowe – inwentaryzacja stanu technicznego obiektów budowlanych w otoczeniu, przeprowadzenie pomiarów intensywności drgań i wyznaczenie dopuszczalnych ładunków MW dla strzelania w lokalnych warunkach geologiczno-górnicznych,
- dokumentowanie oddziaływania drgań na obiekty w otoczeniu przez cykliczne pomiary kontrolne lub stały monitoring intensywności drgań w wybranych obiektach budowlanych.



Rys. 1. Działalność profilaktyczna kopalń odkrywkowych w zakresie oddziaływania [1,2]

## 2. Monitoring oddziaływania drgań na otoczenie

Cykliczne pomiary kontrolne i oceny oddziaływania mają zasadniczą wadę w postaci okresowej ich realizacji. Odległość czasowa między badaniami to czasem rok, dwa lata i więcej. Fakt ten stanowi niejednokrotnie zarzut co do celowości i skuteczności takich działań, podnoszony przez strony w procesach odszkodowawczych. Ta słaba strona pomiarów kontrolnych jest całkowicie niwelowana przez monitoring oddziaływania.

Monitoring to ciągły pomiar drgań przez rejestratory samowłączające się po przekroczeniu ich progu czułości i archiwizujące wyniki pomiarów. Tego typu działalność może być z powodzeniem wykonywana przez służby własne zakładu górniczego. Oczywiście zainstalowanie aparatury pomiarowej na każdym obiekcie chronionym jest nierealne, ale już nawet w jednym lub kilku punktach jest celowe i uzasadnione. Bardzo istotnym elementem takich pomiarów kontrolnych jest stała obecność aparatury pomiarowej w konkretnym

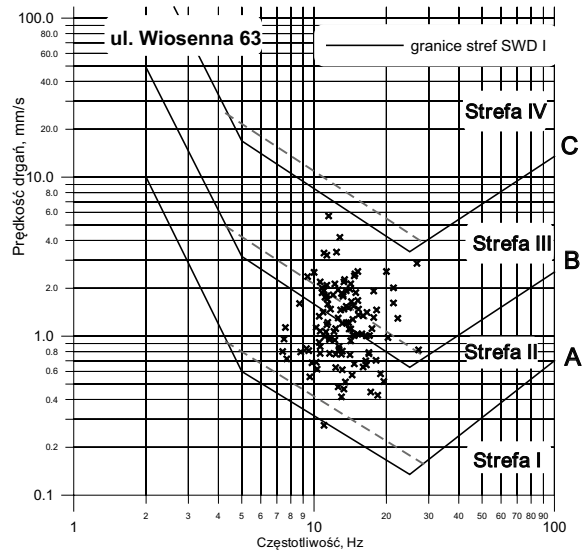
obiekcie oraz bezobsługowe wykonywanie pomiarów. Aparatura pracuje w sposób ciągły rejestrując datę i czas zachodzących zdarzeń z jednoczesną ich archiwizacją.

W górnictwie odkrywkowym, do monitorowania drgań wzbudzanych robotami strzałowymi, znalazły zastosowanie następujące systemy pomiarowe [2 ÷ 5]:

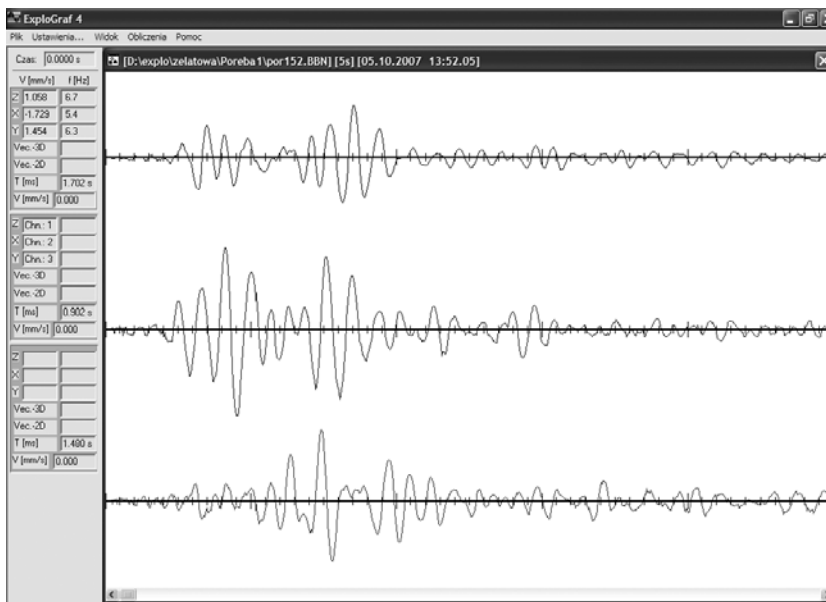
- Mała Stacja Monitoringu Drgań – Explo 504,
- Kopalniana Stacja Monitoringu Drgań – transmisja radiowa,
- Kopalniana Stacja Monitoringu Drgań – transmisja GSM,
- Kopalniana Stacja Monitoringu Drgań – transmisja GPRS/APN.



