KOPALNIANA STACJA MONITORINGU DRGAŃ KSMD APN

VIBRATION MONITORING STATION MINE KSMD APN

**Józef Pyra, Anna Sołtys, Jan Winzer - Katedra Górnictwa Odkrywkowego,
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza**

W wyniku prac badawczych prowadzonych w Katedrze Górnictwa Odkrywkowego opracowano oryginalną metodykę dokumentowania oddziaływania robót strzałowych w otoczeniu kopalń odkrywkowych. Jednym z elementów tych prac było zbudowanie komputerowego systemu monitorowania drgań, który znalazł zastosowanie w kopalniach, jako Kopalniana Stacja Monitoringu Drgań KSMD. Modernizację systemu przeprowadzono w 2012 roku, co skłoniło Autorów do podsumowania jego dwuletniej pracy. W artykule zwrócono uwagę na możliwości analityczne i archiwizacyjne systemów, w postaci bieżącej oceny wpływu drgań na obiekty oraz dokumentowanie poziomu oddziaływania w sposób ciągły. Doświadczenia wynikające z kilkuletniej pracy systemu pozwalają na wskazanie korzyści jak i niedociągnięć, które stanowiły podstawę do wprowadzenia zmian konstrukcyjnych i programowych.

Słowa kluczowe: *górnictwo odkrywkowe, technika strzelnicza, system monitoringu drgań, oddziaływanie drgań*

As a result of researches conducted at the Department of Opencast Mining the original methodology of the impact of blasting works on the open pit mine's surrounding was developed. One element of this work was to develop a computer system for ground vibrations monitoring. The developed system is known as The Mine Vibration Monitoring Station (KSMD). The KSMD is widely use in number of open pit mines. The system modernization was made in 2012, which led the authors to make a summarization of its two year's work. The article focuses on the analytical and archiving systems, in the form of ongoing assessment of the impact of vibration on the objects and documentation of the level of impact on a continuous basis. An experiences with several years of operation of the system allows to determine the benefits and shortcomings that were the basis for the introduction of design changes and software.

Key words: *open pit mining, blasting technique, ground vibration monitoring system, ground vibration influence*

Wprowadzenie

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 oddziaływania [3, 5, 10].

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 materiały wybuchowe 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.

Z postępem technicznym i technologicznym przyszły również zmiany organizacyjne i wprowadzenie wykonawstwa robót strzałowych przez specjalistyczne firmy 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):

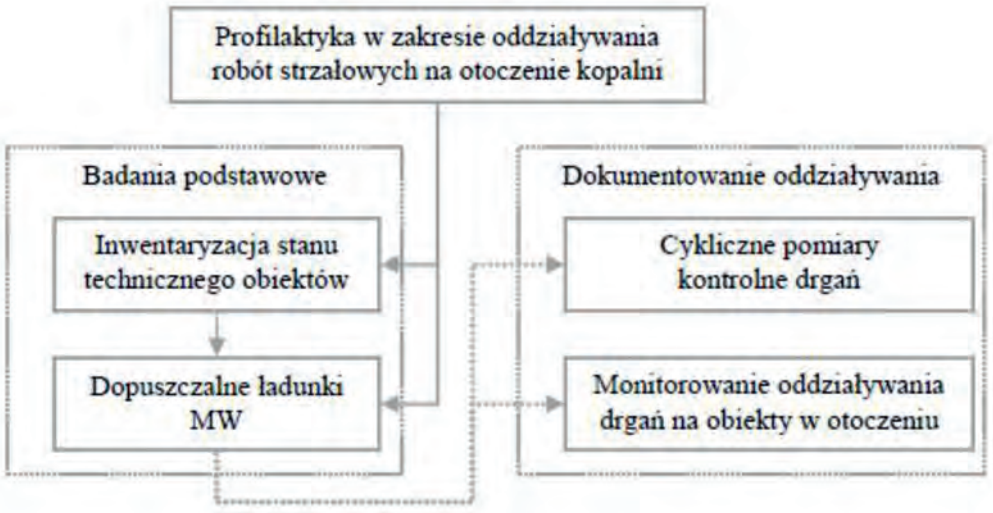
- badania podstawowe – inwentaryzacja stanu technicznego obiektów budowlanych w otoczeniu, przeprowadzenie

pomiarów intensywności drgań i wyznaczenie dopuszczalnych ładunków MW dla strzelania w lokalnych warunkach geologiczno-górniczych,
- dokumentowanie oddziaływania drgań na obiekty w otoczeniu przez cykliczne pomiary kontrolne lub stały monitoring intensywności drgań w wybranych obiektach budowlanych.

śnie dane pomiarowe do bardziej zaawansowanych analiz.

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

W roku 2002 została przygotowana do eksploatacji Kopalniana Stacja Monitoringu Drgań (KSMD) [2, 5, 9, 12]. W jej



Rys. 1. Działalność profilaktyczna kopalń odkrywkowych w zakresie oddziaływania [2, 12]
Fig. 1. Preventive activities of opencast mines in the effect of blasting

Monitoring oddziaływania drgań na otoczenie

Dokumentowanie oddziaływania przez 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.

Pod pojęciem monitoringu należy rozumieć ciągły pomiar drgań przez aparaturę samowłączającą się i archiwizującą 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, 9]:
- Mała Stacja Monitoringu Drgań – Explo 504,
- Kopalniana Stacja Monitoringu Drgań.

Explo 504 jest rejestratorem cyfrowym wyposażonym w trójosiowy miernik prędkości (rys. 2). Urządzenie to 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, który przygotowuje jednocze-

Rys. 2. Mała Stacja Monitoringu Drgań - Explo 504 [7]
Fig. 2. The small Vibration Monitoring Station Explo 504

konstrukcji (rys. 3) zastosowano takie same rozwiązania techniczne w zakresie pomiarowym (trójosiowe 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 [7]
Fig. 3. The Mine Vibration Monitoring Station (KSMD) - general view

Podstawowym założeniem modernizacji systemu pomiarowego było wprowadzenie transmisji danych z wykorzystaniem łączności radiowej, a później łączności GSM (łączność z wykorzystaniem telefonii komórkowej).

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. Niedogodnością 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.

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 w Katedrze Górnictwa Odkrywkowego. Laboratorium zgodnie z umowami podpisanymi z poszczególnymi kopalniami ma dostęp do wyników, prowadzi bieżącą kontrolę intensywności i ocenę oddziaływania drgań na poszczególne obiekty budowlane, sporządzając kwartalne raporty, jednocześnie archiwizując dane na serwerze [4].

