

## Analiza wpływów sejsmicznych na środowisko szybu przy prowadzeniu robót górniczych za pomocą materiałów wybuchowych – studium przypadku

The analysis of the impact of dynamic influences from the blasting works on the surrounding of the mining shaft - case study



*Dr inż. Józef Pyra\**



*Dr inż. Anna Sołtys\**



*Dr inż. Jan Winzer\**



*Mgr inż. Michał Dworzak\**



*Mgr inż. Andrzej Biessikirski\**

**Treść:** W artykule przedstawiono wyniki pomiarów drgań parasejsmicznych wykonanych podczas rozbudowy podszybia robotami górniczymi z użyciem materiałów wybuchowych. Wyniki rejestracji drgań na podszybiu i bezpośrednio na rurze szybowej posłużyły do wyznaczenia parametrów robót strzałowych do dalszego urabiania calizny z uwzględnieniem ochrony rury szybowej.

**Abstract:** The results of measurements of ground borne vibration are presented in this paper. Vibrations were generated by the blasting works which were conducted in the pit bottom. The ground vibrations were measured in the pit bottom and shaft collar. On the basis of the recorded vibrations, the authors were able to calculate blasting parameters which want cause any minor mining damage to the shaft collar.

**Słowa kluczowe:**

*roboty strzałowe, oddziaływanie, podszybie*

**Key words:**

*blasting works, dynamic influence, pit bottom*

\* ) AGH w Krakowie

## 1. Wprowadzenie

Efektym ubocznym użycia materiału wybuchowego (MW) w caliznie skalnej jest generowanie drgań rozchodzących się w otoczeniu miejsca wykonywania robót. Jeżeli w bezpośrednim sąsiedztwie detonacji materiału wybuchowego znajdują się obiekty budowlane, należy określić warunki wykonywania robót, celem ochrony tych obiektów przed ewentualnym szkodliwym oddziaływaniem.

Najczęściej jest to związane z określeniem dopuszczalnych (bezpiecznych) mas ładunków MW oraz sposobu ich odpalania. Wyznaczenie dopuszczalnych ładunków MW jest związane z koniecznością wyznaczenia równania propagacji i zasięgu strefy spękań. Podstawą do przeprowadzenia powyższych rozważań są wyniki pomiarów intensywności wzbudzanych drgań w danych warunkach kopalnianych. Jest to metodologia stosowana od szeregu lat w warunkach kopalń odkrywkowych [1 ÷ 5], wokół których znajduje się zazwyczaj bardzo rozbudowana infrastruktura. Odmienna sytuacja jest w przypadku kopalń podziemnych, gdzie roboty strzałowe zazwyczaj wykonywane są na dużych głębokościach i sygnał sejsmiczny nie dociera na powierzchnię do obiektów budowlanych. Jednakże zdarzają się sytuacje, gdzie użycie MW jest wymagane blisko podziemnych obiektów budowlanych kopalni np. w rejonie szybu. W takim przypadku należy wziąć pod uwagę możliwość uszkodzenia takiej infrastruktury.