a)



b)



c)

**Rys. 2.** Mała Stacja Monitoringu Drgań - Explo 504: a) widok ogólny; b) ocena oddziaływania z zastosowaniem skali SWD-I; c) okno dialogowe programu Explograf

Explo 504 jest to rejestrator cyfrowy wyposażony w trójskładowy miernik prędkości (rys. 2a). Urządzenie umożliwia bieżącą kontrolę wyników pomiarów przez bezpośredni odczyt z wyświetlacza wartości maksymalnych i korygowanych zgodnie z normą PN-B-02170:1985 [6] oraz transmisję danych w postaci pełnych przebiegów czasowych dla umożliwienia dokładnej analizy. Do transmisji danych i analizy wyników pomiarów stosowany jest program Explograf (rys. 2c), który przygotowuje jednocześnie dane pomiarowe do dalszych bardziej szczegółowych analiz. Ocenę oddziaływania na obiekty chronione może wykonywać jednostka specjalistyczna, opracowując sprawozdania i opinie okresowe (np. kwartalne) lub po zakończeniu monitoringu w danym budynku.

Zastosowanie Explo 504 w jednej z kopalń dolomitu od roku 1999 pozwoliło na wykonanie ponad tysiąca rejestracji drgań wzbudzonych robotami strzałowymi w 24 budynkach w otoczeniu wyrobiska [2].

Wady systemu Explo 504 to przede wszystkim ograniczona do 15 liczba rejestracji pełnych przebiegów, co powoduje konieczność okresowej obsługi stacji przez transmisję danych do komputera.

Na chwilę obecną tylko jedna kopalnia posługuje się jeszcze tego typu stacją, która jest okresowo przenoszona do obiektów, które w danym momencie znajdują się najbliżej miejsca odpalania serii ładunków MW.

W roku 2002 została przygotowana do eksploatacji Kopalniana Stacja Monitoringu Drgań (KSMD) [2 ÷ 4, 7].

W jej konstrukcji (rys. 3) zastosowano takie same rozwiązania techniczne w zakresie pomiarowym (trójskładowe mierniki prędkości) jak i w sposobie zbierania danych. Natomiast zasadnicza różnica to system komunikacji i przekazywania danych (transmisji).



