

## DRGANIA WZBUDZANE ROBOTAMI STRZAŁOWYMI W KOPALNI ODKRYWKOWEJ A WSTRZĄSY W KOPALNI PODZIEMNEJ

### VIBRATIONS INDUCED BY BLASTING WORKS IN OPENCAST MINE AND SHOCKS IN UNDERGROUND MINE

Anna Soltys, Józef Pyra, Jan Winzer - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

*W okresie od września do listopada 2015 roku w kopalni Janina wystąpiły silne wstrząsy, które zostały zarejestrowane przez stacje KSMD monitorujące oddziaływanie robót strzałowych wykonywanych w kopalni odkrywkowej w rejonie Chrzanowa. Dokonane rejestracje oraz przeprowadzone analizy intensywności i struktury częstotliwościowej drgań, pozwoliły na porównanie oddziaływania drgań wzbudzonych w dwóch różnych źródłach – roboty strzałowe w kopalni odkrywkowej i wstrząs w kopalni podziemnej. Obliczenia i analizy przeprowadzono zgodnie z procedurami przewidzianymi dla skal SWD i GSI.*

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

*In the period from September to November 2015 in the mine Janina experienced severe shocks that have been recorded by the stations KSMD monitoring the impact of blasting performed in open-cast mine in the region of Chrzanów. Registrations made and carried out analysis of the intensity and frequency of vibration structure, they allow us to compare the impact of vibrations excited in two different sources - blasting in opencast mine and shock in an underground mine. Calculations and analysis conducted in accordance with the procedures of the scales SWD and GSI.*

**Keywords:** blasting technique, vibration monitoring system, vibration influence, open-pit and underground mining

#### Wprowadzenie

Monitorowanie intensywności drgań wzbudzanych w czasie robót strzałowych, prowadzonych w kopalniach odkrywkowych surowców skalnych, jest elementem składowym działalności profilaktycznej kopalń, która ma na celu minimalizowanie oddziaływania tych drgań na zabudowania w otoczeniu. Do prowadzenia monitoringu stosowany jest skomputeryzowany system pomiarowo-analityczny Kopalniana Stacja Monitoringu Drgań (KSMD). Pomiaru wykonywane w sposób ciągły w obiektach budowlanych, w otoczeniu wyrobiska górniczego pozwalają na dokumentowanie intensywności drgań, ich bieżącą kontrolę i ocenę oddziaływania na obiekty [6]. W najnowszym modelu KSMD-APN (od roku 2013), wprowadzono pełną automatykę pomiaru i transmisji danych. Dane pomiarowe, w postaci pełnych zapisów drgań, gromadzone są na serwerze w Laboratorium Robót Strzałowych i Ochrony Środowiska Katedry Górnictwa Odkrywkowego AGH, co eliminuje konieczność obsługi samych stacji pomiarowych i dlatego w wielu przypadkach pozostają one w stanie czuwania przez 24 godziny na dobę.

W efekcie na serwerze gromadzone są dane nie tylko od robót strzałowych, ale również od innych zdarzeń, które mogą generować drgania. W bazie wyników łatwo jest wskazać oddziaływania przypadkowe (np. ruch mieszkańców, ruch drogowy i inne) przez analizę zapisu drgań – godzina wystąpienia zdarzenia czy czas trwania i kształt zapisu drgań. Kopalnie

odkrywkowe prowadzą roboty strzałowe w określonych w planie ruchu godzinach i wystąpienie zdarzeń w innych porach skłania do podjęcia czynności sprawdzających i identyfikujących źródło drgań.

Zdarza się, szczególnie w rejonach występowania kilku kopalń odkrywkowych, że stacje rejestrują drgania od robót strzałowych z wszystkich kopalń w otoczeniu obiektu, w którym zainstalowana jest KSMD.

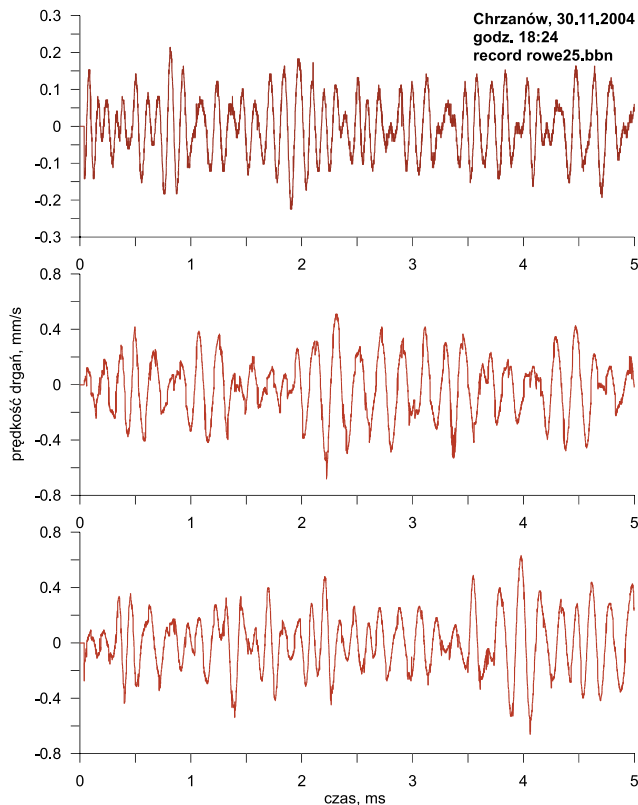
W rejonach, w których prowadzona jest również eksploatacja podziemna, w historii pracy KSMD występują rejestracje wstrząsów generowanych w tych kopalniach. W okresie od września do października 2015 roku w rejonie Chrzanowa stacje KSMD zarejestrowały intensywne wstrząsy spowodowane eksploatacją podziemną węgla kamiennego w pobliskich kopalniach.

Podziemnej eksploatacji złóż węgla towarzyszą wstrząsy o różnej genezie i mechanizmach. W zależności od energii i odległości hipocentralnej zaistniałych wstrząsów obserwowana jest różna intensywność ich oddziaływania na powierzchnię terenu. Wstrząsów o energiach  $E \geq 10^4$  J rejestruje się od 3,2 do 6,5 tysięcy rocznie, natomiast wstrząsów silnych o energiach  $E \geq 10^5$  J rejestrowanych jest od 400 do 1000 rocznie [1].

Dwie stacje KSMD zlokalizowane w budynkach mieszkalnych w Chrzanowie monitorują oddziaływanie robót strzałowych w kopalni odkrywkowej dolomitu. Działania te prowadzone są przez kopalnię od roku 1999, z zastosowaniem kolejnych modeli KSMD (Explo 504, KSMD APN) [2] [6].

W okresie tych 16. lat dokonano 2100 rejestracji drgań i niejednokrotnie zaobserwowano wystąpienia zdarzeń w porach eliminujących związek z działalnością kopalni odkrywkowej. Można w tym miejscu przytoczyć rejestrację drgań dokonaną w dniu 30.11.2004 roku o godzinie 18:24, a były to drgania wzbudzone trzęsieniem ziemi z epicentrum w rejonie Czarnego Dunajca na Podhalu (rys. 1).

Jednym z elementów działalności profilaktycznej kopalń odkrywkowych w zakresie ograniczania oddziaływania robót strzałowych na otoczenie jest ocena wzbudzonych drgań pod kątem szkodliwego wpływu na obiekty budowlane. Brak jednoznacznych procedur postępowania w tym zakresie powoduje, że tylko niektóre oceny i opinie prowadzone są z zastosowaniem skal SWD zawartych w normie PN-B-02170:1985 [4], w efekcie zdarzają się jeszcze opinie oparte przykładowo na skali MSK-64. Problemem w wielu opiniach jest zrozumienie źródła drgań, jakim jest detonacja materiału wybuchowego. W normach wielu krajów źródła drgań są zdefiniowane w sposób jednoznaczny ze wskazaniem na sposób oceny drgań genero-



Rys. 1. Sejsmogram trzęsienia ziemi z epicentrum w rejonie Czarnego Dunajca, zarejestrowany w Chrzanowie

Fig. 1. Seismogram of the earthquake with the epicenter in the region of the Black Dunajec, registered in Chrzanów

Tab. 1. Charakterystyka wstrząsów – KWK Janina w Libiążu  
Tab. 1. Characteristics of shocks - KWK Janina in Libiąż

Data	Czas	Energia, J	Współrzędne	Lokalizacja
30-09-2015	11:13.53	$9 \cdot 10^8$	x: 35 550, y: - 336 075 z: -350	pokład 207 ściana 729
10-10-2015	23:01.20	$5 \cdot 10^7$	x: 35 353, y: - 336 091 z: -350	pokład 207 ściana 729
20-10-2015	22:23.06	$6 \cdot 10^8$	x: 35 612, y: - 336 204 z: -350	pokład 207 ściana 729
18-11-2015	00:27.55	$1 \cdot 10^9$	x: 35 483, y: - 336 246 z: -350	pokład 207 ściana 729

wanych w tych źródłach.