## 2. Warunki geologiczno-górnice rejonu wykonywania robót górniczych

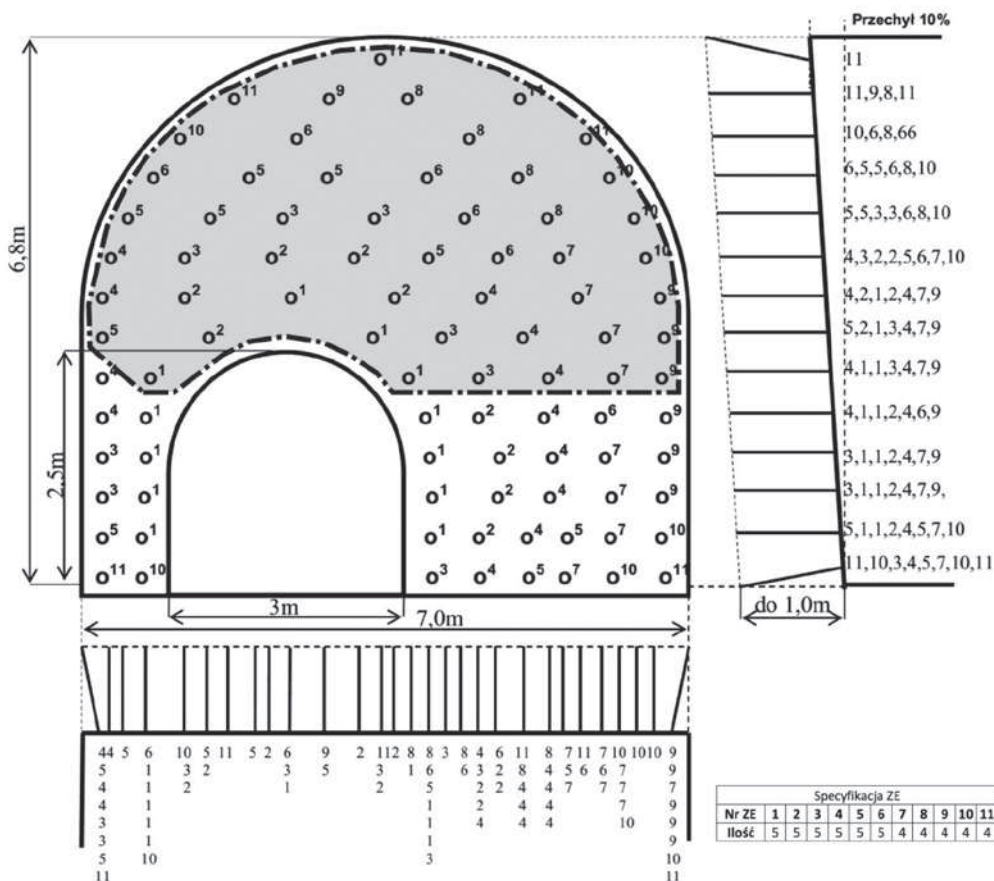
Przebudowa podszybia realizowana była według ustalonej technologii z podziałem na poszczególne segmenty. Lokalizacja obejmowała część górotworu zbudowanego z warstw siodłowych, w którym przeważały piaskowce i łupki piaszczyste. Wymienione warstwy skalne charakteryzowały się wskaźnikami wytrzymałościowymi przedstawionymi w tabelicy 1.

W sąsiedztwie szybu nie były prowadzone roboty eksploatacyjne, a jego rejon zaliczony był do I stopnia zagrożenia wodnego i klasy A zagrożenia wybuchem pyłu. Drażenie wyrobiska w pierwszym etapie wykonywane było zgodnie z metryką strzałową przedstawioną na rysunku 1, a w późniejszym etapie cały przekrój został podzielony na dwie serie (zaciemnione pole na rys. 1).

Urabianie odbywało się za pomocą MW emulsyjnego – Emulinit PM ( $\phi 32$  mm/300 g). Ładunki MW inicjowane były zapalnikami elektrycznymi węglowymi półsekundowymi GZEW-0,45A (0,5 s). Otwory zabezpieczone były przybitką z gliny do wylotu otworu. Zapalniki elektryczne łączone były w obwód szeregowo. Ładunek udarowy umieszczany był jako pierwszy od dna otworu (inicjacja tylna). Dopuszczalna liczba w jednej serii wynosiła 88 otworów, a maksymalny ładunek MW w całej serii wynosił 52,8 kg.