**Rys. 3.** Kopalniana Stacja Monitoringu Drgań (KSMD) – widok ogólny

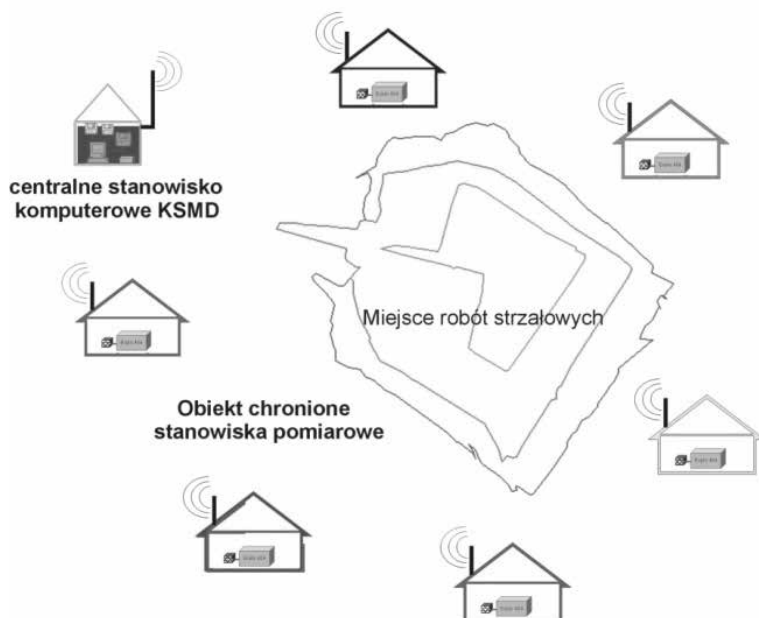
Podstawowym założeniem modernizacji systemu pomiarowego było wprowadzenie transmisji danych z wykorzystaniem łączności radiowej, a później łączności GSM (łączność z wykorzystaniem telefonii komórkowej). Schemat ideowy pracy systemu KSMD przedstawiono na rys. 4 [3].

Wprowadzenie łączności bezprzewodowej pozwoliło na zdalne sterowanie stacjami pomiarowymi, zbieranie danych podstawowych o poziomie oddziaływania drgań i dokonywanie wstępnych ocen przez naniesienie wyników pomiarów na skale SWD (metodą bezpośrednią).

Zastosowanie w pierwszym rozwiązaniu łączności radiowej przyniosło istotne ograniczenia zasięgu transmisji do ok. 5 km oraz silne uzależnienie od lokalnego zasięgu sygnału radiowego. Wadą systemu była mała stabilność sygnału radiowego, co powodowało określone utrudnienia w obsłudze. Jednym z nich był brak możliwości transmisji pełnych przebiegów drgań, a to przy ograniczonej pamięci wymagało, podobnie jak w przypadku Explo 504, okresowej obecności operatora systemu i wczytywania danych do komputera.

Podstawową zaletą systemu, już w pierwszej wersji, było wprowadzenie baz danych do przechowywania wyników pomiarów, tworzenie archiwum dla każdej stacji i dla obiektu budowlanego, w którym stacja była zamontowana. Bieżąca obsługa stacji pozwalała na tworzenie raportów łącznie z oceną oddziaływania

zarówno dla każdego strzelania jak i za dowolny okres czasu. W efekcie gromadzony był materiał dowodowy o oddziaływaniu robót strzałowych w otoczeniu.



Rys. 4. Schemat ideowy KSMD

Wewnętrzne oprogramowanie KSMD gromadziło również dane o pracy systemu, co pozwalało kontrolować każdą komendę podawaną do systemu przez operatora. Był to ważny element, który w spornych sprawach eliminował zarzut nie włączenia systemu.

Na przełomie lat 2012/2013 zostały poddane modernizacji ostatnie 6 egzemplarzy tego typu stacji.

Drugim etapem modernizacji systemu KSMD było wprowadzenie łączności GSM - w przypadku telefonii komórkowej istnieje możliwość nie tylko przesyłania na odległość danych w postaci maksymalnych wartości parametrów drgań, ale również pełnych ich przebiegów, co jest bardzo ważne w przypadku prowadzenia szczegółowych analiz oddziaływania z zastosowaniem filtrowania tercjowego. Druga ważna zaleta tego systemu to praktycznie już nieograniczony zasięg łączności, co stwarza możliwości przesyłania pełnych danych na dowolną odległość. To, co stanowi zaletę systemów GSM, jest oczywiście wadą i ograniczeniem w przypadku stosowania komunikacji radiowej bliskiego zasięgu.

