

# Monitoring drgań wzbudzanych robotami strzałowymi – 2 lata pracy zautomatyzowanego systemu pomiarowego KSMD

## Monitoring vibrations induced by blasting works - 2 years of work of the automated measuring system KSMD



*Dr inż. Józef Pyra\**



*Dr inż. Anna Soltys\**



*Dr inż. Jan Winzer\**

**Treść:** 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. Podsumowanie to zawiera informacje o liczbie wykonanych pomiarów, intensywności zarejestrowanych drgań oraz ocenę oddziaływania drgań na obiekty budowlane, dowodząc, że roboty strzałowe wykonywane w kopalniach odkrywkowych, tam gdzie prowadzona jest świadoma działalność profilaktyczna, nie są szkodliwe dla zabudowań w otoczeniu.

**Abstract:** 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 used in a number of open pit mines. The system was modernized in 2012, which led the authors to make a summary of its two year's work. This summary contains information about the number of measurements taken, the intensity and the impact of ground vibration recorded on housing structures and also proofs that blasting works performed in open-pit mines, where the preventive activity was implemented, are not harmful to the housing structures which are in close proximity to the open pit mine.

### **Słowa kluczowe:**

*górnictwo odkrywkowe, technika strzelnicza, system monitoringu drgań, oddziaływanie drgań*

### **Key words:**

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

## **1. Wprowadzenie**

Detonacja ładunków materiału wybuchowego (MW) podczas wykonywania robót strzałowych w kopalniach odkrywkowych surowców skalnych wzbudza drgania, które mogą powodować szkodliwe oddziaływanie na obiekty budowlane w otoczeniu. Kopalnie prowadzą więc działania skierowane z jednej strony na wyznaczenie warunków bezpiecznego dla otoczenia wykonywania robót strzałowych, a z drugiej strony na dokumentowanie poziomu tego oddziaływania.

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.

Zmiany te nie rozwiązują wszystkich problemów 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.

\* ) AGH w Krakowie

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.

Wielość czynników mających wpływ na rzeczywisty poziom wzbudzonych drgań powoduje, że koniecznością jest prowadzenie okresowych badań kontrolnych lub monitoringu drgań. Zarówno badania kontrolne jak monitoring należą do działań służących dokumentowaniu oddziaływania na otoczenie [9, 12].

Okresowe badania kontrolne pozwalają na sprawdzenie wspomnianej już skuteczności prognozy intensywności drgań. Wychodząc z równania propagacji i uwzględniając przyjęte ograniczenia, można dla każdego punktu w otoczeniu wyrobiska górniczego, biorąc pod uwagę masę ładunku MW i odległość do miejsca wykonywania robót strzałowych, określić intensywność drgań – czyli dokonać prognozy intensywności drgań dla danego strzelania. Wykonanie pomiarów i porównanie wartości zmierzonych z prognozowanymi pozwala na oszacowanie skuteczności prognozy, a więc stwierdzenie czy wyprowadzone wcześniej zależności zachowują aktualność.

Drugą, ale równie ważną częścią badań kontrolnych jest wykonanie pomiarów drgań w samych obiektach budowlanych i na tej podstawie dokonanie oceny oddziaływania drgań, zgodnie z określonymi procedurami i normami.

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

Ważnym elementem systemów monitorujących jest oprogramowanie, które pozwala na przeprowadzenie szybkiej analizy intensywności drgań oraz dokonanie oceny skali wpływu drgań na obiekt budowlany.

Pytanie, czy należy mierzyć prędkość czy przyspieszenie? Praktycznie wszystkie normy i skale obowiązujące w krajach europejskich odnoszą się do prędkości w przypadku oceny oddziaływania drgań wzbudzonych robotami strzałowymi. Obecnie również w Polsce uznano, że dobrą korelację oceny skutków drgań uzyskuje się przy wykorzystaniu prędkości drgań [1], gdyż to ona określa energię przekazywaną na obiekt, a ta z kolei może być miarą uszkodzeń występujących w budynku [11]. Najlepszym tego przykładem są skale GSI, stosowane w ocenach wstrząsów górniczych, w których za parametr oceny przyjęto prędkość drgań z uwzględnieniem czasu ich trwania [5]. Dotychczas w większości przypadków, w rejonach występowania wstrząsów górniczych, mierzono przyspieszenie, dlatego też do analizy zdarzeń archiwalnych przystosowana została skala GSI w wersji przyspieszeniowej [1]. Na dzień dzisiejszy należy uznać, że do pomiarów

intensywności drgań wzbudzonych robotami strzałowymi należy używać mierników prędkości, a nie przyspieszenia.