Tablica 1. Wskaźniki wytrzymałościowe dla różnych warstw górotworu  
Table 1. Rock mass mechanical parameters

Parametr	Piaskowiec	Łupek piaszczysty
wytrzymałość na ściskanie, $R_c$ , MPa	41,6	28,1
wytrzymałość na rozciąganie, $R_t$ , MPa	1,7	1,8
moduł sprężystości, E, GPa	15,0	6,1
liczba Poissona, $\nu$	0,23	0,27



Rys. 1. Metryka strzałowa dla wykonywania podszybia

Fig. 1. Blasting certificate for the pit bottom

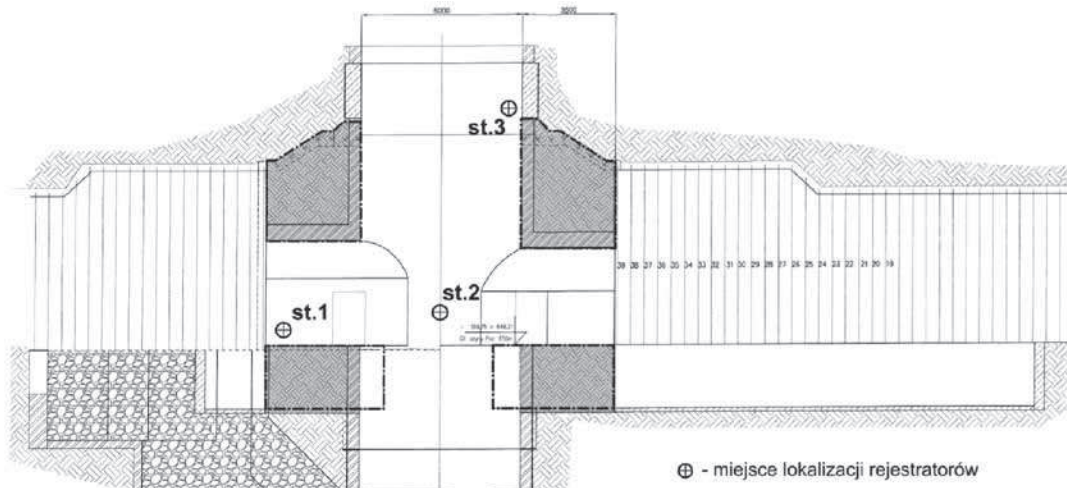
**3. Wyniki pomiarów parasejsmicznych**

Stanowiska pomiarowe zainstalowane były na obudowie chodników i szybu, a ich rozmieszczenie w stosunku do miejsca wykonywania robót przedstawiono na rysunkach 2 i 3:

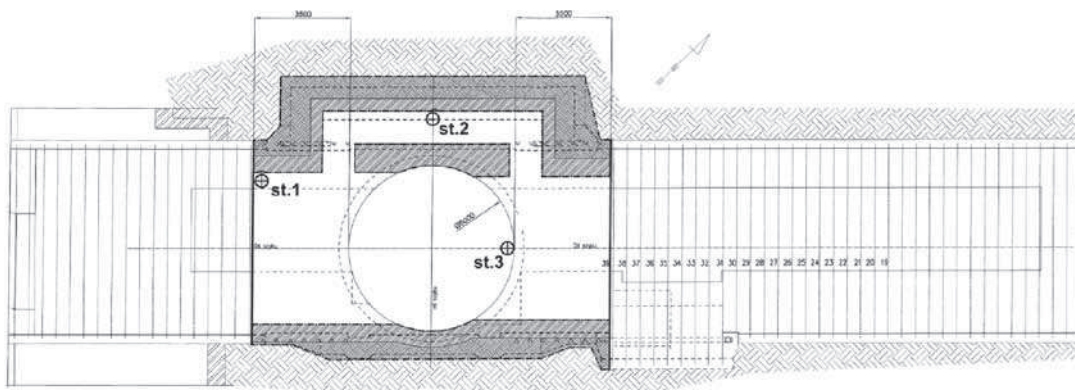
- stanowisko 1 – obudowa podszybia,
- stanowisko 2 – obudowa podszybia – przejście,
- stanowisko 3 – obudowa szybu.