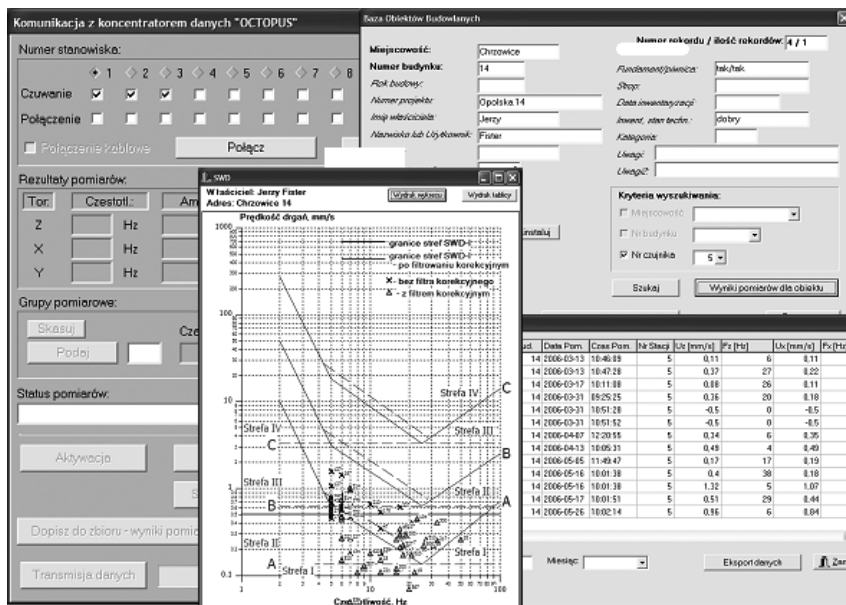
Zastosowanie łączności GSM usprawniło komunikację stacji bazy ze stacjami pomiarowymi, a jednocześnie umożliwiło organizację centralnego systemu sterowania i analiz w Akademii Górniczo-Hutniczej – Laboratorium Oddziaływania Robót Strzałowych. Laboratorium zgodnie z umowami podpisanymi z poszczególnymi kopalniami ma dostęp do wyników i prowadzi bieżącą kontrolę intensywności i ocenę oddziaływania drgań na poszczególne obiekty budowlane, sporządzając kwartalne raporty, jednocześnie archiwizując dane na serwerze [2, 8].

Zarchiwizowane przez KSMD wyniki pomiarów zapisywane są na kilku poziomach systemu:

- a) w archiwum pracy KSMD,
- b) w raporcie końcowym,
- c) w bazie danych obiektów chronionych (wyniki pomiarów stanowią wtedy część składową informacji o obiekcie, w którym aktualnie jest zainstalowana stacja pomiarowa),
- d) mogą być również wysyłane do serwera centralnego, gdzie poddawane są szczegółowym analizom przez zewnętrzne zespoły specjalistów.

Zarządzanie KSMD i praca z programem Nobogsm odbywa się przez okna dialogowe (rys. 5). Program

wyposażony jest w bazę danych, która pozwala na dostęp do wyników pomiarów dla każdego obiektu chronionego. Wyniki są opisane datą i czasem wystąpienia zdarzenia, wartościami maksymalnymi prędkości drgań skorelowanymi z częstotliwością. Wstępna ocena poziomu drgań i stopień ich oddziaływania są dostępne przez wizualizację wyników na skali SWD.



