

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10) **PL 244881 B1**

(12)

## Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **441279**

(22) Data zgłoszenia: **2022.05.26**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.11.27 BUP 48/2023**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.03.18 WUP 12/2024**

(51) MKP:

**F42D 1/055** (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:  
**POLTEGOR-INSTYTUT INSTYTUT  
GÓRNICICTWA ODKRYWKOWEGO, Wrocław, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:  
**TADEUSZ CHRZAN, Wrocław, PL**

(74) Pełnomocnik:  
**rzecz. pat. Tomasz Szelwiga, Wrocław, PL**

(54) Tytuł:

**Sposób wyznaczania zwłoki międzysrzałowej podczas urabiania złoża przy użyciu ładunków materiałów wybuchowych**

**PL 244881 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wyznaczania zwłoki międzystrzałowej podczas urabiania złoża przy użyciu ładunków materiałów wybuchowych mający zastosowanie w górnictwie odkrywkowym.

Wykonywanie prac w górnictwie odkrywkowym z użyciem materiałów wybuchowych prowadzi do powstania drgań parasejsmicznych, które powodują drgania urabianego złoża a następnie gruntu poza złożem. Drgania te przenoszą się poprzez propagacje fal parasejsmicznych we wszystkich kierunkach i działają szkodliwie na infrastrukturę drogową i mieszkalną. Dotychczas przyjmuje się, że wartość szkodliwego oddziaływania robót strzałowych, czyli amplitudy wychylenia, prędkości lub przyspieszenia części drgającego ośrodka, zależy od wielkości odstrzelanego ładunku materiału wybuchowego oraz od odległości między kopalnią a chronionym obiektem. Parametrem pozwalającym porównywać szkodliwość drgań spowodowanych strzelaniem, za pomocą materiałów wybuchowych, jest przykładowo wartość wektora poziomej stycznej prędkości drgań parasejsmicznych i odpowiadająca temu wektorowi – częstotliwość. Parametry te związane są z warunkami geologiczno-tektonicznymi złoża, wymiarami odstrzelanego bloku i zmienianym miejscem prowadzonych robót strzałowych wynikających z postępu wydobywania. Jedną z metod oceny szkodliwego wpływu drgań gruntu na budynki, w polu bliskim, podczas urabiania bloku skalnego strzelaniem, jest bezpośredni pomiar parametrów drgań na budynku, w tym przykładowo wartości wektora poziomej stycznej prędkości drgań i jej częstotliwości. Odpowiednio zinterpretowane wyniki pomiarów umożliwiają zastosowanie skal empirycznych podanych w polskiej normie. Skale empiryczne zostały utworzone do prognozowania skutków szkodliwego oddziaływania drgań, w zależności od wartości parametrów drgań gruntu działających na budynki. Polska norma PN-B-02170:2016-12, w zależności od największej wartości wektora poziomej stycznej lub radialnej prędkości drgań oraz jej częstotliwości drgań po tercjowaniu w przedziałach 1/3 oktawowych, określa stopień szkodliwego oddziaływania drgań na budynki mieszkalne. Pomiary poziomej stycznej prędkości drgań wykonuje się prostopadle do linii łączącej punkt pomiarowy ze źródłem drgań. Za źródło drgań przyjmuje się środkowy otwór pierwszego szeregu otworów strzałowych. Pole bliskie jest to odległość od źródła drgań, w którym częstotliwość drgań ośrodka w czasie strzelania zmienia się po zależności sinusoidalnej.

Szkodliwość drgań parasejsmicznych powstających po odpaleniu ładunków materiałów wybuchowych wymusza konieczność doboru właściwej zwłoki czasowej dla odpalenia materiału wybuchowego w otworze drugim i następnych, czyli czasu zwłoki milisekundowej powodującej wygaszenie drgań spowodowanych odpaleniem ładunku materiału wybuchowego poprzedniego otworu.

Z naukowej literatury dotyczącej drgań parasejsmicznych znane są wzory empiryczne do obliczania okresu drgań fali parasejsmicznej, aby do niego dobrać czas zwłoki milisekundowej podczas strzelania. Okres drgań  $T$  fali parasejsmicznej określa się z kilku empirycznych zależności [Onderka (2003), Sieradzki, Winzer, Grześkowiak (2019), Sołtys (2011)]: 1)  $T = 0,023[Q_c]^{(0,185)}$ , 2)  $T = [Q_c]^{(0,33)}$ , 3)  $T = k \lg r$ , gdzie:  $k = 0,01-0,13$ ;  $r$  – odległość od źródła drgań w [m];  $Q_c$  – całkowita ilość MW (materiału wybuchowego) użyta do strzelania w [kg],  $k = 0,01$  skały zwarte,  $k = 0,13$  skały słabe i zawodnione. Pierwsza zależność nie uwzględnia ciśnienia i siły materiału wybuchowego, a otrzymywane wyniki z tej zależności są mniejsze niż otrzymywane z pomiarów. Zależność druga daje czas odpalenia następnego otworu w przedziale 10–50 ms. Z zależności trzeciej otrzymywane wyniki są tego samego rzędu, co otrzymywane z pomiarów. Zależności te są również niedokładne, ponieważ nie uwzględniają częstotliwości drgań zmieniającej się po krzywej sinusoidalnej w polu bliskim i tłumienia drgań w polu dalekim.