Wyniki pomiarów z próbnej serii zestawiono w tabelicy 2, w której oprócz wielkości ładunków i odległości stanowisk pomiarowych, podano parametry zarejestrowanych drgań (prędkości  $u_z, u_x, u_y$ , odpowiadające im częstotliwości  $f_z, f_x, f_y$  na poszczególnych składowych oraz wektor przestrzenny  $u_{xy}$ ).

Przykładowy sejsmogram drgań, zarejestrowany na stanowisku 3 przedstawiono na rysunku 4.



**Rys. 2. Szkic rozmieszczenia stanowisk pomiarowych – rzut z przodu**  
**Fig. 2. Test stand - front view**



**Rys. 3. Szkic rozmieszczenia stanowisk pomiarowych – rzut z góry**  
**Fig. 3. Test stand - front view**

**Tablica 2. Wyniki pomiarów intensywności drgań parasejsmicznych**  
**Table 2. Results of the intensity of ground vibrations**

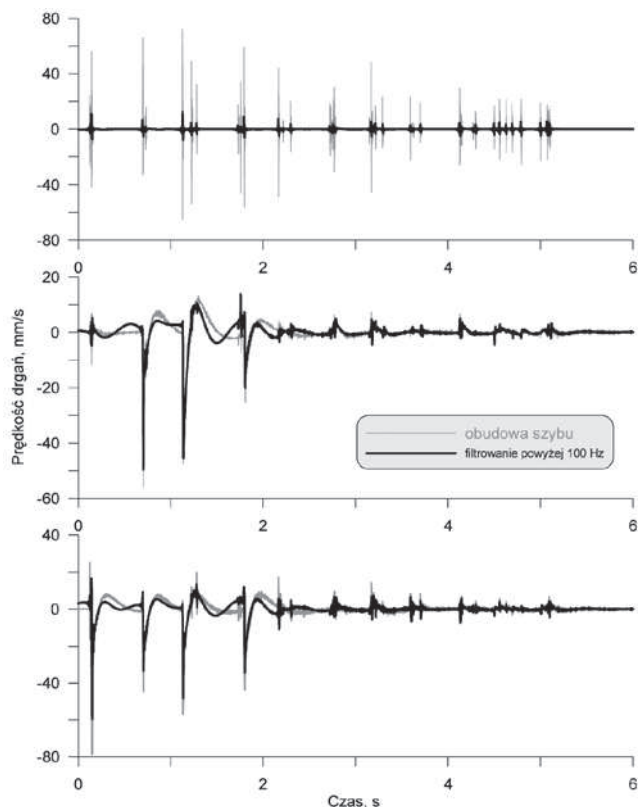
Lp. Record	$Q_c, Q_z$ n	Stano- wisko	Odleg- łość, m	Prędkość drgań, mm/s			Częstotliwość, Hz			Wektor, mm/s $u_{xy}$
				$u_z$	$u_x$	$u_y$	$f_z$	$f_x$	$f_y$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V535.4137	$Q_c = 30,0$ kg $Q_z = 2,4$ lub 3,0 kg $Q_o = 0,6$ kg n = 50	st. 1	19	6,38	15,77	8,99	296,0	156,0	155,0	19,241
				0,83	1,28	0,99	80,0	80,0	80,0	
				0,26	0,24	0,99	40,0	40,0	40,0	
V597.4167	n = 50	st. 2	9,5	12,03	13,11	13,16	237,0	272,0	198,0	22,130
				0,57	0,99	1,54	80,0	80,0	80,0	
				0,53	0,32	0,65	40,0	40,0	40,0	
V636.2348	n = 50	st. 3	3,5	72,34	55,99	78,52	208,0	6,87	6,60	120,550
				12,70	49,58	59,59	80,0	80,0	80,0	
				5,57	40,25	38,15	40,0	40,0	40,0	

Wyjaśnienie do tablicy 2:

Kolor czarny – analiza drgań bez filtrowania

Czcionka pogrubiona – analiza drgań po filtrowaniu filtrem dolnoprzepustowym 100 Hz

Pola zacienione – analiza drgań po filtrowaniu filtrem dolnoprzepustowym 50 Hz



Rys. 4. Przykładowy sejsmogram drgań zarejestrowanych na stanowisku 3

Fig. 4. Exemplary seismograph of the recorded ground vibrations

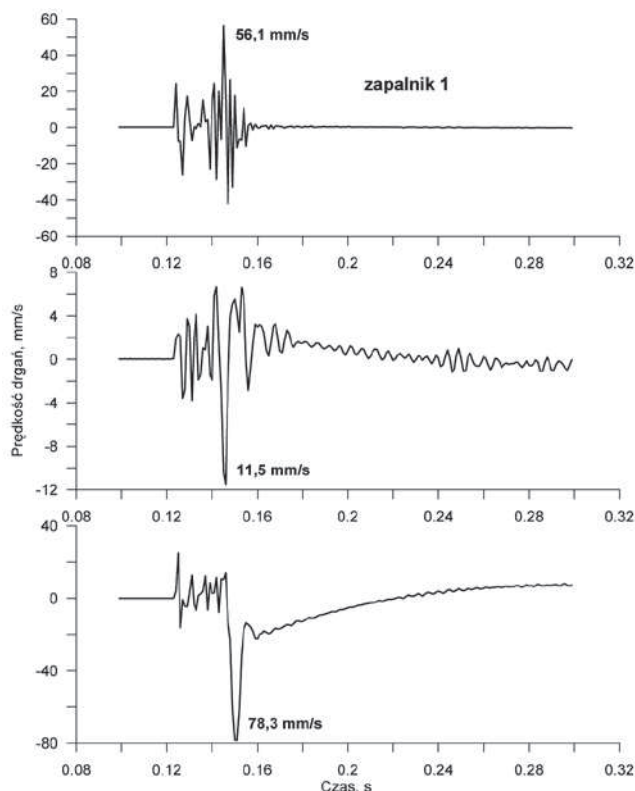
#### 4. Analiza wyników pomiarów intensywności drgań

Wyniki pomiarów zestawione w tabelicy 1 i wizualna analiza przykładowego sejsmogramu wskazują na skomplikowaną strukturę zarejestrowanych drgań, szczególnie zwraca uwagę fakt występowania bardzo wysokiej częstotliwości od 100 do prawie 300 Hz. Może to oznaczać, że są to rejestracje wynikające z działania fali akustycznej, a więc fali o niskiej energii. Jednak na stanowisku 3, położonym najbliżej detonujących ładunków MW, wyraźnie zaznacza się silny impuls energetyczny, szczególnie przy czterech pierwszych zapalnikach.

Impuls ten jest na tyle silny, że powoduje odejście składowej miernika drgań od położenia równowagi, a następnie wolniejszy powrót. Dla lepszego zrozumienia zjawiska, na rysunkach 5 i 6 przedstawiono zapisy drgań na stanowisku 3, ale podzielone na poszczególne numery zapalników (rys. 5 – zapalnik z nr 1, rys. 6 – zapalniki z nr 10 i 11). Zwraca uwagę fakt, że odmiennie niż składowe poziome zachowuje się składowa pionowa – zapisy na składowej z nie wykazują odchylenia.