Najwięcej kontrowersji wzbudza ocena oddziaływania drgań na obiekty budowlane. Czy do oceny stosować polską normę [7], czy może skale GSI, czy może opierać się na normach stosowanych w innych krajach? Na to pytanie powinni odpowiedzieć specjaliści z zakresu budownictwa. Niewątpliwie polska norma wymaga nowelizacji i unowocześnienia. Można spotkać interpretacje normy i oceny oddziaływania opracowywane przez specjalistów z uprawnieniami budowlanymi, które, delikatnie mówiąc, budzą mieszane uczucia.

Poważnym mankamentem normy jest brak jednoznaczności, szczególnie w ocenie drgań wzbudzonych przy robotach strzałowych, a więc drgań o charakterze impulsowym oraz brak w normie skali w wersji prędkościowej. Co ciekawe, w normie ujęte są filtry korekcyjne dla prędkości i przyspieszenia, a skale SWD dla przemieszczenia i przyspieszenia.

W Katedrze Górnictwa Odkrywkowego AGH, ze względu na dużą liczbę prac realizowanych w oparciu o skale SWD, opracowano wersję prędkościową, która prezentowana była w wielu publikacjach (rys. 1) [3, 8, 9]. Zastanawia czasem kształt linii oddzielających poszczególne strefy, tak różny od linii prezentowanych przez inne skale, czemu tak silna jest preferencja dla drgań o niskiej częstotliwości, skoro w innych normach jest dokładnie odwrotnie. Trudno jest znaleźć na to pytanie odpowiedź nawet w publikacjach Autorów normy.

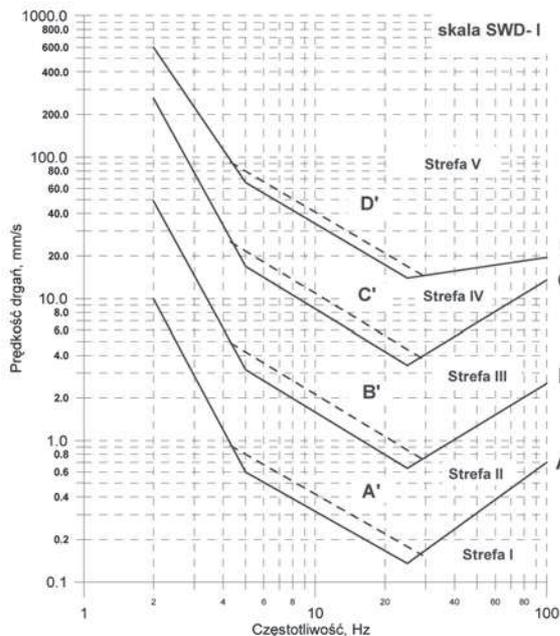
Stosowanie przez lata skal SWD do oceny oddziaływania robót strzałowych na zabudowania w otoczeniu kopalń odkrywkowych pozwoliło zdobyć doświadczenia, które upoważniają do wygłoszenia tych krytycznych uwag co może spowoduje podjęcie merytorycznej dyskusji o normie, o oddziaływaniu drgań parasejsmicznych. Może pozwoli na opracowanie nowych wytycznych, co do warunków stosowania skal SWD w przypadku zdarzeń sporadycznych, jakimi są drgania pochodzące od robót strzałowych.

Podsumowując należy stwierdzić, że monitoring drgań wzbudzonych robotami strzałowymi prowadzonymi w kopalniach odkrywkowych, jest niezbędny wszędzie tam, gdzie oddziaływanie na zabudowania jest odczuwalne i może stanowić przedmiot skarg okolicznych mieszkańców. Udokumentowane oddziaływanie w większości przypadków wybroni się przed uznaniem za szkodliwe.

## 2. Monitoring oddziaływania drgań na otoczenie

Monitoring drgań wzbudzonych w czasie robót strzałowych był przedmiotem badań i projektów prowadzonych w Katedrze Górnictwa Odkrywkowego AGH od roku 1996 [10] i realizowanych przy współpracy z przemysłem. Efektem prac było wprowadzenie do praktyki górniczej aparatury spełniającej funkcje pomiarowe i analityczne. Przy projektowaniu pierwszego systemu pomiarowego założono, że pomiar drgań musi być uzupełniony oceną oddziaływania z zastosowaniem polskiej normy. Dlatego też system został wyposażony w oprogramowanie, umożliwiające stosowanie filtrów korekcyjnych (zgodnych z normą PN-B-2170:1985), co pozwalało na ocenę oddziaływania bezpośrednio po pomiarze. Praktycznie ta procedura pracy systemu jest w dalszym ciągu realizowana, oczywiście z uwzględnieniem nowych możliwości analitycznych i graficznych. Współpraca Katedry z firmą Exploconsult, a potem również z firmą A-STER, pozwoliła na szybki rozwój systemu, aż do w pełni zautomatyzowanego [8] [9].