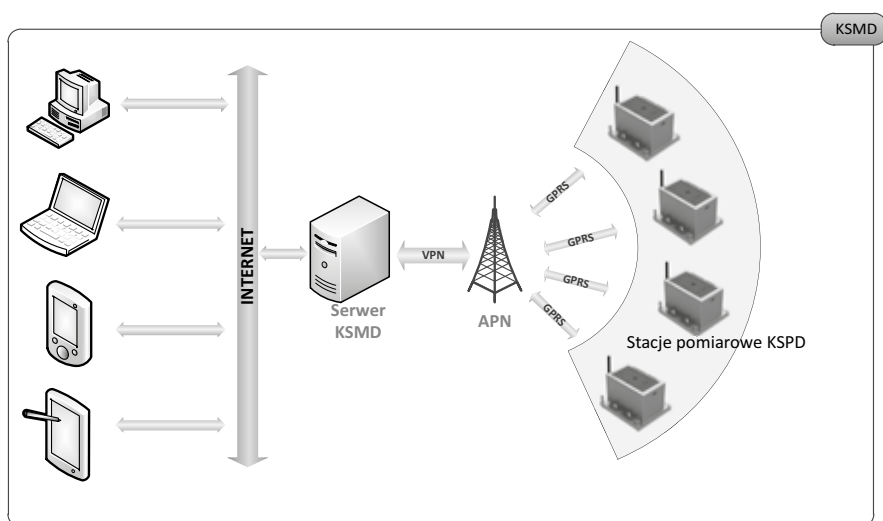
Rys. 5. Okna dialogowe programu Nobogsm

Zasadniczą wadą tego modelu była duża ilość czasu, jaką należało przeznaczyć na prawidłową obsługę systemu. Operator musi z każdą stacją połączyć się osobno i wydać jej określone polecenie np. włączyć czuwanie, wyłączyć czuwanie, odczytaj wyniki, zapisz wyniki, aby wszystko zostało poprawnie zapisane i zarchiwizowane. Aktualnie w kopalniach pracuje 7 systemów KSMD wykorzystujących łączność GSM. Wyposażone są w 23 stacje pomiarowe, które w sposób ciągły rejestrują drgania wzbudzone robotami strzałowymi w kopalniach odkrywkowych.

### 3. KSMD – nowe rozwiązania

W 2011 została opracowana nowa wersja KSMD (rys. 6). Myślą przewodnią dokonanych zmian było uelastycznienie pracy systemu przez bezpośredni kontakt stacji pomiarowej z centralnym serwerem, ograniczenie obsługi przez operatora, wykorzystanie bezprzewodowej łączności internetowej oraz gromadzenie danych na serwerze z możliwością dostępu do nich w każdej chwili bez konieczności nawiązywania połączenia ze stacją pomiarową. Wprowadzenie nowych układów elektronicznych pozwoliło również na zdalne prowadzenie serwisu i dokonywanie zmian w oprogramowaniu stacji pomiarowych. Zaproponowany nowy model KSMD spotkał się z dużym zainteresowaniem i już większość pracujących systemów została poddana modernizacji w 2012 roku, a kolejne modernizacje są przewidziane w roku 2013.

Podstawowym ogniwem systemu jest Kopalniana Stacja Pomiaru Drgań, KSPD (rys. 7), wyposażona w 3-osiowy miernik prędkości drgań oraz szereg układów przetwarzania i gromadzenia danych pomiarowych. Integralną częścią stacji jest modem GSM/GPRS automatycznie przesyłający zebrane pomiary do serwera KSMD zlokalizowanego w AGH, w Krakowie z wykorzystaniem sieci APN (ang. *Access Point Name*). Serwis internetowy służy do zarządzania stacjami oraz pomiarami przez nie wykonywanymi. Za jego pomocą można przeglądać wykonane pomiary, generować raporty, zarządzać urządzeniami, budynkami oraz użytkownikami systemu. Dostęp do serwisu zabezpieczony jest za pomocą nazwy użytkownika oraz hasła [2].



Rys. 6. Kopalniana Stacja Monitoringu Drgań – model 2012



Rys. 7. Kopalniana Stacja Pomiaru Drgań – model 2012

Po zalogowaniu się do systemu można wykonać następujące operacje: sprawdzić stan stacji łącznie z stanem akumulatora, włączyć czuwanie, wyłączyć czuwanie, wyświetlić analizy dla danego budynku, wymusić ponowne uruchomienie stacji.

Najważniejszą zaletą nowego systemu jest gromadzenie danych pomiarowych na serwerze – stacja pomiarowa KSPD po zapisaniu zdarzenia w pamięci automatycznie nawiązuje kontakt i przesyła dane do serwera. W przypadku wystąpienia problemów z łącznością, transmisja danych jest ponawiana aż do skutecznego przekazania danych (do momentu kiedy nie otrzyma informacji zwrotnej od serwera, że wyniki zostały zapisane). Jest to bardzo ważne, gdyż KSPD nie przechowuje danych tylko serwer KSMD. W efekcie operator systemu, w zakresie prowadzenia analiz czy korzystania z bazy danych, współpracuje tylko z serwerem. Podstawowe funkcje analityczne proponowane przez KSMD:

- raport oceny oddziaływania drgań na obiekt dla pojedynczego zdarzenia (rys. 8),
- analiza przebiegów drgań (rys. 9),
- analiza z zastosowaniem skal SWD dla pojedynczego zdarzenia i za dany okres czasu (rys. 10),
- eksportowanie danych w formie pełnych zapisów drgań jak i danych z bazy dokonywania specjalistycznych analiz i ocen.