Niewątpliwie bardzo ciekawym rozwiązaniem w zakresie oceny oddziaływania drgań parasejsmicznych (wzbudzonych działalnością człowieka) na obiekty budowlane jest wprowadzenie, przez Główny Instytut Górnictwa, Górniczych Skal Intensywności (GSI) [1] [3]. Niestety ograniczony zakres stosowania tych skal do oceny oddziaływania wstrząsów pochodzenia górniczego związanych z eksploatacją podziemną w określonych rejonach naszego kraju, nie pozwala na ich adaptację przykładowo do oceny oddziaływania drgań wzbudzonych robotami strzałowymi w kopalniach odkrywkowych. Wymagałoby to przeprowadzenia szeregu prac badawczych w różnych warunkach geologicznych i górniczych oraz dla różnych obiektów budowlanych.

Jak już wspomniano, w rejonie Chrzanowa, stacje monitorujące roboty strzałowe w kopalni odkrywkowej dokonały rejestracji drgań wzbudzonych wstrząsem w kopalni podziemnej. Wystąpienie zdarzeń o zbliżonym, ale jednak różnym charakterze i wykonanie pomiarów w tym samym budynku i tą samą aparaturą, skłania do przeprowadzenia analizy porównawczej z zastosowaniem procedur przewidzianych zarówno dla skal SWD jak i GSI.

#### Rejestracje KSMD w Chrzanowie od września do listopada 2015 r.

W okresie od 30 września do 18 listopada 2015 roku stacje KSMD zarejestrowały zdarzenia nie związane z robotami strzałowymi prowadzonymi w kopalniach odkrywkowych. Zebrane informacje pozwoliły na powiązanie zaistniałych zdarzeń z wstrząsami, które miały miejsce w kopalni Janina w Libiążu (tab. 1). Miejsca wystąpienia wstrząsów oraz położenie punktów pomiarowych przedstawiono na szkicu sytuacyjnym (rys. 2).

Wskazane w tabeli 1 wstrząsy w kopalni podziemnej zostały zarejestrowane przez stacje KSMD w rejonie Chrzanowa i Płazy. Szczegółowej analizie poddano zdarzenia zarejestrowane przez stację KSMD1 w Chrzanowie.

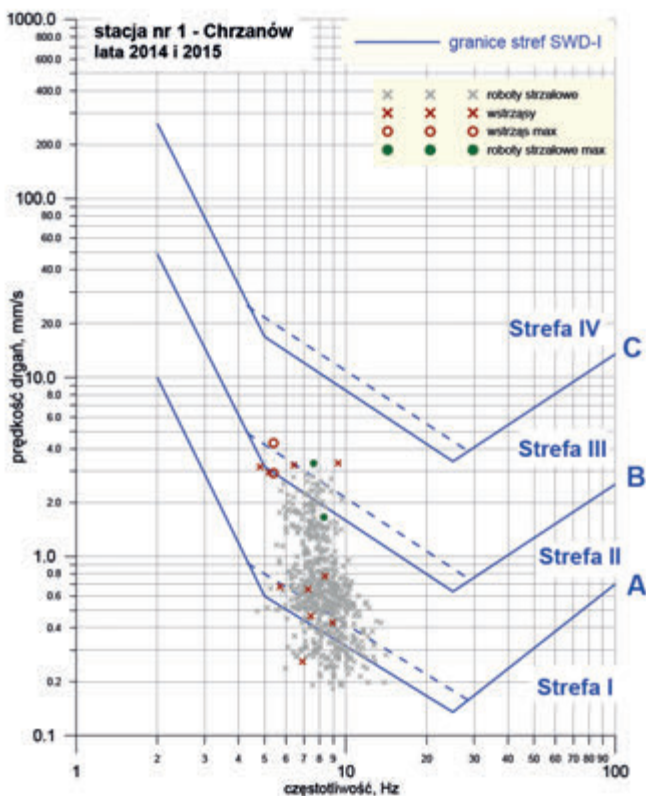
Na rysunku 3 przedstawiono graficznie wyniki pomiarów intensywności drgań zarejestrowanych w czasie wstrząsu oraz drgań wzbudzonych robotami strzałowymi w pobliskiej kopalni dolomitu w okresie dwóch lat (2014 i 2015), przez naniesienie, na skale SWD-I normy [4], maksymalnych wartości prędkości drgań dla składowych poziomych skorelowane z częstotliwościami. Dla wyróżnienia źródła pochodzenia kolorem szarym zaznaczono wyniki rejestracji dla robót strzałowych, a kolorem brązowym drgania wzbudzone wstrząsami w kopalni podziemnej.

Charakterystykę drgań wzbudzonych wstrząsami w kopalni



Rys. 2. Lokalizacja wstrząsów i punktów pomiarowych  
Fig. 2. Location shocks and measuring points

Janina przedstawiono w tabeli 2. W tabeli tej zestawiono również parametry drgań wzbudzonych w czasie robót strzałowych, dla zdarzenia o najwyższej intensywności w okresie ostatnich dwóch lat pracy stacji (rys. 3 - kolor zielony).



Rys. 3. Wizualizacja intensywności drgań wzbudzanych robotami strzałowymi i wstrząsami w kopalniach podziemnych – stacja nr 1 Chrzanów

Fig. 3. Visualization of the intensity of the vibration induced by blasting works and shocks in underground mines - station No. 1 Chrzanów

#### Analiza porównawcza drgań wzbudzonych robotami strzałowymi i wstrząsami w kopalni podziemnej

Dla porównania intensywności i charakterystyki drgań parasejsmicznych, generowanych przez dwa różne źródła, przeprowadzono następujące analizy:

- analizę struktury drgań z zastosowaniem filtrowania trójczłowego,
- ocenę oddziaływania z zastosowaniem skal SWD i analizy pośredniej,
- analizę czasowo –częstotliwościową z zastosowaniem algorytmu MP,
- ocenę oddziaływania z zastosowaniem skal GSI.

Analizie poddano przebiegi drgań charakteryzujące się najwyższą intensywnością zarówno dla robót strzałowych jak i wstrząsów w kopalni podziemnej (wyłuszczenie w tabeli 2). Wybrane przebiegi drgań przedstawiono na rysunku 4 w postaci sejsmogramów dla trzech składowych: pionowej  $z$  i poziomych  $x$  i  $y$ . Dla ułatwienia czytelności rysunków przebiegi dla robót strzałowych przedstawiono kolorem zielonym, a dla wstrząsów kolorem brązowym.

Dodać należy, że stacje pomiarowe KSMD montowane są na fundamentach budynków, co jest zgodne z wytycznymi normy [4]. Ocena z zastosowaniem skal GSI wymaga pomiarów drgań gruntu [1] [3], czyli zachodzi w tym przypadku pewna niezgodność z założeniami. Nie stanowi to jednak przeszkody w proponowanej analizie, gdyż jej celem jest porównanie intensywności i struktury zarejestrowanych drgań dla tych samych warunków pomiaru, a nie dokonanie istotnej oceny oddziaływania drgań na obiekt.