W górnictwie odkrywkowym, do monitorowania drgań wzbudzonych robotami strzałowymi, znalazły zastosowanie następujące systemy pomiarowe [2, 4, 13, 14]:



Rys. 1. Skala SWD-I i SWD II (wersja prędkościowa)

*Opracowanie własne*

Fig. 1. SWD-I and SWD-II scale (the velocity version)

*Own development*

- Mała Stacja Monitoringu Drgań – Explo 504,
- Kopalniana Stacja Monitoringu Drgań.

Explo 504 (rys. 2) jest to rejestrator cyfrowy wyposażony w trójskładowy miernik prędkości. Urządzenie umożliwia bieżącą kontrolę wyników pomiarów przez bezpośredni odczyt z wyświetlacza wartości maksymalnych i korygowanych zgodnie z normą [7] oraz transmisję danych w postaci pełnych przebiegów czasowych dla umożliwienia dokładnej analizy.



Rys. 2. Mała Stacja Monitoringu Drgań Explo 504

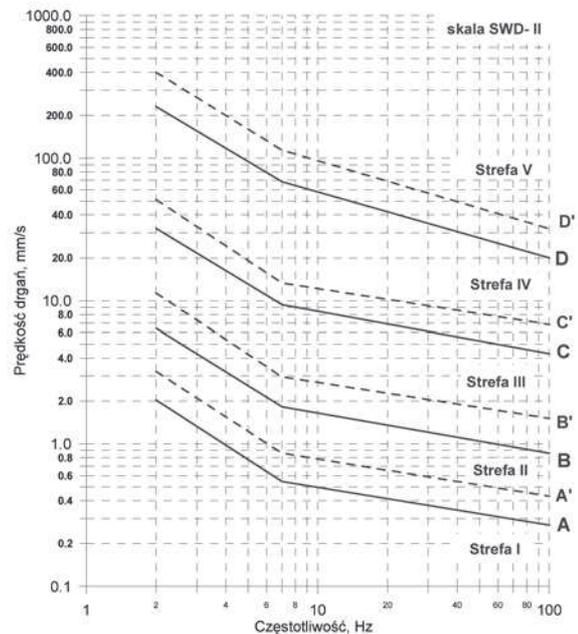
*Opracowanie własne*

Fig. 2. Small Vibration Monitoring Station – Explo 504

*Own development*

Zastosowanie Explo 504 w jednej z kopalń dolomitu, w okresie 10 lat, pozwoliło na wykonanie ponad tysiąca rejestracji drgań wzbudzonych robotami strzałowymi w 24 budynkach [9].

Była to pierwsza konstrukcja firmy Exploconsult, posiadająca określone wady: obsługa manualna, ograniczona do 15 liczba rejestracji pełnych przebiegów, co powodowało konieczność okresowej obecności operatora stacji przy transmisji danych do komputera. Archiwizacja, analizy drgań i oceny oddziaływania odbywały się na komputerze (program Explograf) [8]



W roku 2002 została przygotowana do eksploatacji Kopalniana Stacja Monitoringu Drgań (KSMD) [2] [4]. W jej konstrukcji (rys. 3) zastosowano takie same rozwiązania techniczne w zakresie pomiarowym (trójskładowe mierniki prędkości) jak i w sposobie zbierania danych. Natomiast zasadniczą różnicą to system komunikacji i przekazywania danych (transmisji).



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

*Opracowanie własne*

Fig. 3. Mine Vibration Monitoring Station (KSMD) – general view

*Own development*

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 oko-

ło 5 km oraz silne uzależnienie od lokalnego zasięgu sygnału radiowego. Wadą systemu była też 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 transmisji 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. Drugą ważną zaletą tego systemu to praktycznie już nieograniczony zasięg łączności (choć, pomimo rozbudowanej siatki nadajników GSM w dalszym ciągu występują miejsca, gdzie nie ma zasięgu), co stwarza możliwość 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 [4].

W 2011 roku została opracowana nowa wersja KSMD wykorzystująca pakietowy przesył danych – APN (rys. 4) [13] [14]. Myślą przewodnią dokonanych zmian było uelastycznienie pracy systemu przez bezpośredni kontakt stacji pomiaro-

wej 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 APN spotkał się z dużym zainteresowaniem i już większość pracujących systemów została poddana modernizacji.

Podstawowym ogniwem systemu jest Kopalniana Stacja Pomiaru Drgań KSPD (rys. 5), wyposażona w 3-osiowy miernik prędkości drgań oraz w układy przetwarzania i gromadzenia danych pomiarowych. Integralną częścią stacji jest modem GSM/GPRS automatycznie przesyłający zebrane 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.