Data wydruku: 2012-09-02 19:57:17

Kopalniany System Monitoringu Drgan

# Raport oceny

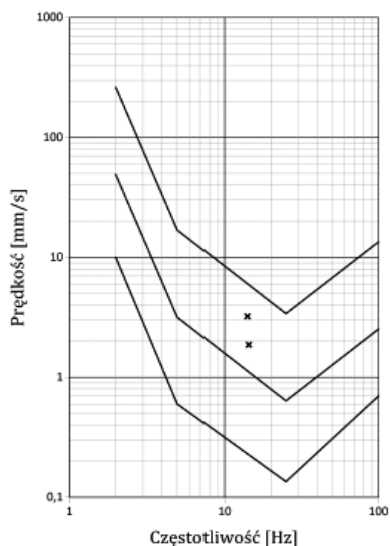
z dnia 2012-08-09 13:35:27

## Dane budynku

**Adres:**  
**Właściciel:** Teresa Stachura  
**Data inwentaryzacji:**  
**Stan techniczny:** dobry  
**Rok konstrukcji:**  
**Materiał:** cegła  
**Ilość kondygnacji:** 2  
**Strop:** betonowy  
**Fundament/piwnica:** Nie/Tak

## Dane pomiaru

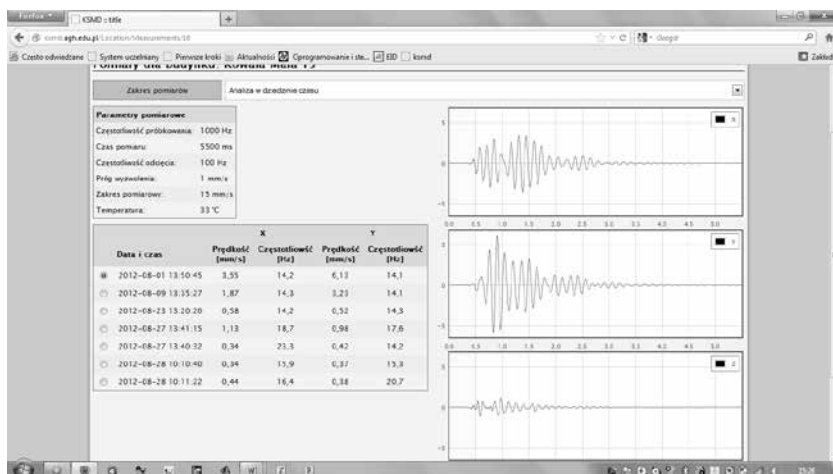
**Numer seryjny stacji:** 009701  
**Częstotliwość próbkowania:** 1000 Hz  
**Czas pomiaru:** 5500 ms  
**Próg odcięcia filtra:** 100 Hz  
**Zakres pomiarowy:** 15 mm/s  
**Temperatura:** 32,0 °C



## Pomiary

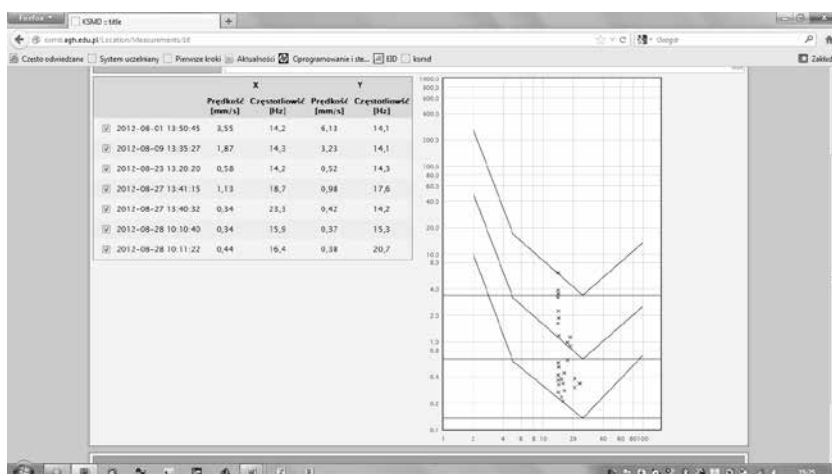
	Częstotliwość [Hz]	Prędkość [mm/s]
X	14,3	1,87
Y	14,1	3,23