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

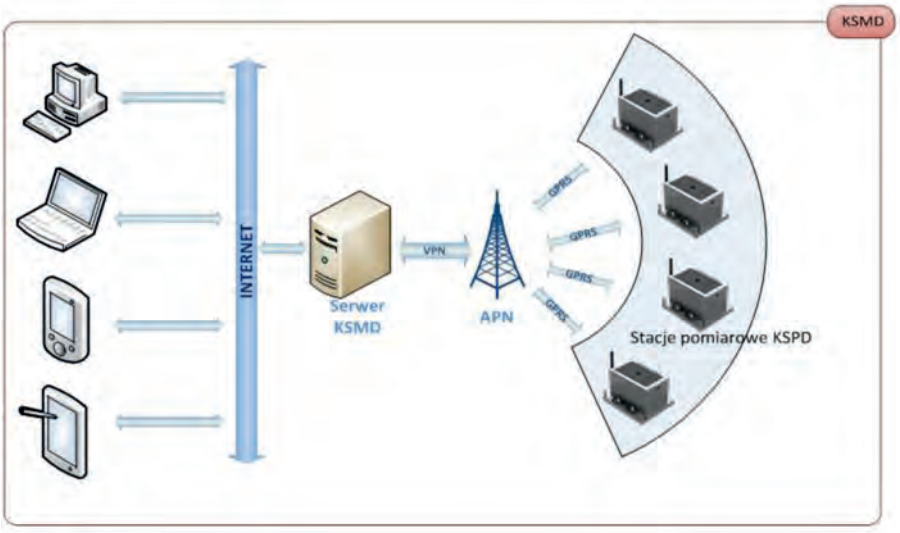
- w archiwum pracy KSMD,
- w raporcie końcowym,
- w bazie danych obiektów chronionych (wyniki pomiarów stanowią wtedy część składową informacji o obiekcie, w którym aktualnie jest zainstalowana stacja pomiarowa),
- mogą być również wysyłane do serwera centralnego, gdzie poddawane są szczegółowym analizom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

W roku 2012 w kopalniach pracowało 11 systemów KSMD, które wyposażone były w łączność z wykorzystaniem telefonii komórkowej. Łącznie 35 stanowisk pomiarowych w sposób ciągły rejestruje drgania wzbudzane robotami strzałowymi w kopalniach odkrywkowych.

Nowa wersja - KSMD APN

W 2011 została opracowana nowa wersja KSMD APN (rys. 4). 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. Większość pracujących systemów zostanie poddana modernizacji.

Podstawowym ogniwem systemu jest Kopalniana Stacja Pomiaru Drgań KSPD (rys. 5), wyposażona w trójosiowy miernik prędkości drgań oraz szereg układów przetwarzania i gromadzenia danych pomiarowych. Integralną częścią stacji jest modem GSM/GPRS automatycznie przesyłający zebra-



Rys. 4. Kopalniana Stacja Monitoringu Drgań APN – model 2012 [8]
Fig. 4. The Mine Vibration Monitoring Station APN - model 2012

ne pomiary do serwera KSMD zlokalizowanego w AGH, w Krakowie.

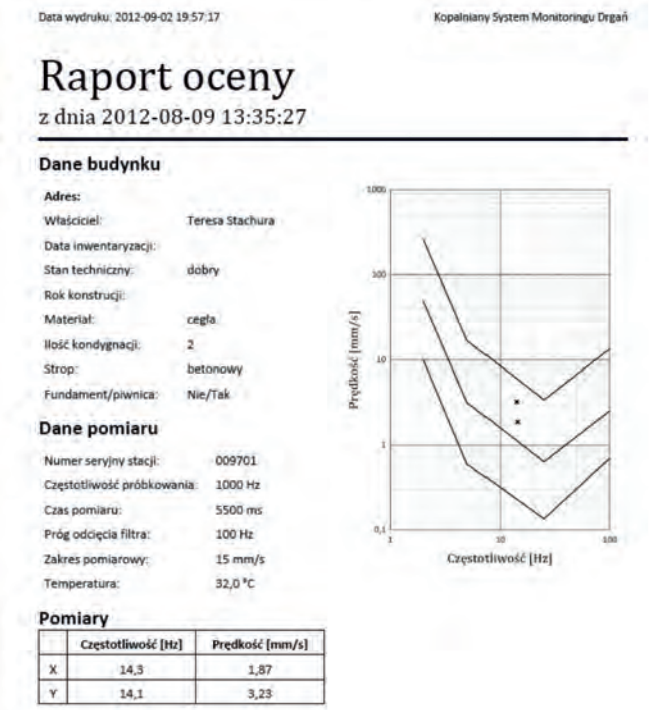
Serwis internetowy służy do zarządzania stacjami oraz pomiarami przez nie wykonywanymi. Za jego pomocą można przeglądać wykonane pomiary, generować raporty, zarządzać urządzeniami, budynkami oraz użytkownikami systemu. Dostęp do serwisu zabezpieczony jest za pomocą nazwy użytkownika oraz hasła.

Jeżeli użytkownik posiada uprawnienia, to po zalogowaniu się do systemu, może wykonać następujące operacje: sprawdzić stan stacji łącznie ze stanem akumulatora, włączyć czuwanie, wyłączyć czuwanie, wyświetlić analizy dla danego budynku, wymusić ponowne uruchomienie stacji.

Najważniejszą zaletą nowego systemu jest gromadzenie

Rys. 5. Kopalniana Stacja Pomiaru Drgań – model 2012 [8]
Fig. 5. The Mine Vibration Monitoring Station - model 2012

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. Jest to bardzo ważne, gdyż KSPD nie przechowuje danych tylko serwer KSMD. W efekcie operator systemu, w zakresie prowadzenia analiz czy korzysta-