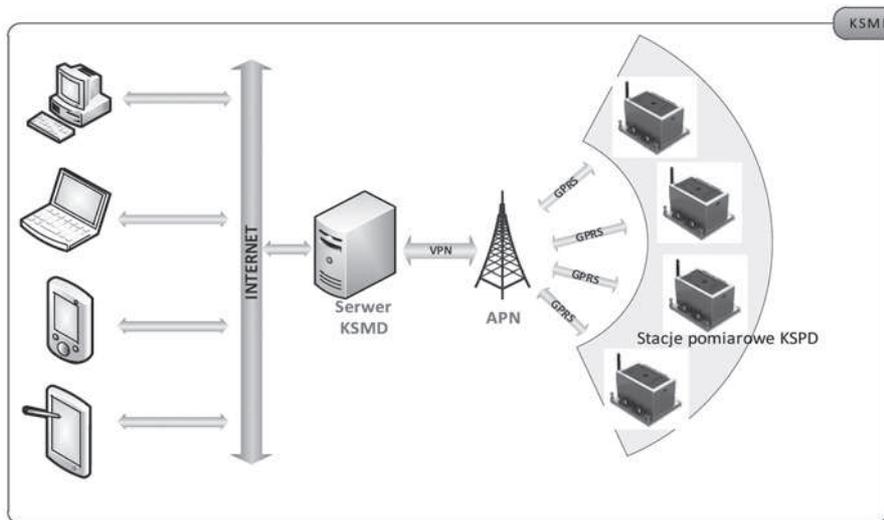


Rys. 5. Kopalniana Stacja Pomiaru Drgań – model 2012

*Opracowanie własne*

Fig. 5. Mine Vibration Monitoring Station – model 2012

*Own development*



Rys. 4. Kopalniana Stacja Monitoringu Drgań APN – model 2012

*Opracowanie własne*

Fig. 4. Mine Vibration Monitoring Station APN – model 2012

*Own development*

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. Jest to bardzo ważne, gdyż KSPD nie przechowuje danych tylko serwer KSMD. W efekcie operator systemu, w zakresie korzystania z bazy danych pomiarowych i prowadzenia analiz współpracuje tylko z serwerem.

Zalety nowego systemu KSMD APN:

- ciągły pomiar drgań w obiekcie budowlanym,
- nieograniczona pamięć,
- automatyczna transmisja danych na serwer,
- automatyzacja procesu uruchamiania stacji,
- możliwość kontaktu z dowolnego punktu na Ziemi,
- wizualizacja przebiegów drgań w czasie i wyników na skali SWD,
- kontrola poprawności działania modułu pomiarowego,
- zdalna aktualizacja oprogramowania,
- nieograniczona możliwość rozbudowy punktów pomiarowych dla jednej kopalni.

Aktualnie w 12 kopalniach odkrywkowych pracuje 37 punktów pomiarowych:

- model KSMD APN – 8 kopalni 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.

### 3. Podsumowanie i analiza efektów 2 lat pracy systemu KSMD APN

Jak już wspomniano modernizację systemu KSMD przeprowadzono w roku 2012, dlatego jest okazja i możliwość podsumowania dwuletniego okresu pracy od IV kwartału 2012 roku do III kwartału roku 2014.

Podsumowanie działania systemu pomiarowo-analitycznego jest związane z realizacją celów, jakie miał 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 obiekt w którym stacja KSPD była zamontowana.

Łącznie wszystkie stacje pomiarowe KSMD APN wykonały w okresie 2 lat 2385 pomiarów drgań wzbudzonych robotami strzałowymi w kopalniach odkrywkowych.

W tabelicy 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. Przykładowo, w Polsce skale GSI wymagają pomiaru drgań podłoża (gruntu).

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 tabelicy 2.

Dla przykładu, dokładniejszej analizie poddano wyniki pomiarów uzyskane przez stacje o największej liczbie wykonanych pomiarów oraz najwyższym poziomie rejestrowanych drgań – kopalnia 3/stacja 2 i kopalnia 5/stacja 2. Na rysunku 6 i 7 przedstawiono wizualizację wyników pomiarów na skali SWD-I oraz procentowy udział maksymalnych wartości prędkości w zakresach wskazanych w tabelicy 2. Zastosowano wizualizację wyników pomiarów na dwóch wykresach, gdyż wartość maksymalna prędkości drgań (bez częstotliwości) nie daje pełnej informacji o oddziaływaniu, ze względu na kształt linii granicznych skal SWD. Jednocześnie należy uwzględnić, że wyniki pomiarów, w postaci maksymalnych wartości prędkości drgań skorelowanych z częstotliwością, naniesione