Analizując sejsmogramy drgań oraz dane zawarte w tabeli 2 należy stwierdzić, że intensywność, oceniana na podstawie maksymalnej wartości prędkości, jest wyraźnie wyższa dla drgań wzbudzanych w czasie wstrząsów. Częstotliwości skorelowane z wartościami maksymalnymi prędkości są w

Tab. 2. Intensywność drgań wzbudzonych wstrząsami w kopalni podziemnej i robotami strzałowymi w kopalni dolomitu – KSMD nr 1 Chrzanów  
 Tab. 2. The intensity of the vibration induced by shocks in underground mines and blasting works in the mine dolomite - station No. 1 Chrzanów

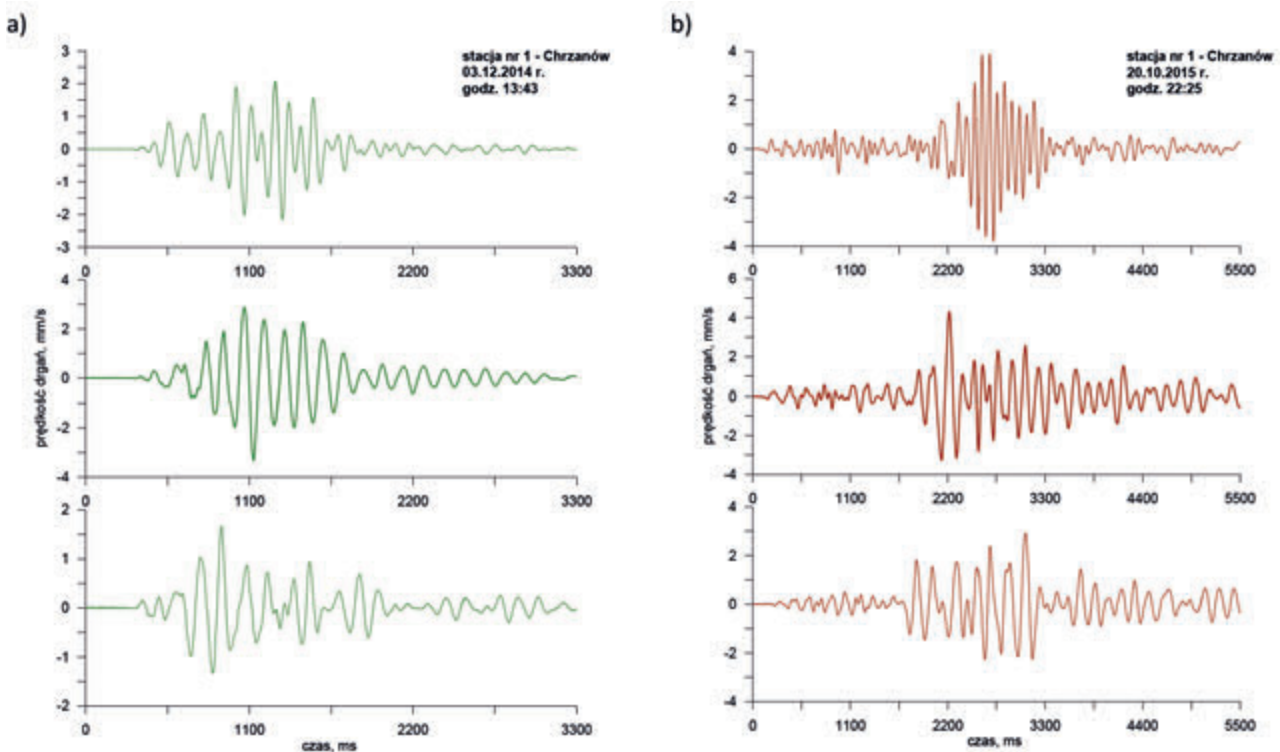
Data	Czas	Prędkość drgań, mm/s			Częstotliwość, Hz		
		$u_z$	$u_x$	$u_y$	$f_z$	$f_x$	$f_y$
wstrząsy w kopalni podziemnej							
30-09-2015	11:15:00	7,05	3,33	3,24	11,2	9,4	6,4
30-09-2015	11:15:28	0,18	0,40	0,53	4,6	6,5	6,0
10-10-2015	23:02:05	1,24	0,68	0,66	11,5	5,7	7,2
20-10-2015	22:25:36	3,91	4,30	2,92	11,2	5,4	5,4
18-11-2015	00:28:17	2,34	2,95	3,17	9,7	5,2	4,8
18-11-2015	00:28:45	0,21	0,32	0,57	3,1	5,6	5,4
dla robót strzałowych							
03.12.2014	13:43:33	2,15	3,32	1,66	10,6	7,6	8,3

podobnym zakresie.

Z tabeli 2 wynika również, że budynek zlokalizowany w Chrzanowie najsilniej odczuł wstrząs z 20.10.2015 r., mimo że największą energię  $1 \cdot 10^9$  J miał wstrząs w dniu 18.11.2015 r.

wzbudzone robotami strzałowymi mają zdecydowanie niższą intensywność.

Można zauważyć niewielkie różnice w strukturze drgań, co jest związane z techniką wykonywania robót strzałowych



Rys. 4. Sejsmogramy drgań dla stacji KSMD nr 1 a) roboty strzałowe, b) wstrząs w kopalni podziemnej  
 Fig. 4. Seismograms of the vibration for station KSMD No. 1 a) blasting works, b) shock in underground mine

### Analiza struktury drgań z zastosowaniem filtrowania tercjowego

W celu dokładniejszego porównania struktury drgań wzbudzonych przez dwa źródła, przeprowadzono analizę z zastosowaniem filtrowania tercjowego, a efekt w postaci porównania histogramów maksymalnych prędkości drgań dla częstotliwości środkowych poszczególnych pasm tercjowych przedstawiono na rysunkach 5, 6 i 7 (dla składowych  $z$ ,  $x$  i  $y$ ).

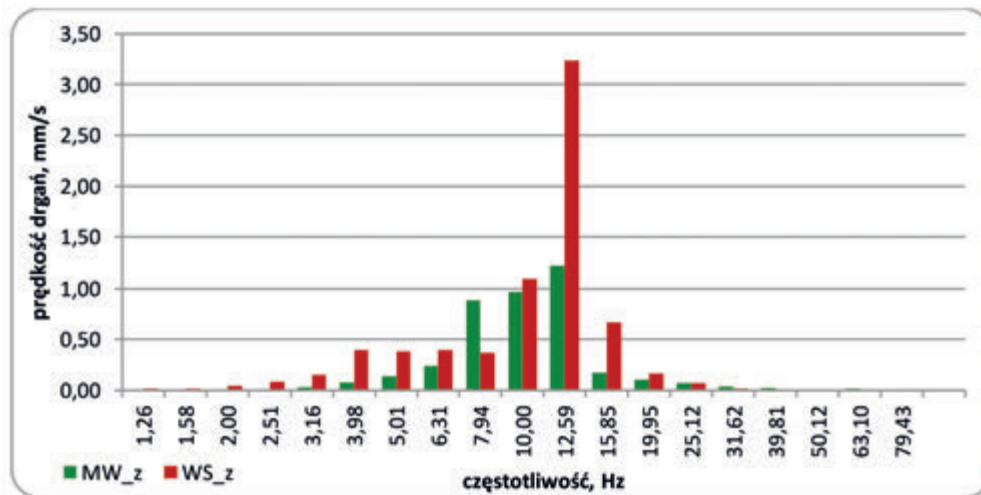
Jak wynika z rysunków 5, 6 i 7 struktura zarejestrowanych drgań wykazuje duże podobieństwo i tylko w przypadku składowej poziomej  $x$  (rys. 6) intensywność drgań, o częstotliwości dominującej 7,94 Hz, jest wyższa dla drgań wzbudzonych robotami strzałowymi. Dla pozostałych składowych drgania

i stosowanymi opóźnieniami milisekundowymi do odpalania ładunków MW.