Data wydruku: 2012-09-02 19:57:17 — Kopalniany System Monitoringu Drgań

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

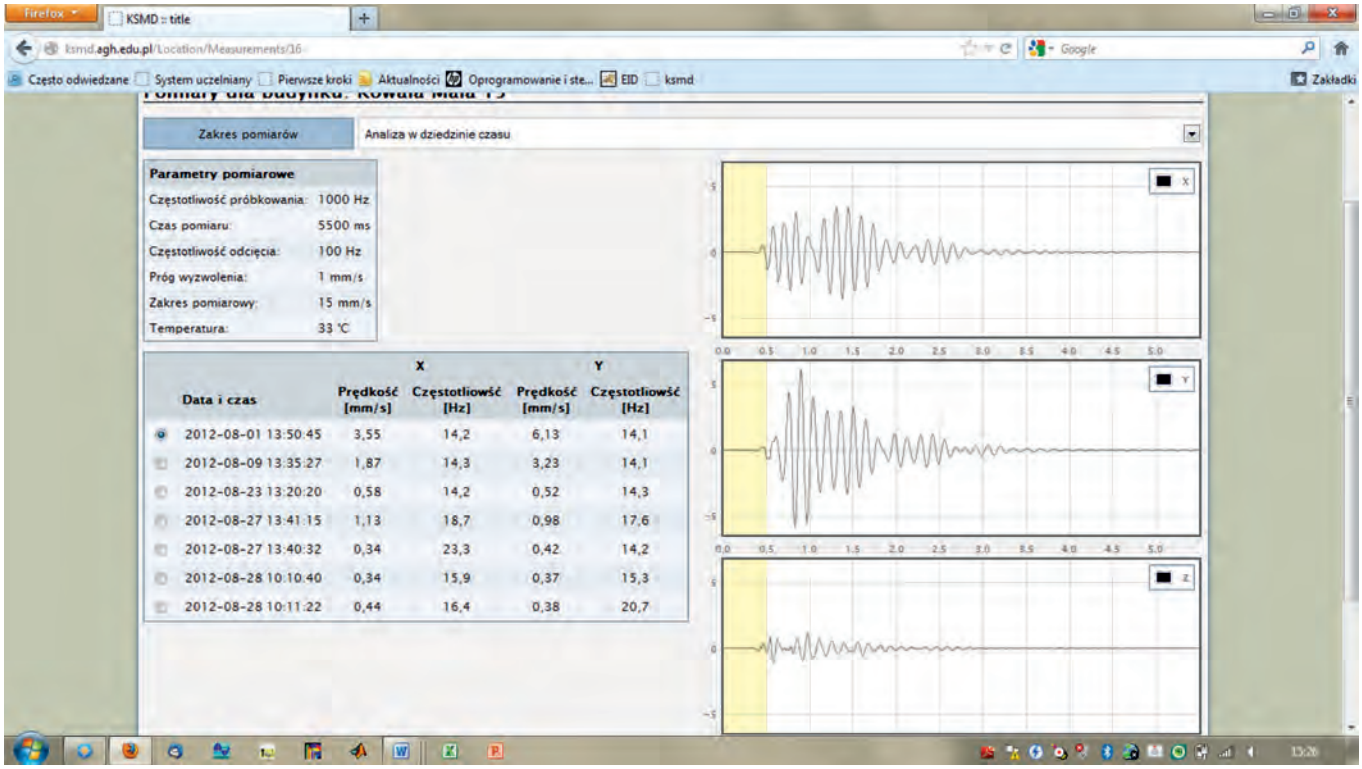
Rys. 6. KSMD APN – raport oceny pojedynczego zdarzenia
Fig. 6. KSMD APN - single-event evaluation report

nia z bazy danych, współpracuje tylko z serwerem.

Podstawowe funkcje analityczne proponowane przez KSMD:

- raport oceny oddziaływania drgań na obiekt dla pojedynczego zdarzenia (rys. 6),
- analiza przebiegów drgań (rys. 7),
- analiza z zastosowaniem skal SWD dla pojedynczego zdarzenia i za dany okres czasu (rys. 8),
- eksportowanie danych w formie pełnych zapisów drgań jak i danych z bazy dokonywania specjalistycznych analiz i ocen.

Zalety nowego sytemu KSMD:



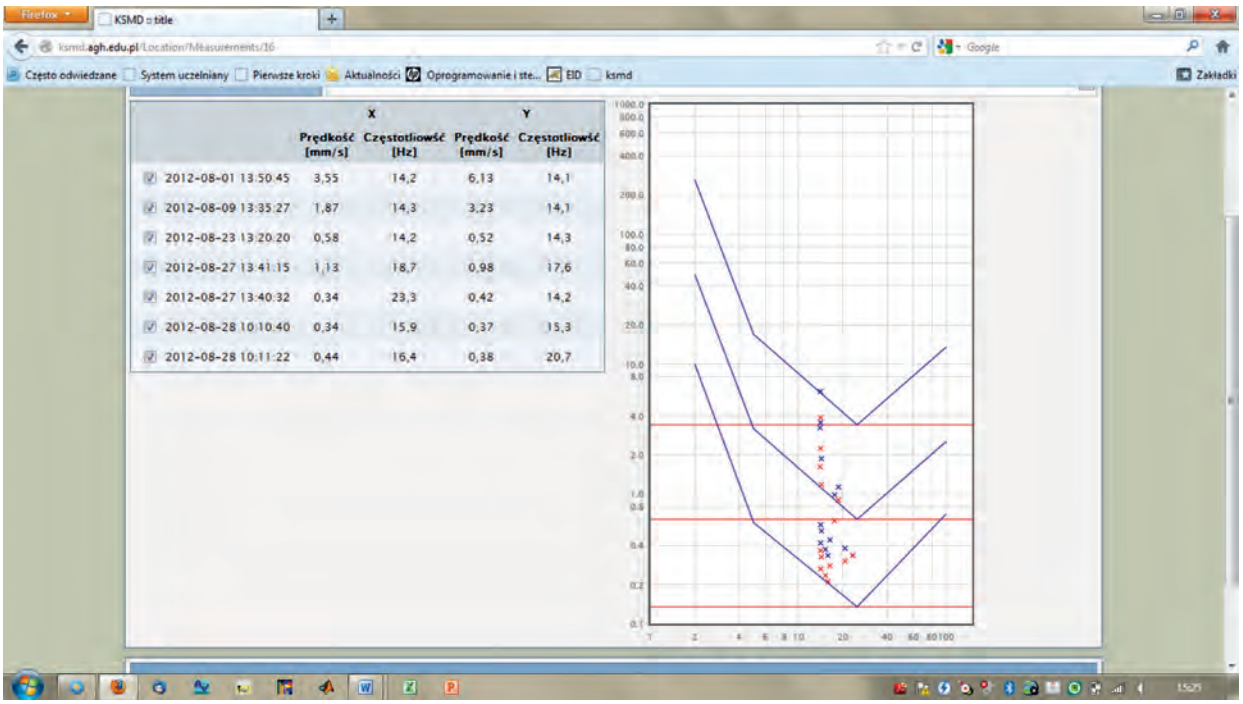
Zakres pomiarów | Analiza w dziedzinie czasu