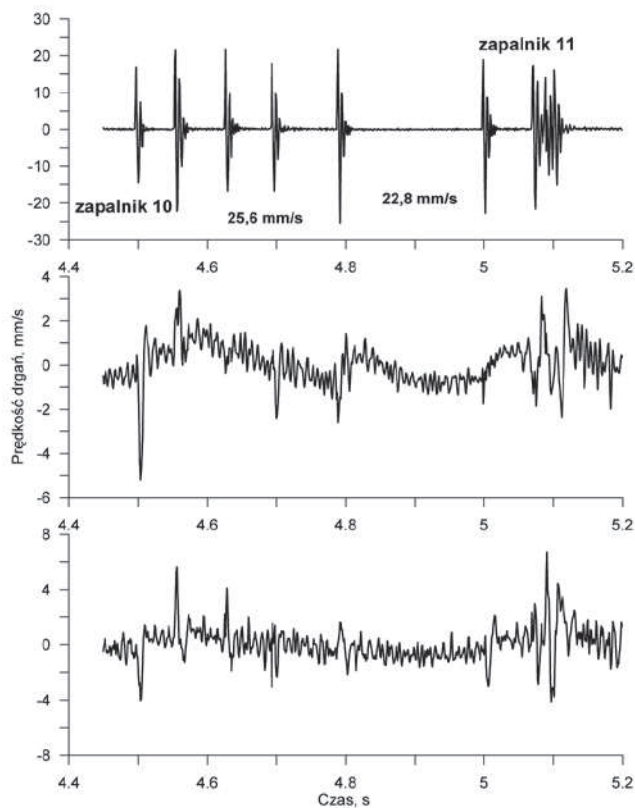
Analizując sposób wykonania robót strzałowych (rys. 1) można zauważyć, że pierwsze zapalniki o numerach od 1 do 6 inicjowały po pięć ładunków MW, a pozostałe po 4 ładunki. Jednocześnie wizualna analiza zapisów drgań wskazuje jednoznacznie na istotne różnice precyzji czasu odpalania w poszczególnych grupach zapalników. Wyższe numery mają dość duży rozrzut czasu odpalania, stąd jest większe prawdopodobieństwo, że poszczególne ładunki MW zdetonują w różnym czasie, mimo że inicjowane są zapalnikami o tych samym stopniu opóźnienia.

Oznacza to, że dla zmniejszenia energii uderzenia (pierwszy impuls) należy podjąć dwa działania:



Rys. 5. Sejsmogram drgań zarejestrowanych na stanowisku 3 – zapalnik nr 1

Fig. 5. Ground vibrations recorded on the test stand no 3 - detonator no 1



Rys. 6. Sejsmogram drgań zarejestrowanych na stanowisku 3 – zapalnik nr 10 i 11

Fig. 6. Ground vibrations recorded on the test stand no 3 - detonator no 10 and 11

- zmniejszyć liczbę i masę ładunków odpalanych pierwszymi numerami zapalników,
- można zwiększyć liczbę ładunków MW odpalanych zapalnikami od 6 numeru w górę.

Ocena oddziaływania drgań na obiekty budowlane (np. szyby) dotyczy drgań w niższym zakresie częstotliwości, najczęściej od 2 Hz do maksymalnie 100 Hz. Górna granica częstotliwości powinna być zdecydowanie niższa i nie przekraczać 40 Hz.