**Tabela 1. Liczba pomiarów drgań na poszczególnych kopalniach**

*Opracowanie własne*

**Table 1. Number of ground vibrations measurements for individual mines**

*Own development*

Kopalnia	Okres pracy	Nr stacji	Liczba pomiarów	Łącznie liczba pomiarów
Kopalnia 1	IV kw.2012 ÷ III kw. 2014	nr 1	129	573
		nr 2	161	
		nr 3	145	
		nr 4	138	
Kopalnia 2	IV kw.2012 ÷ III kw. 2014	nr 1	83	492
		nr 2	180	
		nr 3	98	
		nr 4	131	
Kopalnia 3	II kw.2013 ÷ III kw. 2014	nr 1	186	509
		nr 2	323	
Kopalnia 4	IV kw.2012 ÷ III kw. 2014	nr 1	193	193
Kopalnia 5	IV kw.2012 ÷ III kw. 2014	nr 1	165	348
		nr 2	183	
Kopalnia 6	I kw.2014 ÷ III kw. 2014	nr 1	52	52
Kopalnia 7	I kw.2013 ÷ III kw. 2014	nr 1	69	218
		nr 2	110	
		nr 3	39	
Razem				2385

**Tablica 2. Zakres zmienności wyników pomiarów dla poszczególnych stacji KSPD***Opracowanie własne***Table 2. Range of the measurement results for each KSPD station***Own development*

Kopalnia	Nr stacji	Liczba pomiarów	Zakres wartości prędkości drgań, mm/s					
			0,30 ÷ 0,66	0,66 ÷ 1,33	1,33 ÷ 2,00	2,00 ÷ 2,66	2,66 ÷ 3,33	> 3,33
Kopalnia 1	nr 1	129	52 %	28 %	13 %	5 %	2 %	-
	nr 2	161	33 %	63 %	4 %	-	-	-
	nr 3	145	38 %	61 %	1 %	-	-	-
	nr 4	138	94 %	6 %	-	-	-	-
Kopalnia 2	nr 1	83	98 %	2 %	-	-	-	-
	nr 2	180	38 %	38 %	17 %	6 %	2 %	-
	nr 3	98	71 %	24 %	5 %	-	-	-
	nr 4	131	66 %	25 %	7 %	2 %	-	-
Kopalnia 3	nr 1	186	33 %	41 %	17 %	5 %	3 %	2 %
	nr 2	323	49 %	28 %	13 %	7 %	2 %	3 %
Kopalnia 4	nr 1	193	59 %	25 %	6 %	6 %	3 %	2 %
Kopalnia 5	nr 1	165	43 %	29 %	17 %	9 %	2 %	-
	nr 2	183	46 %	25 %	12 %	10 %	4 %	3 %
Kopalnia 6	nr 1	52	35 %	54 %	11 %	-	-	-
Kopalnia 7	nr 1	69	100 %	-	-	-	-	-
	nr 2	110	99 %	1 %	-	-	-	-
	nr 3	39	100 %	-	-	-	-	-

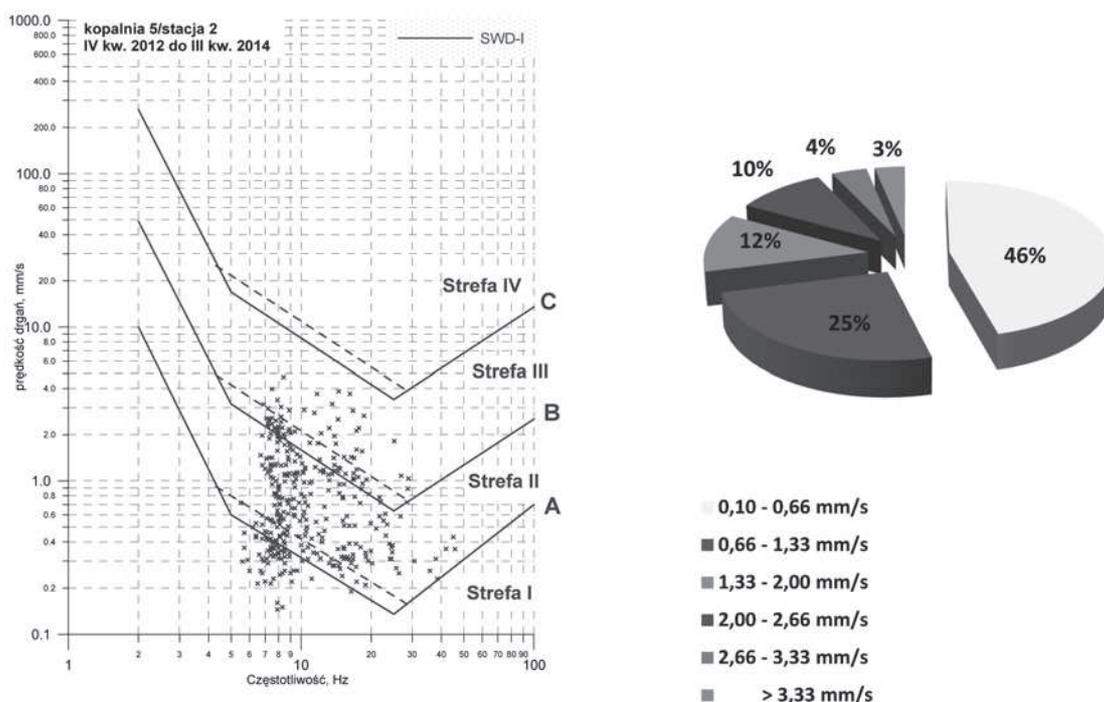
na skałę SWD nie stanowią oceny oddziaływania, a tylko obrazują skalę problemu i pozwalają na wstępne wnioskowanie, co do poziomu rejestrowanych drgań.