Parametry pomiarowe

Częstotliwość próbkowania:	1000 Hz
Czas pomiaru:	5500 ms
Częstotliwość odcięcia:	100 Hz
Próg wyzwolenia:	1 mm/s
Zakres pomiarowy:	15 mm/s
Temperatura:	33 °C

	X		Y	
Data i czas	Prędkość [mm/s]	Częstotliwość [Hz]	Prędkość [mm/s]	Częstotliwość [Hz]
2012-08-01 13:50:45	3,55	14,2	6,13	14,1
2012-08-09 13:35:27	1,87	14,3	3,23	14,1
2012-08-23 13:20:20	0,58	14,2	0,52	14,3
2012-08-27 13:41:15	1,13	18,7	0,98	17,6
2012-08-27 13:40:32	0,34	23,3	0,42	14,2
2012-08-28 10:10:40	0,34	15,9	0,37	15,3
2012-08-28 10:11:22	0,44	16,4	0,38	20,7

Rys. 7. KSMD APN - analiza drgań w dziedzinie czasu
Fig. 7. KSMD APN - vibration analysis in the time domain



Rys. 8. KSMD APN – ocena oddziaływania drgań za wybrany okres czasu
Fig. 8. KSMD APN - vibration impact assessment for a selected period of time

- 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.

Aktualnie w 12 kopalniach odkrywkowych pracuje 37 punktów pomiarowych:

- model KSMD APN – 8 kopalń 20 KSPD,
- model KSMD GSM – 4 kopalnie 17 punktów pomiarowych.

Najstarsze konstrukcje Explo 504 i KSMD z łącznością radiową zostały wycofane z użycia. Dodać należy, że wszystkie kopalnie, które wprowadziły monitoring drgań, aktywnie współpracują przy modernizacjach.

Dwa lata pracy Systemu KSMD APN

Jak już wspomniano modernizację systemu KSMD przeprowadzono w roku 2012, dlatego jest okazja i możliwość podsumowania dwuletniego okresu pracy.

Podsumowanie działania systemu pomiarowo-analitycznego jest związane z realizacją celów jakie ma system do spełnienia. Jeżeli przyjmiemy, że celem zastosowania monitoringu jest kontrola oddziaływania robót strzałowych na zabudowania w otoczeniu oraz dokumentowanie tego oddziaływania dla poszczególnych obiektów, to podsumowanie powinno zawierać informację o liczbie wykonanych pomiarów, intensywności zarejestrowanych drgań oraz ocenę oddziaływania drgań na obiekty, w których stacje KSPD były zamontowane.

Łącznie wszystkie stacje pomiarowe KSMD ANP wykonały w okresie 2 lat (lata 2013 i 2014) 2614 pomiarów drgań wzbudzonych robotami strzałowymi w kopalniach odkrywkowych.

W tabeli 1 zestawiono liczbę pomiarów wykonanych przez stacje pomiarowe na poszczególnych kopalniach.

We wszystkich przypadkach stacje pomiarowe KSPD mocowane są do fundamentów budynków na wysokości poziomu terenu, czyli pomiar drgań dotyczy budynku, a nie podłoża w jego otoczeniu. To jest ważna informacja, gdyż normy innych krajów stawiają w tym zakresie określone ale różne wymagania.

Analizując intensywność zarejestrowanych drgań dla uzyskania ogólnego obrazu wydzielono zakresy pomiarowe i obliczono procentowy udział wyników pomiarów w każdym z tych zakresów. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 2.

Dla przykładu dokładniejszej analizie poddano wyniki pomiarów uzyskane przez stacje – kopalnia 3/stacja 2 i kopalnia 4/stacja 1. Na rysunku 9 i 10, dla wymienionych stacji pomiarowych, przedstawiono wizualizację wyników pomiarów na skali SWD-I (rys. 9a i 10a) oraz procentowy udział maksymalnych wartości prędkości w zakresach wskazanych w tabeli 2 (rys. 9b i 10b). Zastosowano wizualizację wyników pomiarów na dwóch wykresach, gdyż sama wartość maksymalna prędkości drgań, bez częstotliwości, ze względu na kształt linii granicznych skal SWD, nie daje pełnej informacji o oddziaływaniu. Jednocześnie należy mieć świadomość, że wyniki pomiarów, w postaci maksymalnych wartości prędkości drgań skorelowanych z częstotliwością, naniesione na skalę SWD nie stanowią oceny oddziaływania, a tylko obrazują skalę problemu i pozwalają na wstępne wnioskowanie, co do poziomu rejestrowanych drgań [8].

Jak wynika z rysunków 9 i 10 wartości maksymalne prędkości w większości znajdują się w II strefie skali SWD-I. Częstość występowania wyższych wartości prędkości (1 ÷ 3 % ogółu pomiarów) potwierdza regułę, że oddziaływania związane z robotami strzałowymi należy zaliczyć do zdarzeń sporadycznych.

Analizując dane zawarte w tabeli 2 i odnosząc je do klasy-

Tab. 1. Liczba pomiarów drgań wykonanych w okresie 2 lat na poszczególnych kopalniach
Tab. 1. The number of vibration measurements made during two years at the various mines