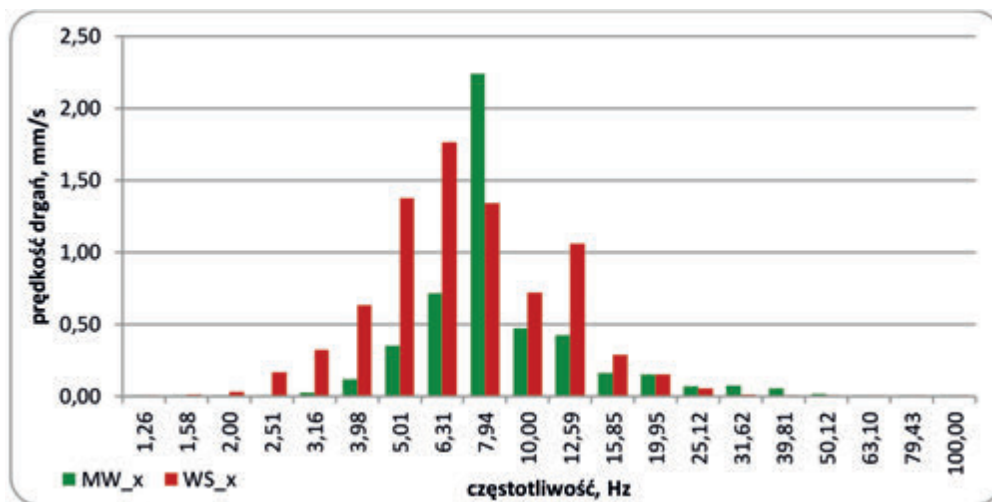
### Ocena oddziaływania drgań z zastosowaniem skal SWD i analizy pośredniej

Dokonując ocenę oddziaływania drgań parasejsmicznych na obiekt budowlany z zastosowaniem normy [4] można korzystać ze skal SWD. Skale te zostały opracowane przy założeniu, że drgania oddziałujące na obiekty, określonych w normie wymiarach, są długotrwałe (np. kilka godzin dziennie) i uwzględniają efekt zmęczenia.

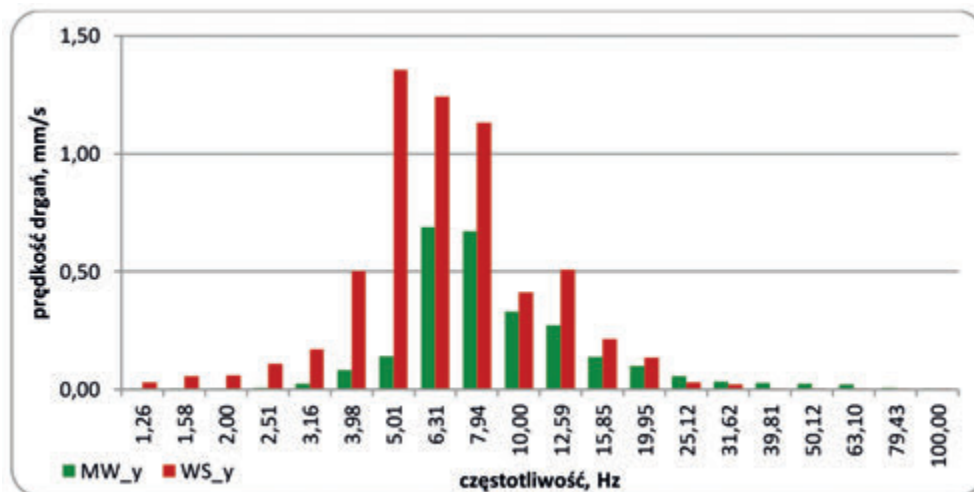
Diagnozę o wpływie drgań na obiekty, z zastosowaniem skal SWD, opiera się na nanoszeniu pomierzonych maksymalnych



Rys. 5. Porównanie intensywności i struktury drgań wzbudzonych dla sejsmogramu z rysunku 4 – składowa z  
Fig. 5. Comparison of the intensity and structure of the vibration excited for seismogram of figure 4 – axis z



Rys. 6. Porównanie intensywności i struktury drgań wzbudzonych dla sejsmogramu z rysunku 4 – składowa x  
Fig. 6. Comparison of the intensity and structure of the vibration excited for seismogram of figure 4 – axis x

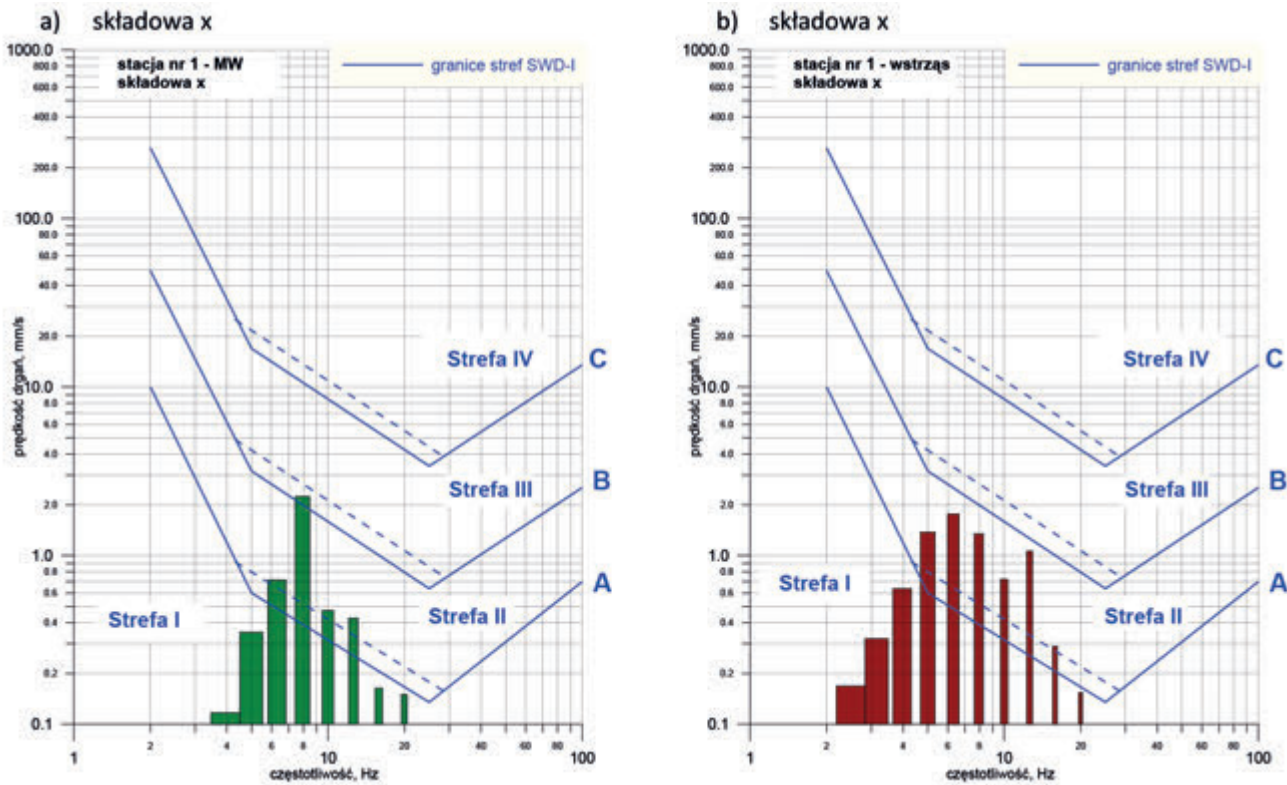


Rys. 7. Porównanie intensywności i struktury drgań wzbudzonych dla sejsmogramu z rysunku 4 – składowa y  
Fig. 7. Comparison of the intensity and structure of the vibration excited for seismogram of figure 4 – axis y