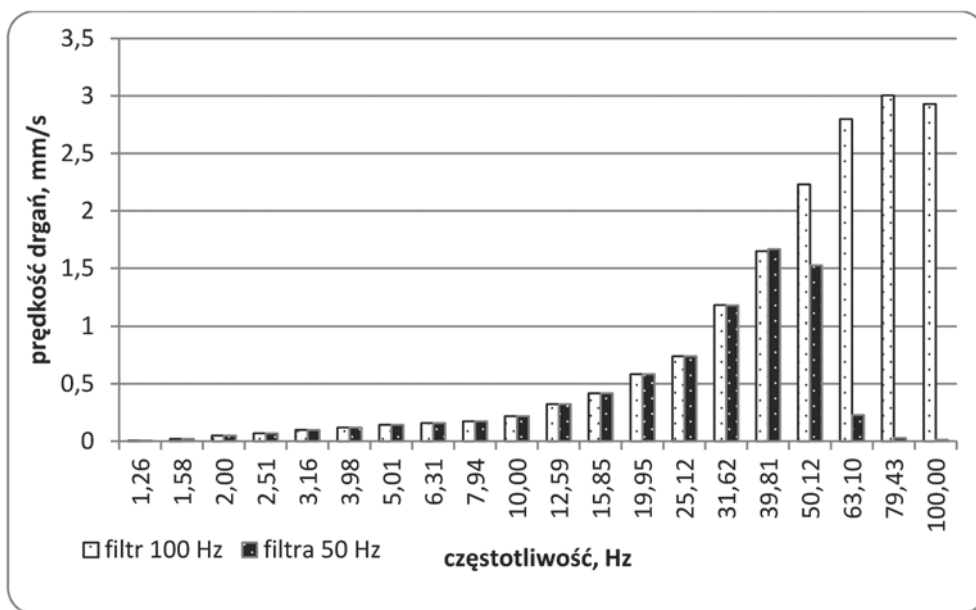
W związku z powyższym przebiegi drgań poddano filtrowaniu dolnoprzepustowemu do 100 Hz i do 50 Hz. Intensywność drgań po filtracji przedstawiono w tablicy 2. Jak widać intensywność drgań o niższej częstotliwości jest zdecydowanie niższa, co widać na przykładowym zapisie (rys.

4) dla przebiegu filtrowanego do 100 Hz (gruba czarna linia).

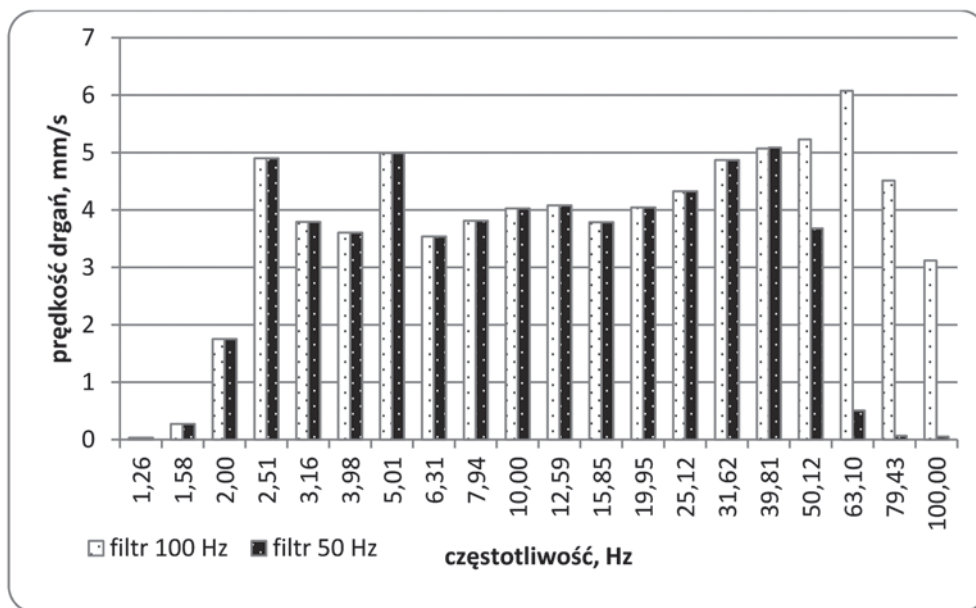
Analizując sejsmogramy drgań zarejestrowanych w serii 1 (odpalanie półsekundowe) można zauważyć, że efekt sejsmiczny, od kolejno odpalanych ładunków, jest wyraźnie rozdzielony w czasie. Oznacza to, że o intensywności drgań decyduje tylko ładunek przypadający na stopień opóźnienia.

Dla dokładniejszego rozpoznania struktury zarejestrowanych drgań przeprowadzono również analizę tercjową, która pozwala określić częstotliwości dominujące w określonych przedziałach. Analizie poddano sejsmogramy po filtrowaniu dolnoprzepustowym filtrem 100 Hz i 50 Hz.