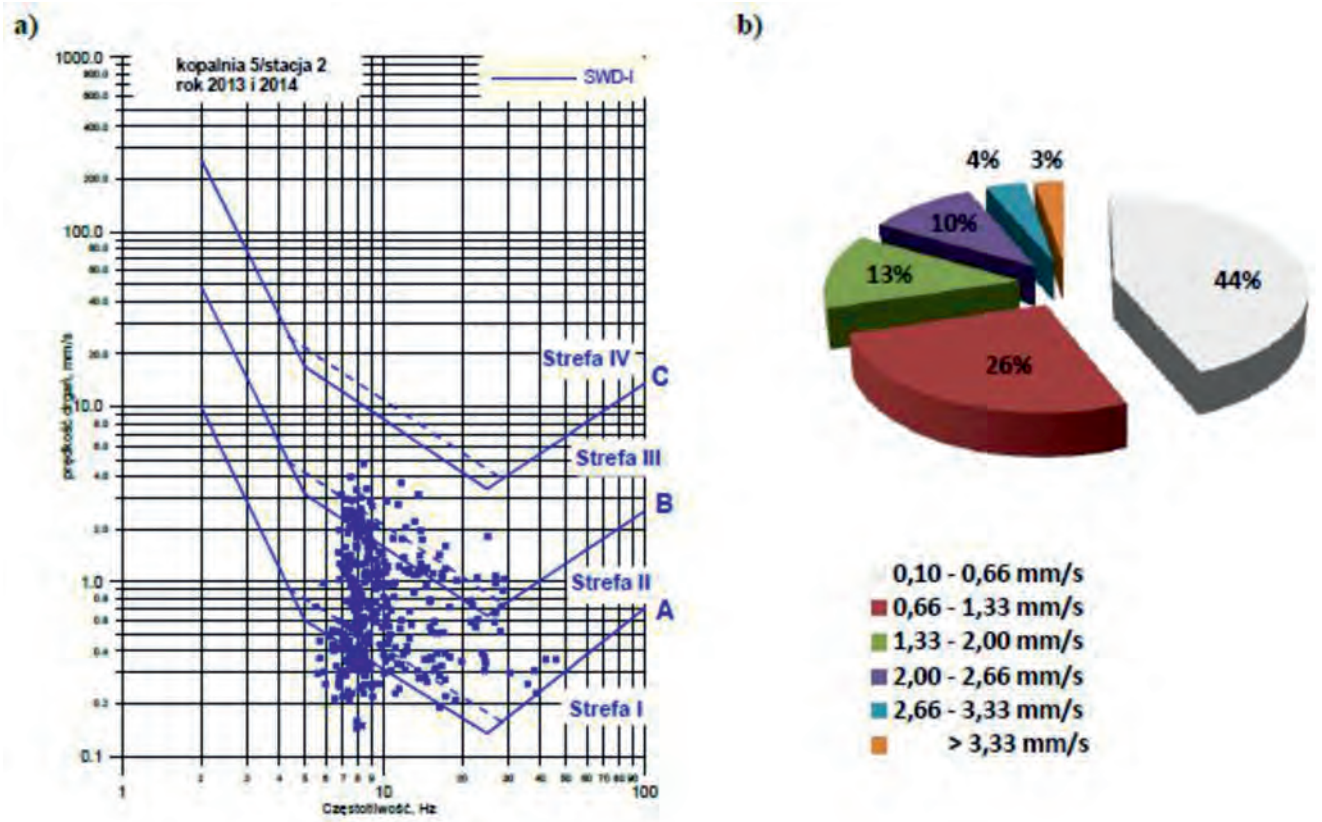
Kopalnia	Okres pracy	Nr stacji	Liczba pomiarów	Łącznie pomiarów w kopalni
Kopalnia 1	2013 ÷ 2014	stacja nr 1	123	568
		stacja nr 2	159	
		stacja nr 3	142	
		stacja nr 4	143	
Kopalnia 2	2013 ÷ 2014	stacja nr 1	88	523
		stacja nr 2	189	
		stacja nr 3	100	
		stacja nr 4	146	
Kopalnia 3	2013 ÷ 2014	stacja nr 1	249	635
		stacja nr 2	386	
Kopalnia 4	2013 ÷ 2014	stacja nr 1	205	205
Kopalnia 5	2013 ÷ 2014	stacja nr 1	173	358
		stacja nr 2	185	
Kopalnia 6	2014	stacja nr 1	94	94
Kopalnia 7	2013 ÷ 2014	stacja nr 1	70	231
		stacja nr 2	120	
		stacja nr 3	41	
Razem				2614

Tab. 2. Zakres zmienności wyników pomiarów dla poszczególnych stacji KSPD
Tab. 2. The range of the measurement results for each station KSPD

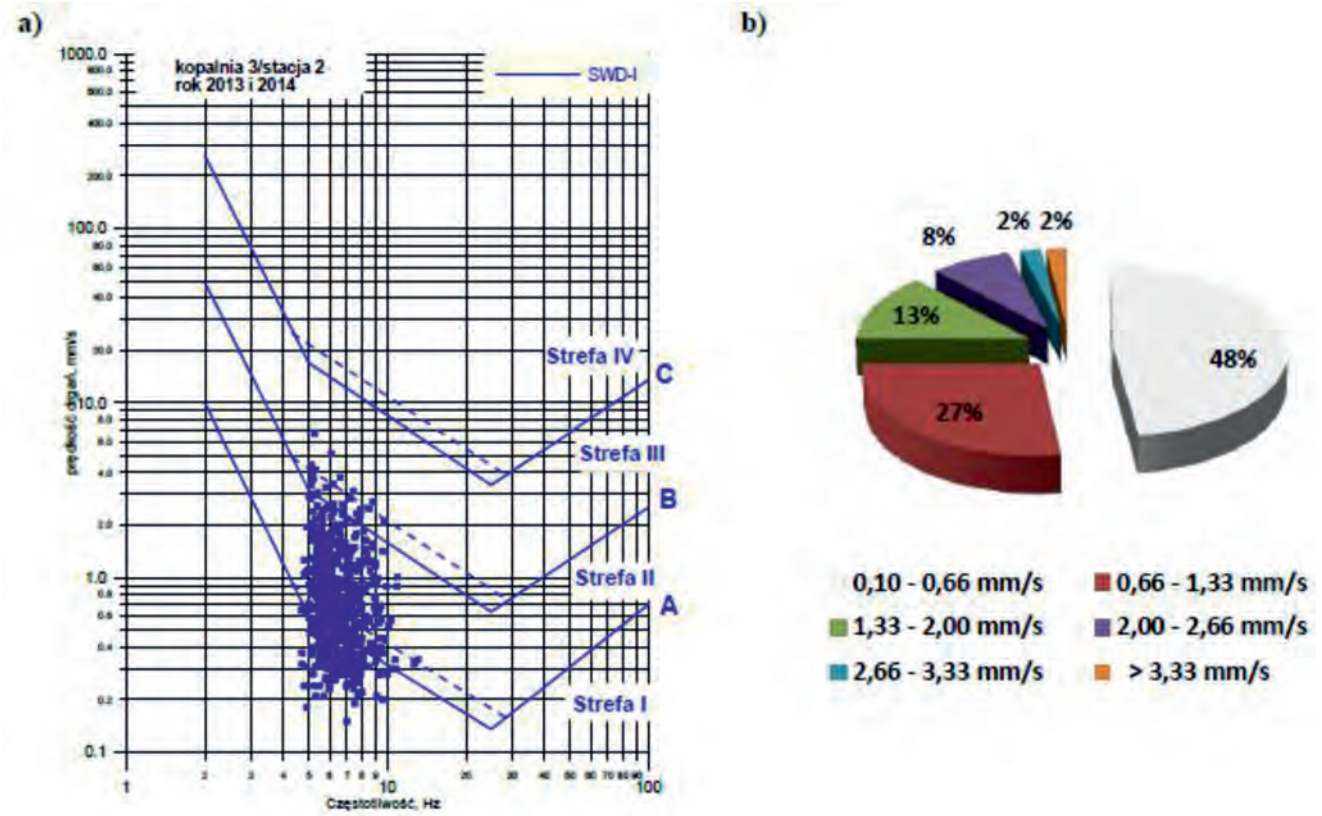
Kopalnia	Nr stacji	Liczba pomiarów	Zakres wartości prędkości drgań, mm/s					
			0,30 ÷ 0,66	0,67 ÷ 1,33	1,34 ÷ 2,00	2,01 ÷ 2,66	2,67 ÷ 3,33	> 3,33
Kopalnia 1	stacja nr 1	123	50 %	29 %	14 %	5 %	2 %	-
	stacja nr 2	159	33 %	64 %	3 %	-	-	-
	stacja nr 3	142	42 %	57 %	1 %	-	-	-
	stacja nr 4	143	93 %	7 %	-	-	-	-
Kopalnia 2	stacja nr 1	88	97 %	3 %	-	-	-	-
	stacja nr 2	189	37 %	42 %	16 %	3 %	2 %	-
	stacja nr 3	100	79 %	16 %	3 %	2 %	-	-
	stacja nr 4	146	70 %	26 %	3 %	1 %		
Kopalnia 3	stacja nr 1	249	49 %	49 %	21 %	9 %	4 %	2 %
	stacja nr 2	386	48 %	27 %	13 %	8 %	2 %	2 %
Kopalnia 4	stacja nr 1	205	56 %	26 %	8 %	5 %	2 %	2 %
Kopalnia 5	stacja nr 1	173	42 %	28 %	18 %	9 %	2 %	1 %-
	stacja nr 2	185	44 %	26 %	13 %	10 %	4 %	3 %
Kopalnia 6	stacja nr 1	94	37 %	53 %	10 %			
Kopalnia 7	stacja nr 1	70	100 %	-	-	-	-	-
	stacja nr 2	120	99 %	1 %	-	-	-	-
	stacja nr 3	41	100 %	-	-	-	-	-