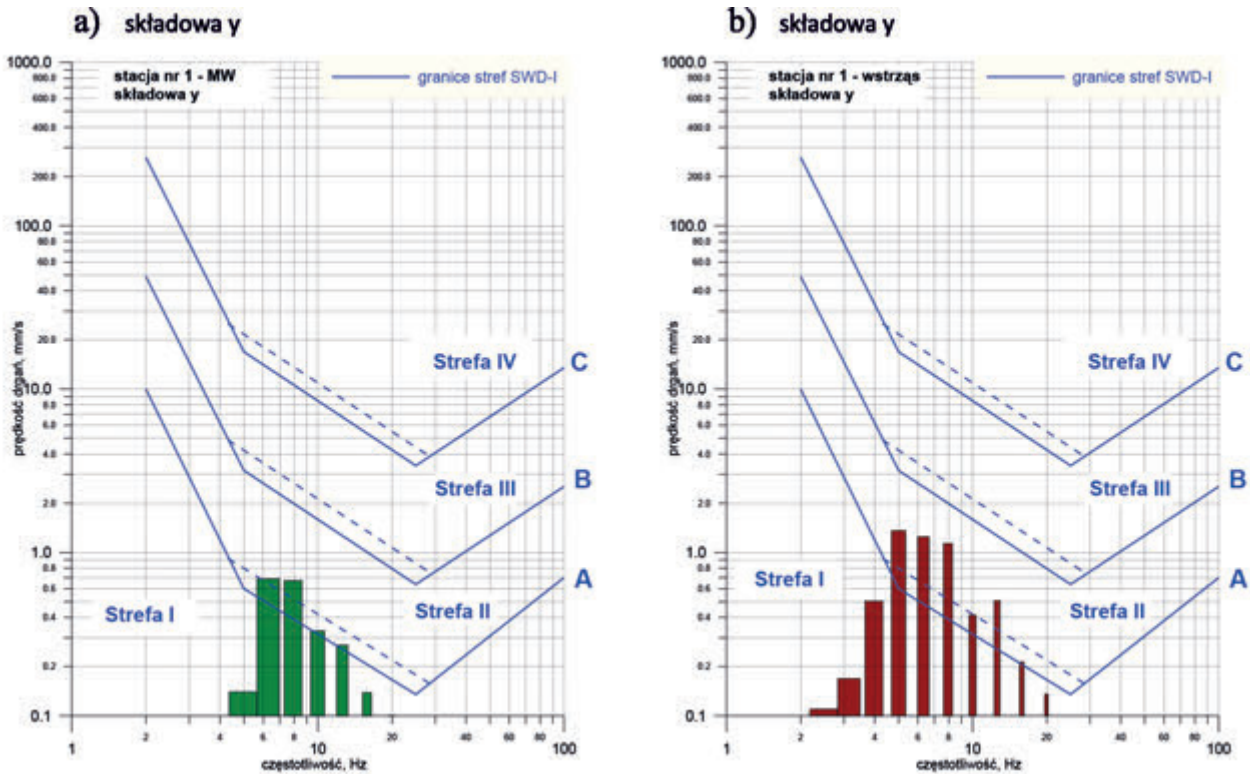
wartości prędkości w korelacji z przynależnymi częstotliwościami. Są dwie metody prowadzenia analizy – metoda bezpośrednia i metoda pośrednia. Dla zdarzeń impulsowych, krótkotrwałych, sporadycznych, a do takich zaliczane są zarówno drgania wzbudzone w czasie robót strzałowych w kopalniach odkrywkowych jak i wzbudzone wstrząsami w kopalniach podziemnych, należy stosować metodę pośrednią. W takim przypadku do oceny ich

wpływu, według skal SWD, wymagane są rejestracje pełnych przebiegów składowych poziomych drgań. Analizę pełnych przebiegów składowych x, y przeprowadza się przez filtrowanie sygnału filtrem trójczajowym.

Tak otrzymane wyniki, jako histogram maksymalnych wartości prędkości odpowiadającej częstotliwości środkowej pasma trójczajowego, nanoszone są na skale SWD z przypisaniem



Rys. 8. Ocena oddziaływania drgań dla stacji nr 1 a) roboty strzałowe, b) wstrząs w kopalni podziemnej – składowa x  
 Fig. 8. Assessment of the impact of vibrations for station No. 1 a) blasting works, b) shock in underground mine – axis x



Rys. 9. Ocena oddziaływania drgań dla stacji nr 1 a) roboty strzałowe, b) wstrząs w kopalni podziemnej – składowa y  
 Fig. 9. Assessment of the impact of vibrations for station No. 1 a) blasting works, b) shock in underground mine – axis y

im skutków odpowiadających danej strefie.

Efekt oceny oddziaływania dla wybranych przebiegów drgań dla składowych poziomych przedstawiono na rysunkach 8 i 9.

Jak wynika z rysunków zarówno drgania wzbudzone w czasie wykonywania robót strzałowych jak i wstrząsem w kopalni podziemnej można zaliczyć do strefy II skali SWD-I, czyli uznać za odczuwalne ale nieszkodliwe dla obiektu budowlanego.

Ocena oddziaływania drgań parasejsmicznych z zastoso-

waniem skal SWD nie uwzględnia czasu trwania. Samo pojęcie drgania krótkotrwałe (według normy trwające nie dłużej niż 3 minuty w ciągu doby) nie jest do końca dobrym wyróżnikiem, w przypadku analizy drgań pochodzących z różnych źródeł. Fakt ten został zauważony przy konstruowaniu skal GSI, w których wprowadzono czas, jako istotny parametr opisujący intensywność oddziaływania drgań na obiekt. Drgania wzbudzone w czasie wstrząsu, związanego z eksploatacją podziemną, są

zaliczane do krótkotrwałych, a jednak skale GSI dla tej wąskiej grupy drgań rozróżniają skutki oddziaływania, których intensywna faza trwa w przedziałach czasowych: do 1,5 s, między 1,5 a 3,0 s oraz ponad 3 sekundy.

Brak możliwości uwzględnienia czasu trwania drgań przy ocenie ich oddziaływania na obiekty, z zastosowaniem normy [4], spowodował, że w ostatnim okresie czasu obserwuje się zainteresowanie analizami czasowo-częstotliwościowymi, w których parametr czasu może być uwzględniony, przykładowo, w postaci energii sygnału [5].

### Analiza czasowo – częstotliwościowa z zastosowaniem algorytmu MP

Jedną z metod analizy struktury drgań, jest analiza Matching Pursuit (MP), która pozwala zlokalizować występowanie częstotliwości w czasie [5]. W wyniku analizy z zastosowaniem algorytmu MP uzyskuje się, za pomocą funkcji identyfikowanych, jako atomy Gabora, informacje o częstotliwościach

wchodzących w strukturę drgań. Atomy te opisywane są czasem wystąpienia i czasem trwania, amplitudą oraz energią. Każdy atom Gabora (elementarny sygnał o określonej częstotliwości) wyjaśnia pewien procent energii drgań – suma energii atomów daje energię sygnału.

Dopasowywanie atomów Gabora do sygnału oryginalnego zostaje zatrzymane po wyjaśnieniu 95% energii. W strukturach mniej złożonych do osiągnięcia celu wystarczy czasem kilka atomów.

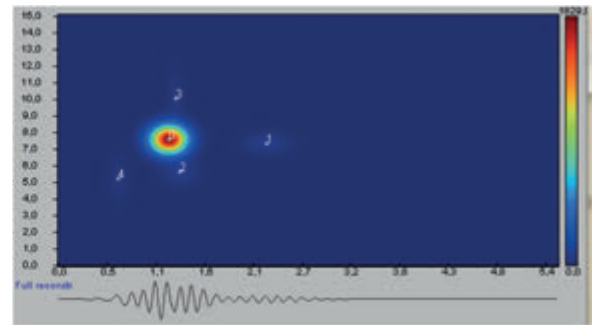
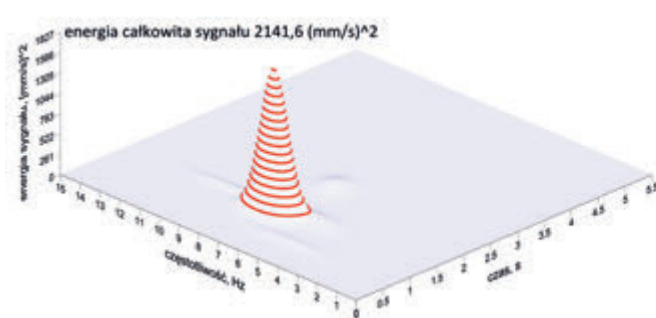
Wyniki analizy MP, dla zdarzeń z rysunku 4, przedstawiono w tabelach 3 i 4 oraz na rysunkach 10 i 11 w postaci struktury przestrzennej i mapy Wignera-Ville'a. Z danych zawartych w tabelach 3 i 4 wynika, że drgania wzbudzone wstrząsem w kopalni mają ponad dwukrotnie większą energię oraz bardziej złożoną strukturę częstotliwościową – drgania od robót strzałowych charakteryzuje 5 atomów Gabora, a od wstrząsu 12 atomów (w tabeli zestawiono tylko 7 najistotniejszych atomów).