Rys. 8. KSMD – raport oceny pojedynczego zdarzenia



Rys. 9. KSMD - analiza drgań w dziedzinie czasu





Rys. 10. KSMD – ocena oddziaływania drgań zaabrany okres czasu

Zalety nowego systemu KSMD:

- ciągły pomiar drgań w obiekcie budowlanym,
- nieograniczona pamięć,
- automatyczna transmisja danych na serwer,
- stała łączność z serwerem,
- automatyzacja procesu uruchamiania stacji,
- możliwość kontaktu z dowolnego punktu na Ziemi,
- archiwizacja pełnych przebiegów do szczegółowych danych,
- archiwizacja raportów i ocen oddziaływania,
- wizualizacja przebiegów drgań w czasie i wyników na skali SWD,
- raportowanie po każdym zdarzeniu.

#### 4. Podsumowanie

Dokumentowanie oddziaływania robót strzałowych na otoczenie jest rozwiązaniem, które pozwala na:

- zbieranie bieżących informacji dla dozoru, o intensywności drgań wzbudzanych robotami strzałowymi,
- prowadzenie kontroli oddziaływania drgań na obiekty,
- tworzenie bazy danych, do której można zawsze sięgnąć w celu przedstawienia dowodów w sprawie o odszkodowanie,
- dokonywanie bieżących korekt w warunkach ograniczających prowadzenie robót strzałowych.

Stosowany w zakładach górniczych system KSMD, który został zbudowany przy współdziałaniu finansowym kopalń odkrywkowych, był stopniowo modernizowany dzięki czemu aktualnie jest nowoczesnym systemem wykorzystującym nowe technologie w zakresie pomiarowym, analitycznym i łączności bezprzewodowej. System powstał jako narzędzie dla dozoru ruchu, umożliwiając bieżącą kontrolę oddziaływania robót strzałowych na zabudowania w otoczeniu.

Monitorowanie umożliwia nadzorowanie poziomu wzbudzanych drgań i szybkie reagowanie na występujące przekroczenia.

KSMD po modernizacji umożliwia dostęp do urządzeń pomiarowych z dowolnego punktu, sterowanie aparaturą pomiarową, natychmiastowy podgląd zarejestrowanego zdarzenia i szybką ocenę oddziaływania.

## Literatura

- [1] Biessikirski R., Winzer J., *Działalność profilaktyczna w kopalniach odkrywkowych – Oddziaływanie robót strzałowych na otoczenie*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie. 10, 98 (2002), Katowice.
- [2] Pyra J., Sołtys A., Winzer J., *Skomputeryzowane systemy do dokumentowania oddziaływania robót strzałowych na otoczenie kopalń odkrywkowych*. Konferencja „Bezpieczeństwo Robót Strzałowych”, Ustroń 10-12 październik 2012.
- [3] Biessikirski R. Winzer J., Sieradzki J., *Kopalniana Stacja Monitoringu Drgań (KSMD)*. Konferencja „Technika strzelnicza w górnictwie”, Jaszowiec 2001.
- [4] Onderka Zb., Biessikirski R., Sieradzki J., Winzer J., *KSMD – system do monitorowania drgań powodowanych robotami strzelniczymi w otoczeniu kopalń odkrywkowych*. Wyd. IGSMiE PAN – Warsztaty 2002, Kraków 2002.
- [5] Sieradzki J., *Kopalniany system monitoringu drgań*. Krajowy Kongres Górnictwa Skalnego, Kielce 1997.
- [6] PN-B-02170:1985: *Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki*
- [7] Winzer J., *Dokumentowanie oddziaływania robót strzałowych na otoczenie kopalń odkrywkowych*. Górnictwo Odkrywkowe. 5-6, (2006) Wrocław.
- [8] Biessikirski R., Winzer J., *Organizacja centralnego systemu dokumentowania oddziaływania robót strzałowych na otoczenie*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie. 3 (2010), WUG, Katowice.