fikacji odporności dla budynków w złym stanie technicznym [1], należy stwierdzić, że wszystkie budynki zachowały pełną odporność na wstrząsy.

Liczba wykonanych pomiarów i zakres mierzonych wartości jest informacją o podstawowym znaczeniu w każdym postępowaniu odszkodowawczym. Fakt, że większość zdarzeń jest udokumentowana w postaci pomiaru drgań, z których każdy może być podstawą do oceny oddziaływania na budynek i co najważniejsze tylko kilka (o najwyższej intensywności) z setek udokumentowanych zdarzeń miało charakter drgań odczuwalnych, ma bardzo istotne znaczenie dla opiniodawców, a w konsekwencji dla sądów. Dlatego też powinno się analizować wyniki pomiarów również pod kątem liczności rejestracji w poszczególnych zakresach wartości prędkości drgań. Efekt



Rys. 9. Wizualizacja wyników rejestracji dokonanych przez KSPD w budynku – kopalnia 5/stacja 2
Fig. 9. Visualization results by KSPD registrations in the building - mine 5/ station No. 2

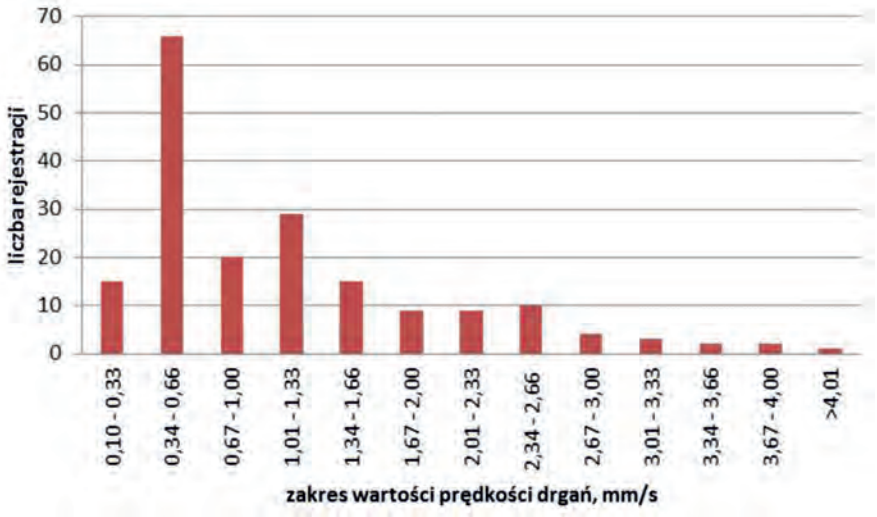


Rys. 10. Wizualizacja wyników rejestracji dokonanych przez KSPD w budynku – kopalnia 3/stacja 2
Fig. 10. Visualization results by KSPD registrations in the building - mine 3/ station No. 2

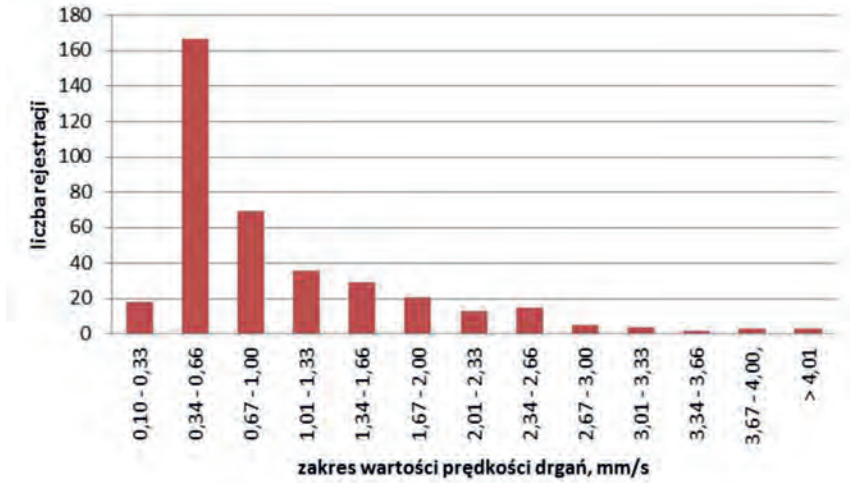
takiej analizy, dla omawianych przypadków, przedstawiono na rysunkach 11 i 12.

Jak widać zdecydowanie najwięcej jest rejestracji o wartościach w zakresie 0,34 do 0,66 mm/s.