W przypadku drgań wzbudzonych robotami strzałowymi atom 0 o amplitudzie 2,731 mm/s, wyjaśnia 89% energii, a jego

Tab. 3. Wynik analizy MP dla drgań zarejestrowanych przez stację nr 1 - roboty strzałowe (rys. 4a)

Tab. 3. Result analysis of the MP for the vibrations recorded by station No. 1 – blasting works (Fig. 4a)

Nr atomu	Częstotliwość, Hz	Amplituda atomu mm/s	Czas trwania atomu s	Energia atomu (mm/s) <sup>2</sup>	Udział w energii sygnału
0	7,5	2,731	0,65	1827,2	89%
1	7,3	0,511	0,82	80,1	4%
2	5,6	0,546	0,65	73,2	3%
3	9,9	0,590	0,32	42,4	2%
4	5,2	0,523	0,37	37,6	2%
Energia sygnału wyjaśniona				2060,6	
Energia sygnału całkowita				2141,6	



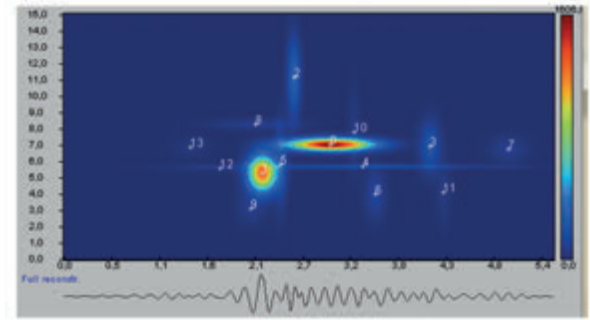
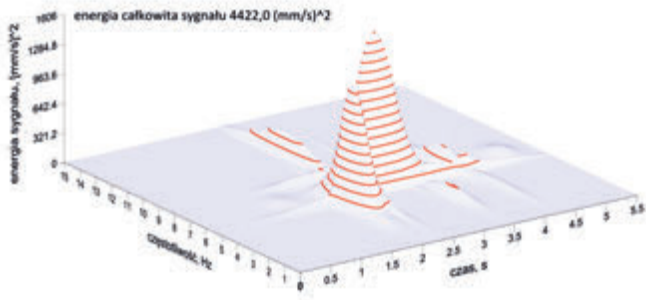
Rys. 10. Obraz przestrzenny i mapa Wignera-Ville'a drgań zarejestrowanych przez stację nr 1 - roboty strzałowe

Fig. 10. Spatial image and map Wigner-Ville vibrations recorded by the station No. 1 – blasting works

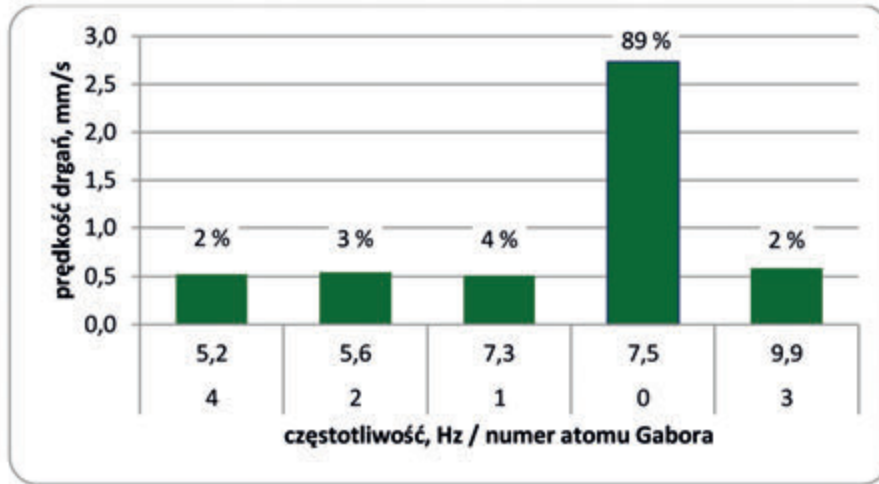
Tab. 4. Wynik analizy MP dla drgań zarejestrowanych przez stację nr 1 - wstrząs w kopalni podziemnej (rys. 4b)

Tab. 4. Result analysis of the MP for the vibrations recorded by station No. 1 – shock in underground mine (Fig. 4b)

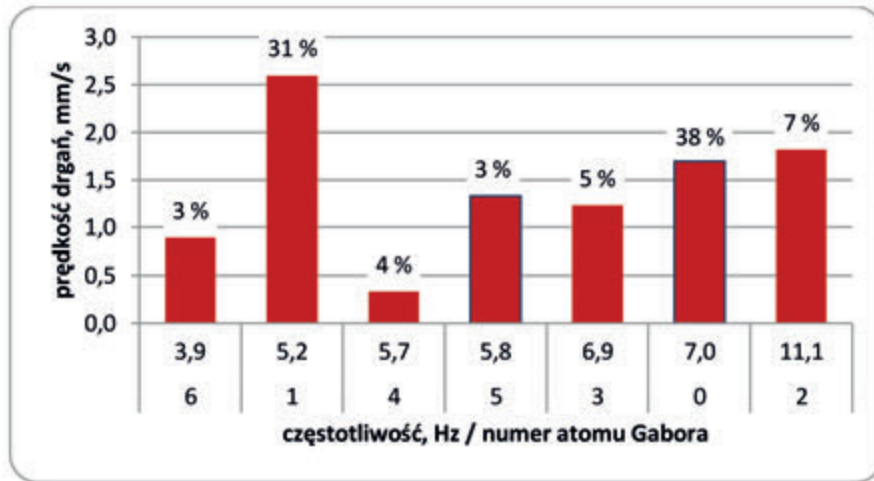
Nr atomu	Częstotliwość, Hz	Amplituda atomu mm/s	Czas trwania atomu s	Energia atomu (mm/s) <sup>2</sup>	Udział w energii sygnału
0	7,0	1,697	1,48	1606,8	38%
1	5,2	2,599	0,51	1287,1	31%
2	11,1	1,818	0,23	288,7	7%
3	6,9	1,230	0,36	203,4	5%
4	5,7	0,333	4,34	180,8	4%
5	5,8	1,331	0,21	138,4	3%
6	3,9	0,892	0,37	110,0	3%
Energia sygnału wyjaśniona				4198,4	
Energia sygnału całkowita				4422,0	



Rys. 11. Obraz przestrzenny i mapa Wignera-Ville'a drgań zarejestrowanych przez stację nr 1 – wstrząs w kopalni podziemnej  
 Fig. 11. Spatial image and map Wigner-Ville vibrations recorded by the station No. 1 – shock in underground mine



Rys. 12. Histogram atomów Gabora drgań zarejestrowanych przez stację nr 1 – roboty strzałowe  
 Fig. 12. Histogram of Gabor atoms of vibration recorded by station No. 1 – blasting works



Rys. 13. Histogram atomów Gabora drgań zarejestrowanych przez stację nr 1 – wstrząs w kopalni podziemnej  
 Fig. 13. Histogram of Gabor atoms of vibration recorded by station No. 1 – shock in underground mine

czas trwania wynosi 0,65 s, natomiast w strukturze drgań wzbudzonych wstrząsem atom 0 o amplitudzie 1,697 ma czas trwania 1,48 s, a wyjaśnia tylko 38% energii sygnału oryginalnego. Czas trwania poszczególnych atomów Gabora jest dobrze pokazany na mapach Wignera-Ville'a (rys. 10 i 11).