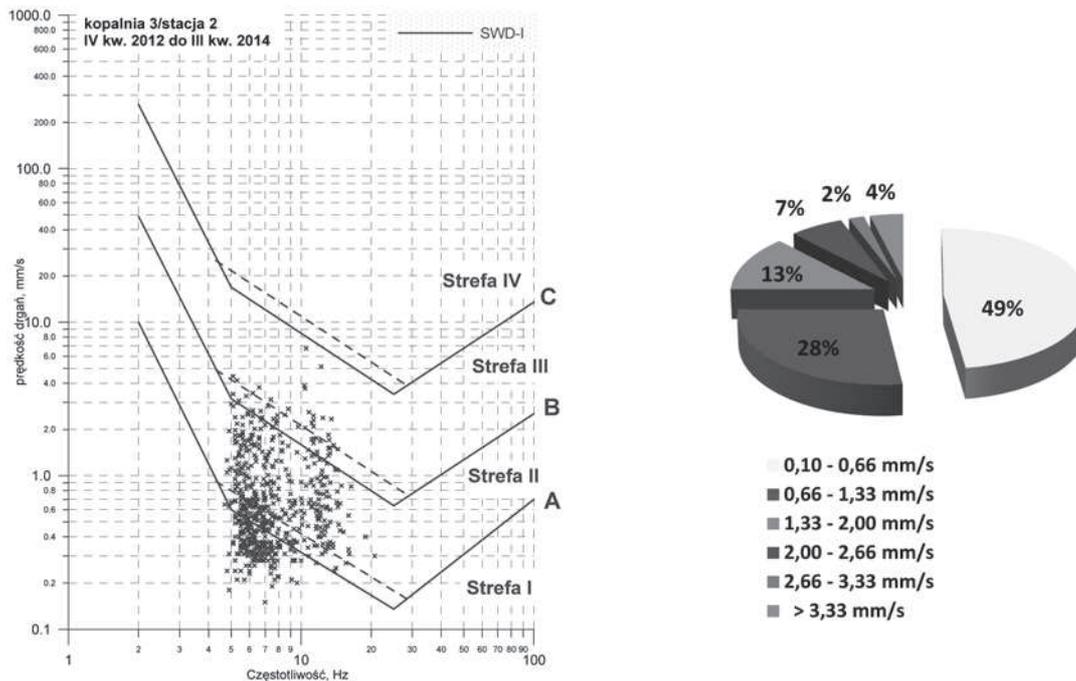
Jak wynika z rysunków 6 i 7 wartości maksymalne prędkości w większości znajdują się w II strefie skali SWD-I. Częstość występowania wyższych wartości prędkości (1 ÷ 3 % ogółu pomiarów) potwierdza regułę, że oddziaływania związane z robotami strzałowymi należy zaliczyć do zdarzeń sporadycznych.

Analizując dane zawarte w tablicy 2 i odnosząc je do klasyfikacji 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.

**Rys. 6. Wizualizacja wyników rejestracji dokonanych przez KSPD w budynku – kopalnia 5/stacja nr 2***Opracowanie własne***Fig. 6. Visualization of results obtained by the KSPD which was installed on the building -mine 5 / station no. 2***Own development*