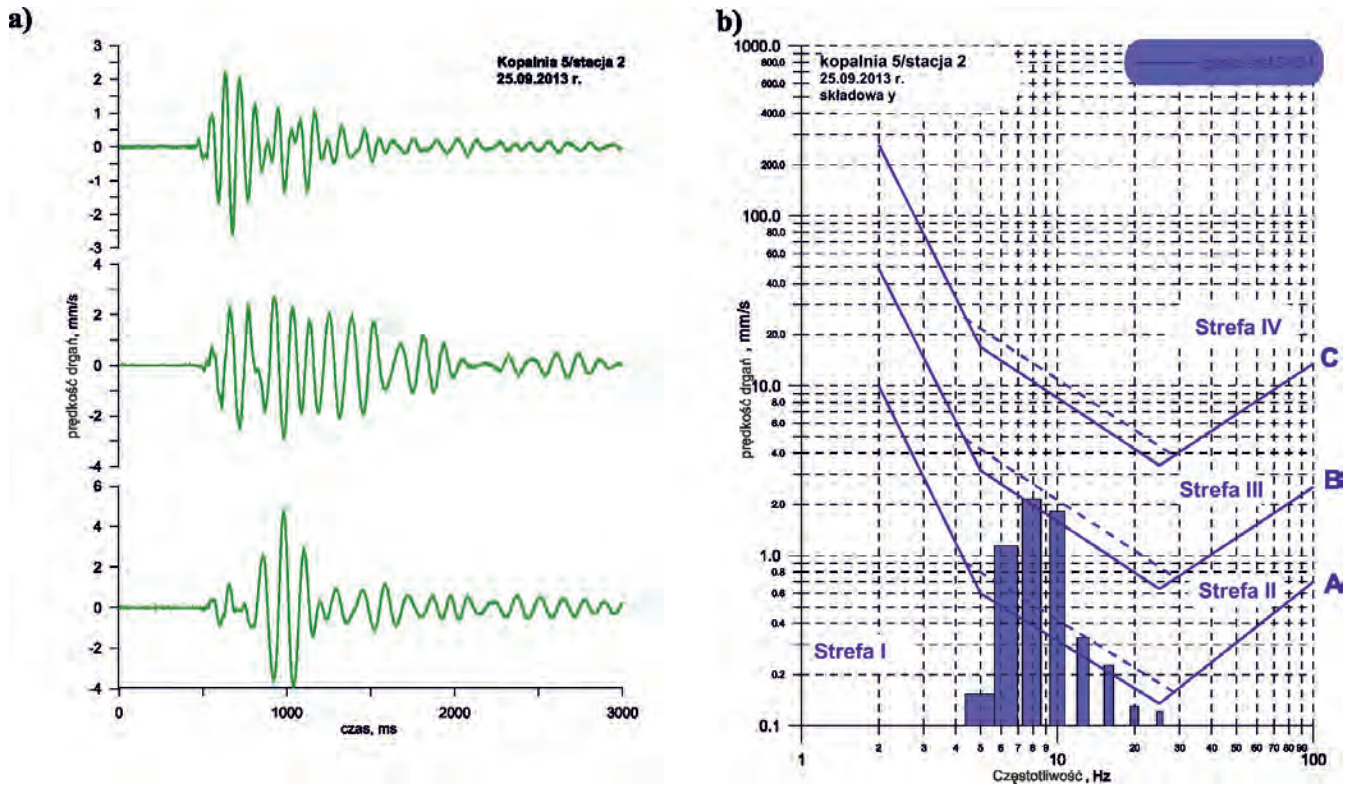
Jak już wspomniano, jednym z efektów prowadzenia monitoringu drgań, jest możliwość dokonania oceny oddziaływania drgań wzbudzanych robotami strzałowymi. Dla przykładu przedstawiono sejsmogramy drgań na rysunkach 13a i 14a oraz wynik oceny oddziaływania drgań na rysunkach 13b i 14b dla zdarzenia o najwyższej intensywności dla każdej ze stacji. Oce-



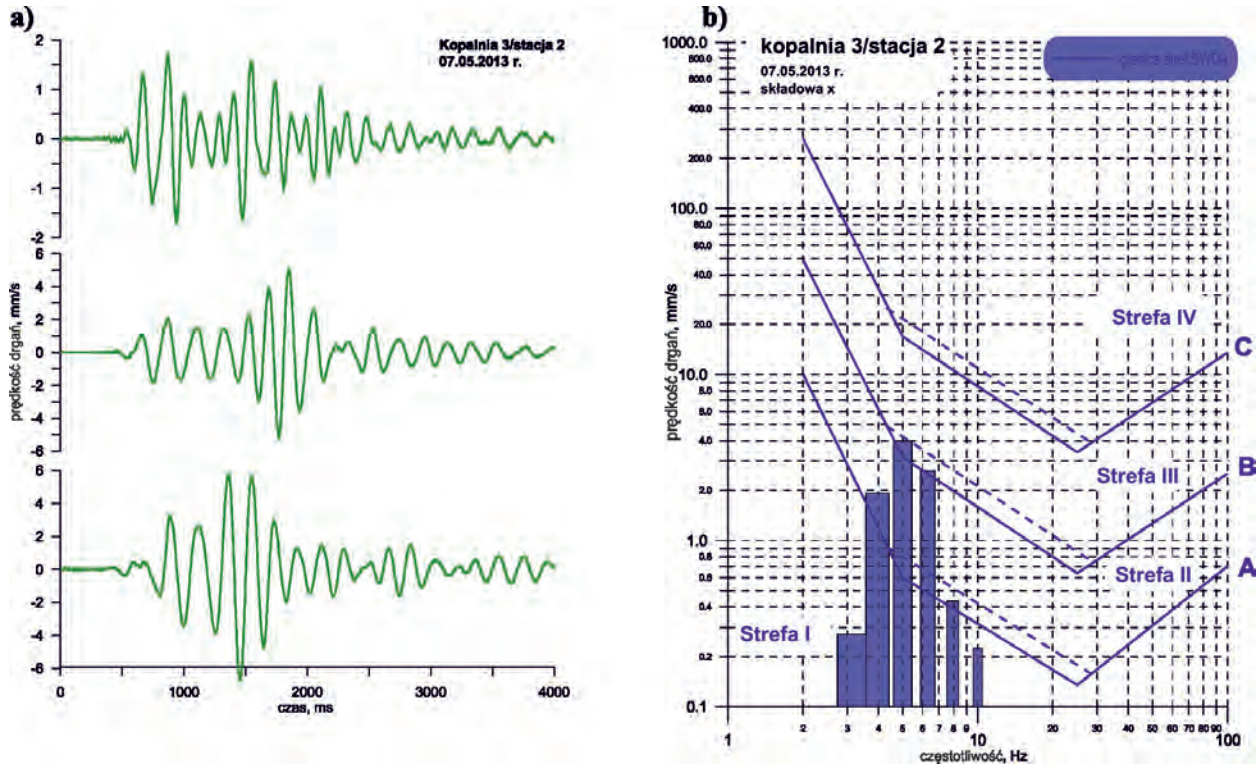
Rys. 11. Liczba rejestracji w poszczególnych zakresach wartości prędkości drgań – kopalnia 5/stacja nr 2
Fig. 11. The number of registrations in different ranges of velocity - mine 5/ station No. 2