Efekt analizy dla stanowiska 3 przedstawiono na rysunkach 7 i 8 dla składowej pionowej i poziomej.



Rys. 7. Histogram drgań – składowa pionowa z – stanowisko 3  
 Fig. 7. Ground vibrations histogram - vertical direction - test stand no 3



Rys 8. Histogram drgań – składowa pozioma x – stanowisko 3  
 Fig. 8. Ground vibrations histogram - longitudinal direction - test stand no 3

Analiza tercjowa wskazuje, że w strukturze drgań, po odfiltrowaniu częstotliwości ponad 100Hz i ponad 50 Hz, w dalszym ciągu dominują częstotliwości wysokie, zbliżone do granicznych dla filtrów, przy niewielkim udziale częstotliwości niższych, w przypadku składowej poziomej z, a to oznacza że drgania niosą niską energię.

Odmienne wygląda sytuacja w przypadku składowej poziomej x, gdzie dominują częstotliwości w całym zakresie działania filtrów tercjowych, to jest od 1 Hz do 100 Hz. Stanowisko nr 3 zlokalizowane było najbliżej miejsca detonacji ładunków MW – około 3,5 m, co spowodowało, w przeciwieństwie do stanowisk 1 i 2, zapis drgań również o niskich częstotliwościach. Jednakże drgania te są silnie tłumione, i na stanowiskach dalszych (st. 2 i 3) mają bardzo niski poziom.

## 5. Podsumowanie

Celem przeprowadzonych pomiarów intensywności drgań było określenie intensywności drgań wzbudzanych robotami strzałowymi przy rozbudowie podszybia szybu w jednej z kopalń węgla kamiennego. Przeprowadzone analizy wskazują, że do dalszych rozważań należy przyjmować wartości charakterystyczne dla niższych częstotliwości, czyli wartości oznaczone czcionką pogrubioną i pole zaciemnione w tablicy 2.

Drgania o wyższych częstotliwościach, przekraczających 100 Hz nie mają istotnego wpływu na obiekty budowlane.

W związku z faktem rejestrowania bardzo dużych prędkości drgań na najbliższym stanowisku zaproponowano ograniczenie masy ładunku MW przypadającego na opóźnienie do 600 g.

Po zbliżeniu się na odległości 1,5 m należy zmniejszyć zabiór do 0,5 m, a ładunek otworu do 300 g, a na jeden stopień opóźnienia do 600 g. Ostatni metr powinien być wykonywany bez użycia MW lub prowadzić roboty pojedynczymi otworami o ładunku 300 g.

## **Praca zrealizowana w ramach badań statutowych nr 11.11.100.597**

### Literatura

1. *Biessikowski R., Winzer J.*: Określenie warunków bezpiecznego wykonywania robót strzałowych w górnictwie odkrywkowym surowców skalnych Działalność profilaktyczna w kopalniach odkrywkowych – Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 5/165/2008.
2. *Onderka Z.*: Technika strzelnicza w górnictwie odkrywkowym . Skrypt nr.1241. AGH Kraków 1992.
3. *Onderka Zb., Sieradzki J., Winzer J.*: – Technika strzelnicza 2 – Wpływ robót strzelniczych na otoczenie kopalń odkrywkowych – AGH UWND Kraków 2003.
4. PN-B-02170:1985 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki
5. *Winzer J.*: Przyczynek do dyskusji nad oddziaływaniem drgań na obiekty otoczenia kopalń odkrywkowych. ZG SITG, Katowice 2008, Przegląd Górnicy, nr 2, s. 10 ÷ 19.

Nr stopnia opóźnienia zapalnika	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Liczba otworów	2	2	2	3	3	4	4	4	5	5	5
Masa MW na jedno opóźnienie	1,2 kg	1,2 kg	1,2 kg	1,8 kg	1,8 kg	2,4 kg	2,4 kg	2,4 kg	3,0 kg	3,0 kg	3,0 kg