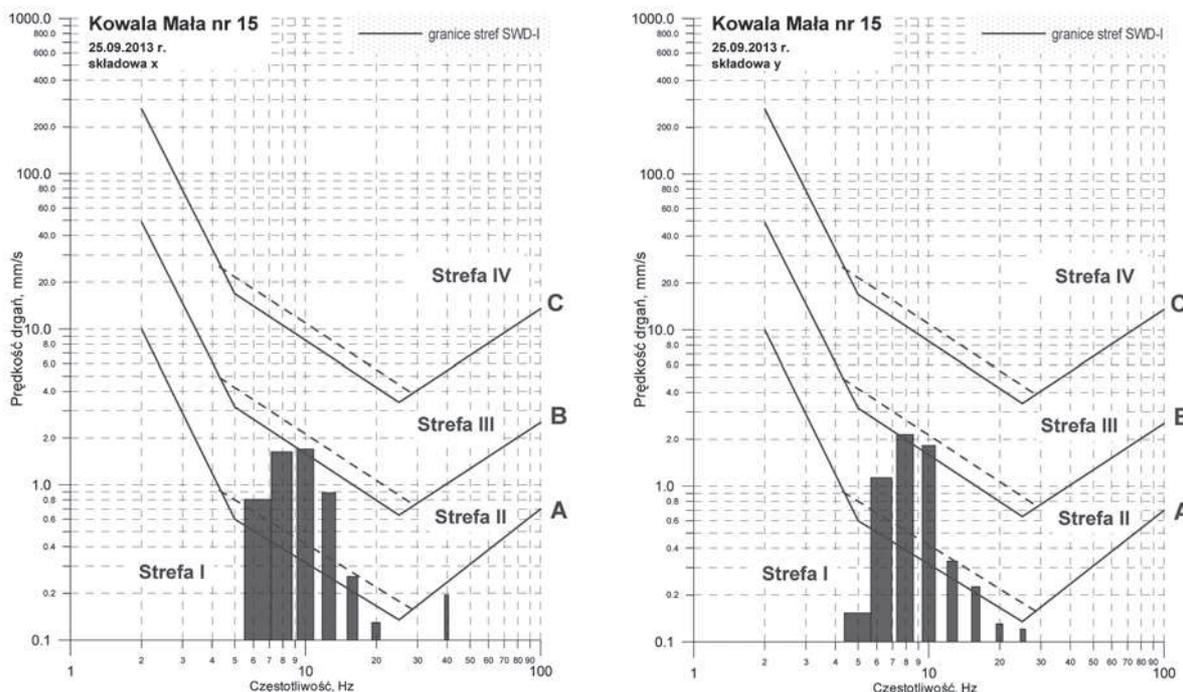


**Rys. 7. Wizualizacja wyników rejestracji dokonanych przez KSPD w budynku – kopalnia 3/stacja nr 2**  
*Opracowanie własne*

**Fig. 7. Visualization of results obtained by the KSPD which was installed on the building – mine 3 / station no. 2**  
*Own development*

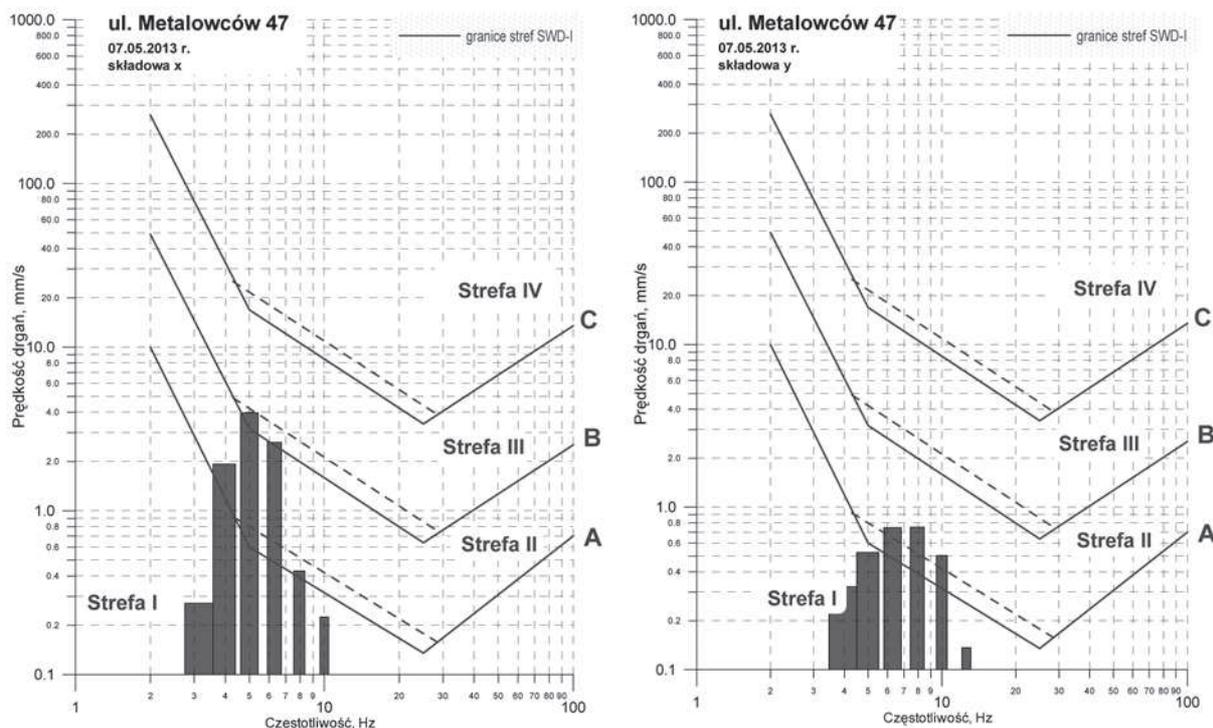
Jak już wspomniano, jednym z efektów prowadzenia monitoringu drgań jest możliwość dokonania oceny oddziaływania drgań wzbudzanych robotami strzałowymi. Dla przykładu na rysunkach 8 i 9 przedstawiono wynik oceny oddziaływania drgań dla zdarzenia o najwyższej intensywności dla każdej ze stacji. Ocenę przeprowadzono zgodnie ze wskazaniem normy dla drgań impulsowych na podstawie pełnych przebiegów z zastosowaniem filtracji trójowej (metoda pośrednia).