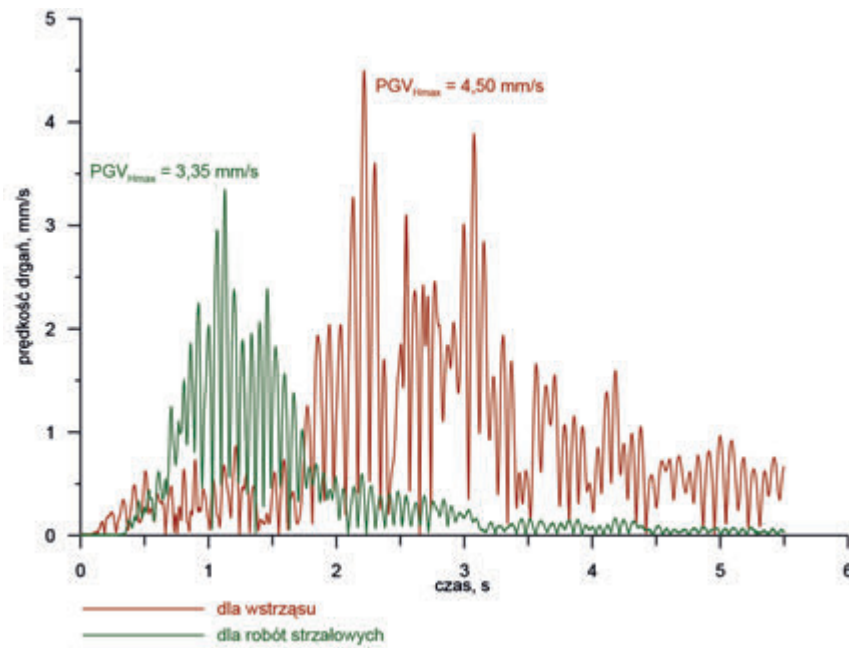
Informacje o porównywanych zdarzeniach zawarte w tabelach 3 i 4 zostały przedstawione graficznie na rysunkach 12 i 13 w postaci histogramów atomów Gabora. Informacja o częstotliwości atomu Gabora i jego amplitudzie została uzupełniona o procentowy udział atomu w wyjaśnieniu energii sygnału.

Porównując wyniki analiz tercjowej i MP należy stwierdzić, że filtrowanie tercjowe ogranicza informację do określonych

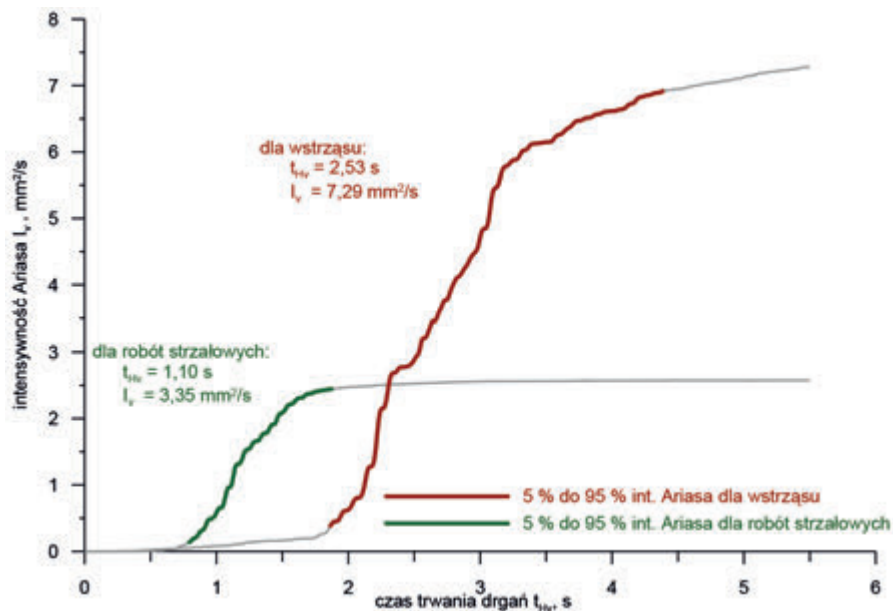
pasm częstotliwości i amplitudę przypisuje do częstotliwości środkowej pasma (zakres pasma znormalizowany i zawsze taki sam), natomiast analiza MP wskazuje częstotliwości bardzo precyzyjnie z podkreśleniem udziału energetycznego elementu składowego struktury drgań, jakim jest atom Gabora.

Dobrym przykładem efektu analizy MP są histogramy atomów Gabora, przedstawione na rysunkach 12 i 13 – w strukturze drgań od robót strzałowych zdecydowanie dominuje częstotliwość 7,5 Hz o najwyższej amplitudzie; w strukturze drgań generowanych wstrząsem atom Gabora o najwyższej amplitudzie wyjaśnia tylko 31% energii, analiza wskazuje jednocześnie szereg innych częstotliwości o zbliżonych wartościach amplitudy ale





Rys. 14. Zmienność w czasie wektora  $PGV_H$  drgań poziomych zarejestrowanych przez stację nr 1 – zdarzenia z rysunku 4  
 Fig. 14. Variability vector  $PGV_H$  in time of horizontal vibration registered by the station No. 1 - events from Fig. 4



Rys. 15. Obliczenie czasu trwania drgań zarejestrowanych przez stację nr 1 – zdarzenia z rysunku 4  
 Fig. 15. The calculation of the duration of the vibration recorded by the station No. 1 - events from Fig. 4

bardzo zróżnicowanym udziale energetycznym.

Podsumowując analizę MP należy podkreślić fakt, że pomimo iż drgania wzbudzone wstrząsem w kopalni mają bardziej złożoną strukturę częstotliwościową, zarówno w przypadku wstrząsu jak i drgań wzbudzonych robotami strzałowymi, zakres charakterystycznych częstotliwości w sygnale jak również amplitudy atomów Gabora są zbliżone, a o energii i oddziaływaniu decyduje czas trwania drgań. Ten właśnie aspekt został ujęty w analizie oddziaływania prowadzonej z zastosowaniem skal GSI.

### Ocena oddziaływania z zastosowaniem Górnicej Skali Intensywności $GSI_{GZWKV}$ 2012v

Od kilku lat do oceny oddziaływania wstrząsów pochodzenia górnicego, a więc zdarzeń sporadycznych, stosuje się Górnice Skale Intensywności (skale GSI) [1] [3]. Ważną zaletą tych skal jest ich nowoczesność i nowe podejście do oceny - na podstawie pomiaru drgań i przewidywanych skutków. Skutki dla drgań o

określonej intensywności zostały wskazane na podstawie licznych obserwacji zdarzeń. Najnowsza wersja skali (rok 2012) [1] zawiera również ocenę odporności dynamicznej budynków, co pozwala określić jaki poziom drgań podłoża jest dla obiektów bezpieczny, czyli gwarantuje brak wystąpienia uszkodzeń.

Dodać należy, że ewentualny pomiar drgań należy wykonywać na gruncie (w podłożu obiektów budowlanych).