Rys. 12. Liczba rejestracji w poszczególnych zakresach wartości prędkości drgań – kopalnia 3/stacja nr 2
Fig. 12. The number of registrations in different ranges of velocity - mine 3/ station No. 2



Rys. 13. Sejsmogram drgań o najwyższej intensywności oraz ocena pośrednia oddziaływania na obiekt budowlany – kopalnia 5/stacja nr 2
Fig. 13. Seismogram with the highest intensity of vibrations and assessment of the indirect impact of vibrations on the protected object - mine 5/ station No. 2



Rys. 14. Sejsmogram drgań o najwyższej intensywności oraz ocena pośrednia oddziaływania na obiekt budowlany – kopalnia 3/stacja nr 2
Fig. 14. Seismogram with the highest intensity of vibrations and assessment of the indirect impact of vibrations on the protected object - mine 3/ station No. 2

nę przeprowadzono zgodnie ze wskazaniami normy dla drgań impulsowych na podstawie pełnych przebiegów czasowych z zastosowaniem filtracji tercjowej (metoda pośrednia).

Jak wynika z rysunków 13 i 14 w obu przypadkach drgania należy zakwalifikować do pogranicza strefy II i III, ale biorąc pod uwagę fakt, że jest to pojedyncze zdarzenie w ciągu dwóch lat, z pełną odpowiedzialnością można stwierdzić, że oddziaływanie drgań wzbudzanych robotami strzałowymi na kopalni 3 i kopalni 5 było odczuwalne, ale nieszkodliwe dla obiektów w otoczeniu.

Analiza większej liczby pomiarów pozwala również na stwierdzenie jak ważną rolę w ocenie oddziaływania drgań na obiekty budowlane ma częstotliwość rejestrowanych drgań. Z rysunków 13 i 14 wynika, że oddziaływanie drgań na obiekty jest porównywalne, mimo że intensywność drgań w przypadku kopalni 3/stacja 2 jest dwukrotnie wyższa. Wynika to z faktu, że w strukturze drgań (kopalnia 5/stacja 2 - rys. 13) dominują częstotliwości 8 i 10 Hz, , a w drugim przypadku (rys. 14) częstotliwości 5 i 6 Hz. Analiza częstotliwościowa drgań wzbudzanych robotami strzałowymi jest podstawowym elementem oceny zarówno intensywności drgań jak i oceny oddziaływania tych drgań w otoczeniu.

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 odszkodowania,
- dokonywanie bieżących korekt w warunkach ograniczających prowadzenie robót strzałowych.

Stosowany w zakładach górniczych system KSMD, który został zbudowany przy współudziale 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.

W monitoringu drgań nic nie jest przypadkowe. Stała obecność aparatury pomiarowej w obiekcie chronionym pozwala na rejestrowanie również zdarzeń nie związanych z robotami strzałowymi. Zdarza się, że rejestrowane są wstrząsy indukowane działalnością kopalń podziemnych jak również drgania wzbudzane robotami strzałowymi w sąsiednich kopalniach odkrywkowych. Monitoring tworzy historię oddziaływania drgań pochodzących od czynników zewnętrznych (ruch komunikacyjny, praca wszelkiego rodzaju urządzeń – młyny, młoty wibracyjne itp.) jak i wewnętrznych (użycie wiertarki, rąbanie drewna, prace remontowe w obiektach itp.).

Dwa lata pracy systemu KSMD APN to 2614 dowodów na to, że kontrolowane roboty strzałowe prowadzone w kopalniach odkrywkowych mogą być nieszkodliwe dla zabudowań w otoczeniu.

Literatura

[1] Barański A., Kloc L., Kowal T., Mutke G., *Górnicza Skala Intensywności Drgań GSIGZWKW-2012 w odniesieniu do odporności dynamicznej budynków.* Konferencja – Oddziaływanie wstrząsów górniczych na obiekty budowlane i infrastrukturę. Politechnika Krakowska. Kraków 2014

[2] Biessikirski R. Winzer J., Sieradzki J., *Kopalniana Stacja Monitoringu Drgań (KSMD) - Konferencja* - Technika strzelnicza w górnictwie, Jaszowiec 2001

[3] 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 2002

[4] Biessikirski R., Winzer J., *Organizacja centralnego systemu dokumentowania oddziaływania robót strzałowych na otoczenie.* Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie WUG 3/2010

[5] Onderka Z., 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

[6] PN-B-02170:1985, *Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki*

[7] Pyra J., Sołtys A., Winzer J., *Skomputeryzowane systemy do dokumentowania oddziaływania robót strzałowych na otoczenie kopalń odkrywkowych.* Bezpieczeństwo Robót Strzałowych – Główny Instytut Górnictwa. Katowice 2012

[8] Pyra J., Sołtys A., Winzer J, *Monitoring drgań jako skuteczne narzędzie do kontrolowania oddziaływania na obiekty.* Mat. Konferencja – Technika Strzelnicza w Górnictwie i Budownictwie. Ustroń 2013

[9] Sieradzki J., *Kopalniany system monitoringu drgań - Krajowy Kongres Górnictwa Skalnego Kielce '97.* Kielce 1997

[10] Winzer J., *Dokumentowanie oddziaływania robót strzałowych na otoczenie kopalń odkrywkowych.* Górnictwo Odkrywkowe 5-6, Wrocław 2006

[11] Winzer J., Sieradzki J.:, *Monitorowanie oddziaływania robót strzałowych na obiekty w otoczeniu.* Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 9 (157)/I/2007. Katowice 2007

[12] Winzer J., Sieradzki J., Sołtys A., *Dokumentowanie oddziaływania robót strzałowych na otoczenie kopalń odkrywkowych.* Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie WUG 4 (164)/2008. Katowice 2008

fot. Michał Duczmal

Z cyklu:"Piękno zaklęte w skale" (Andy - Chile)