Jak wynika z rysunków, 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 zbudzanych robotami strzałowymi na kopalni 3 i kopalni 5 było odczuwalne, ale nieszkodliwe dla obiektów budowlanych w otoczeniu.



**Rys. 8. Ocena oddziaływania drgań na obiekt chroniony – zdarzenie z dnia 25.09.2013 r.**  
*Opracowanie własne*

**Fig. 8. Assessment of the impact of ground vibrations on the protected housing structures – an event from 25 September 2013**  
*Own development*



Rys. 9. Ocena oddziaływania drgań na obiekt chroniony – zdarzenie z dnia 7.05.2013 r.

*Opracowanie własne*

Fig. 9. Assessment of the impact of ground vibrations on the protected housing structures – an event from 7 May 2013

*Own development*

## 5. 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.

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

Monitorowanie umożliwia kontrolowanie intensywności wzbudzanych drgań i szybkie reagowanie na występujące przekroczenia.

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 wzbudzone 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 2385 dowodów na to, że roboty strzałowe prowadzone w analizowanych kopalniach odkrywkowych nie były szkodliwe dla zabudowań w otoczeniu.

## Literatura

1. Barański A., Kloc L., Kowal T., Mutke G.: Górnictwa Skala Intensywności Drgań GSI<sub>GZWKW</sub>-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. Golda A., Śladowski G.: Monitoring drgań gruntu indukowanych wstrząsami górnictwymi w KWK „Ziemowit”. Przegląd Górniczy nr 6/2014. Katowice 2014
6. 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
7. PN-B-02170:1985 : Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki

8. *Pyra J., Soltys A., Winzer J.*: Skomputeryzowane systemy do dokumentowania oddziaływania robót strzałowych na otoczenie kopalń odkrywkowych. *Bezpieczeństwo Robót Strzałowych – Główny Instytut Górnictwa*. Katowice 2012.
9. *Pyra J., Soltys A., Winzer J.*: Monitoring drgań jako skuteczne narzędzie do kontrolowania oddziaływania na obiekty. *Mat. Konferencja – Technika Strzelnicza w Górnictwie i Budownictwie. Ustroń 2013*
10. *Sieradzki J.*: 1997 – Kopalniany system monitoringu drgań - Krajowy Kongres Górnictwa Skalnego Kielce '97. Kielce 1997
11. *Tatara T.*: Badania naukowe i diagnozy dotyczące ocen działania na obiekty budowlane drgań wzbudzanych robotami strzałowymi w górnictwie odkrywkowym. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie WUG 4(164)/2008*. Katowice 2008
12. *Winzer J.*: Dokumentowanie oddziaływania robót strzałowych na otoczenie kopalń odkrywkowych. *Górnictwo Odkrywkowe 5-6, Wrocław 2006*
13. *Winzer J., Sieradzki J.*: Monitorowanie oddziaływania robót strzałowych na obiekty w otoczeniu. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 9(157)/1/2007*. Katowice 2007
14. *Winzer J., Sieradzki J., Soltys A.*: Dokumentowanie oddziaływania robót strzałowych na otoczenie kopalń odkrywkowych. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie WUG 4(164)/2008*. Katowice 2008

---

## NACZELNY REDAKTOR

w zeszycie 1-2/2010 Przeglądu Górniczego, zwrócił się do kadr górniczych z zachętą do publikowania artykułów ukierunkowanych na wywołanie

## POLEMIKI – DYSKUSJI.

Trudnych problemów, które czekają na rzetelną, merytoryczną wymianę poglądów – jest wiele! Od niej – w znaczącej mierze – zależy skuteczność praktyki i nauki górniczej w działaniach na rzecz bezpieczeństwa górnictwa oraz postępu technicznego i ekonomicznej efektywności eksploatacji złóż.

**Od naszego wysiłku w poszukiwaniu najlepszych rozwiązań  
– zależy przyszłość polskiego górnictwa!!!**