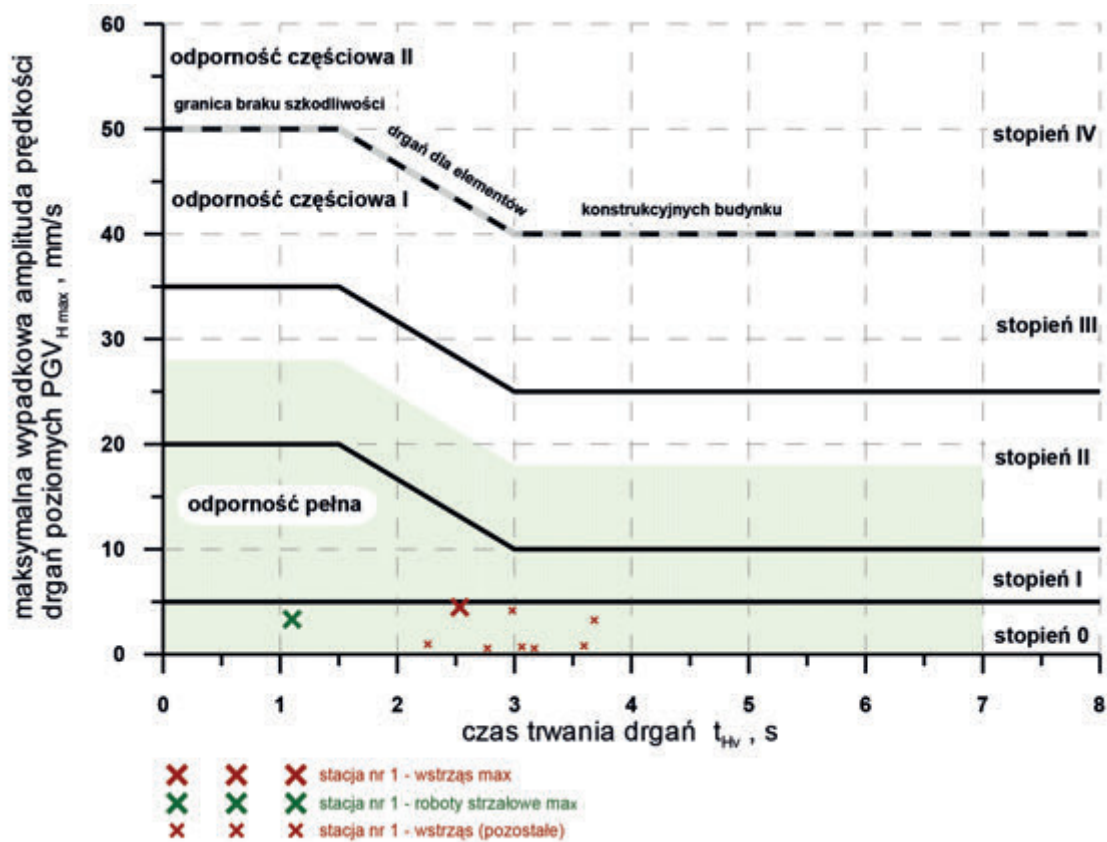
Parametry stosowane w skali GSI, to:

- maksymalna amplituda prędkości drgań poziomych  $PGV_{Hmax}$  wyznaczona jako wypadkowa poziomego maksimum długości wektora,
- czas trwania składowej poziomej prędkości drgań  $t_{Hv}$ , który oznacza przedział czasu zawarty pomiędzy tymi momentami czasowymi kiedy intensywność Ariasa osiąga 5% i 95% swojej wartości.

Zmienność wektora drgań poziomych w czasie oraz obliczenie czasu trwania drgań  $t_{Hv}$  dla zdarzeń przedstawionych na rysunku 4, przedstawiono na rysunkach 14 i 15.

Tab. 5. Obliczone parametry drgań dla oceny z zastosowaniem skali GSI  
 Tab.5. Calculated the vibration data to assess the use GSI scale

Nr stacji	Źródło drgań	$I_v$ , mm <sup>2</sup> /s	$t_{Hv}$ , s	PGV <sub>Hmax</sub> , mm/s
1	Roboty strzałowe	2,58	1,10	3,35
	Wstrząs w kopalni podziemnej	7,29	2,53	4,50



Rys. 16. Ocena intensywności drgań z zastosowaniem skali  $GSI_{GZWKW}$  2012v  
 Fig. 16. Assessment of vibration intensity using a scale  $GSI_{GZWKW}$  2012v

Porównanie parametrów drgań, dla robót strzałowych i wstrząsu, obliczonych dla przeprowadzenia oceny oddziaływania z zastosowaniem skali GSI, zestawiono w tabeli 5.

Z rysunków 18 i 19 oraz danych zawartych w tabeli 5 wynika, że drgania wzbudzone w czasie robót strzałowych mają prawie trzykrotnie mniejszą intensywność Ariasa, dwa razy krótszy czas trwania i istotnie mniejszy wektor prędkości drgań poziomych.

Wyniki analizy (według danych z tabeli 5) naniesiono na skalę  $GSI_{GZWKW}$  2012v (rys. 16). Dodatkowo na rysunku 16 przedstawiono również ocenę oddziaływania pozostałych zdarzeń zarejestrowanych przez stacje pomiarowe KSMD, a związanych z wstrząsami w kopalni podziemnej.

Z rysunku 16 wynika, że wszystkie zdarzenia należy zakwalifikować do stopnia 0 skali GSI, czyli są to drgania całkowicie nieszkodliwe dla wszystkich elementów konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych budynków oraz nie powodujące powiększania się uszkodzeń istniejących w budynkach. Ocena dotyczy budynków zarówno w dobrym stanie technicznym, jak również o dużym naturalnym zużyciu i w złym stanie technicznym.

## Podsumowanie

Przeprowadzone analizy pozwalają stwierdzić, że:

- zarówno drgania wzbudzone od robót strzałowych jak i

powodowane wstrząsami pochodzenia górniczego, to zdarzenia sporadyczne o krótkim czasie trwania, a co za tym idzie o krótkim czasie oddziaływania na obiekty budowlane,

- w analizowanym przykładzie charakterystyki częstotliwościowe drgań od obu źródeł są istotnie zbliżone,
- parametrem istotnie różniącym drgania jest intensywność Ariasa i energia generowanego sygnału sejsmicznego, co zostało potwierdzone zarówno analizą MP jak i oceną z zastosowaniem skali GSI,
- wprowadzenie parametru czasu do skal GSI pozwala na rozróżnienie skutków oddziaływania wstrząsów o różnych energiach,
- ważnym elementem oceny oddziaływania drgań na obiekty budowlane jest ich czas trwania i związana z nim energia; należy poszukiwać metod analitycznych pozwalających na identyfikację intensywności, częstotliwości i energii drgań.

Jest rzeczą charakterystyczną, że czas trwania drgań wzbudzanych robotami strzałowymi jest wyraźnie krótszy (rys. 15 i 16), a jednocześnie ocena ich oddziaływania, z zastosowaniem skal SWD i normy [4], nie uwzględnia tego parametru.

Brak parametru czasu w ocenach oddziaływania robót strzałowych skłania do podjęcia badań, które pozwolą, podobnie jak

w przypadku skal GSI, na uwzględnienie energii analizowanych drgań, które oddziałują na obiekty budowlane w otoczeniu kopalń odkrywkowych prowadzących eksploatację z użyciem MW.

## Literatura

- [1] Barański A., Leszek Kloc L., Kowal T., Mutke G.: *Górnicza Skala Intensywności Drgań GSIGZWKW-2012 w odniesieniu do odporności dynamicznej budynków*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 06/2014, 3-10, ISSN 2081-4224
- [2] Biessikirski R., Sieradzki J., Winzer J., Kilian A.: - *Metodyka oceny oddziaływania robót strzałowych z zastosowaniem Małej Stacji Monitoringu Drgań na przykładzie kopalni dolomitu Żelatowa*. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa Nr 43. Bezpieczeństwo robót strzałowych w górnictwie. Katowice 2002, 163-175, ISSN 1230-2643
- [3] Dubiński J., Mutke G.: *Skala górnicza GSI-2004-V do oceny oddziaływania drgań sejsmicznych od wstrząsów górniczych na powierzchnię LGOM – Problemy eksploatacji górniczej pod terenami zagospodarowanymi* – Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 2005, 80-91
- [4] PN-B-02170:1985: *Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki*
- [5] Sołtys A.: *Analiza oddziaływania na otoczenie drgań wzbudzanych przez roboty strzałowe z zastosowaniem metody Matching Pursuit*. Monografia – Wydawnictwa AGH Kraków 2015, 187 s, ISBN 978-83-7464-752-6
- [6] Pyra J., Sołtys A., Winzer J.: *Monitoring drgań wzbudzanych robotami strzałowymi – 2 lata pracy zautomatyzowanego systemu pomiarowego KSMD*. Przegląd Górniczy nr 7/2015. Katowice 2015, 7-15, ISSN 0033-216X



Z cyklu: „Pustka na granicy nicości”

Fot. Renata S-K