Dla różnych wartości kąta kierunkowego pomiędzy linią otworów strzałowych a linią łączącą źródło drgań z chronionym przed drganiami parasejsmicznymi obiektem otrzymuje się wartości poziomej stycznej prędkości raz większe, a drugi raz mniejsze od wartości radialnej poziomej. Taka zmiana wyżej wymienionej wartości charakteryzuje kołową kierunkowość sumy poziomej stycznej i radialnej prędkości drgań. Największe wartości wektora poziomej stycznej lub poziomej radialnej prędkości drgań zgodnie z Polską Normą służą do określania rodzaju uszkodzeń powstających w chronionym przed drganiami obiekcie.

Znany jest ze zgłoszenia polskiego wynalazku P.434974 sposób mający zastosowanie do zmniejszenia wielkości drgań spowodowanych poziomą radialną prędkością drgań, w którym określa się maksymalną poziomą radialną częstotliwość drgań w złożu. Sposób określania maksymalnej poziomej radialnej częstotliwości drgań w złożu spowodowanej parasejsmiczną poziomą falą radialną w polu bliskim podczas urabiania bloku skalnego strzelaniem polega na pomiarach prędkości fali podłużnej na próbkach skalnych i częstotliwości poziomej radialnej drgań złoża w czasie strzelania oraz obliczeniu na tej

podstawie maksymalnej poziomej radialnej częstotliwości drgań w badanym złożu. Pomiar prędkości fali podłużnej są wykonywane na próbkach skalnych w punktach pomiarowych przed czołem urabianego bloku skalnego. Sposób ten ma zastosowanie w górnictwie odkrywkowym, do określenia czasu odpalenia ładunku materiału wybuchowego następnego otworu, czyli czasu zwłoki milisekundowej powodującej wygaszenie drgań, spowodowanych odpaleniem ładunku materiału wybuchowego poprzedniego otworu na kierunku X. Istota tego rozwiązania polega na tym, że na pobranych z odstrzelanego bloku skalnego minimum 3 próbkach skalnych o zorientowanych kierunkach, na kierunku radialnym określamy prędkość fali podłużnej. Następnie w czasie urabiania strzelaniem badanego bloku przed jego czołem w punkcie pomiarowym odległym o około 250 m od źródła drgań dokonuje się pomiaru poziomej radialnej częstotliwości drgań. Mając pomierzone wartości radialnej częstotliwości i prędkości fali podłużnej podstawia się je do zależności:  $f_{ir\ max} = f_{ir} / \sin(fr * 360 * t)$ , z której oblicza się maksymalną poziomą radialną częstotliwość drgań w urabianym strzelaniem złożu, gdzie:  $f_{r\ max}$  – maksymalna pozioma radialna częstotliwość drgań w urabianym strzelaniem złożu,  $f_r$  – częstotliwość pozioma radialna drgań pomierzona w odległości około 250 m podzielona przez funkcję sinus,  $t$  – czas przejścia fali podłużnej jako stosunek odległości punktu pomiarowego od źródła drgań do średniej z trzech pomiarów na próbkach prędkości fali podłużnej.

W naukowej literaturze krajowej i światowej dotyczącej drgań parasejsmicznych nie ma obecnie żadnej teoretycznej oraz korelacyjnej zależności do obliczania maksymalnej częstotliwości drgań poziomej stycznej fali parasejsmicznej, a zatem brak możliwości doboru właściwej zwłoki czasowej dla odpalenia ładunku materiału wybuchowego w otworze drugim i następnych, czyli czasu zwłoki milisekundowej powodującej wygaszenie drgań spowodowanych odpaleniem ładunku materiału wybuchowego poprzedniego otworu. Dobór właściwej zwłoki czasowej dla otworu drugiego i następnych ma znaczny wpływ na wartość szkodliwych drgań parasejsmicznych powstających przy przejściu poziomej stycznej fali parasejsmicznej.

Problemem jaki stoi do rozwiązania przed przedmiotowym wynalazkiem jest rozwiązanie umożliwiające obliczenie czasu zwłoki międzystrzałowej dla odpalenia ładunków materiałów wybuchowych w otworze drugim i następnych na podstawie jednego odstrzału w oparciu o maksymalną częstotliwość drgań poziomej stycznej fali parasejsmicznej w urabianym złożu, które spowodowane są parasejsmiczną poziomą falą styczną w polu bliskim na kierunku równoległym do linii otworów strzałowych.

Sposób wyznaczania zwłoki międzystrzałowej podczas urabiania złoża przy użyciu ładunków materiałów wybuchowych, w którym ładunki materiałów wybuchowych umieszcza się w wielu, o zbliżonych rozmiarach, rozmieszczonych w linii otworach strzałowych; **według wynalazku charakteryzuje się tym**, iż z odstrzelanego bloku skalnego, na długości jego dłuższego boku, pobiera się, z miejsc rozmieszczonych w jednakowej odległości od siebie, trzy bryły skalne A, B, C o wymiarach co najmniej  $X = 10\text{ cm}$ ,  $Y = 15\text{ cm}$ ,  $Z = 12\text{ cm}$ , gdzie  $X$  jest wymiarem prostopadłym do linii otworów strzałowych,  $Y$  wymiarem równoległym do linii otworów strzałowych, a  $Z$  wymiarem pionowym; przy bryłach skalnych A, B, C na kierunku  $Y$  umieszcza się głowice przyrządu ultradźwiękowego i dokonuje się pomiaru czasu przejścia przez nie fali podłużnej, następnie dzieli się sumę wymiarów brył skalnych A, B, C na kierunku  $Y$  przez sumę czasów przejścia fali podłużnej pomierzonej dla każdej bryły A, B, C na kierunku  $Y$  i otrzymuje się średnią prędkość fali podłużnej  $V_y$  na kierunku  $Y$ ; potem, w czasie urabiania bloku skalnego strzelaniem, przed czołem urabianego bloku, w punkcie pomiarowym D umieszczonym w linii prostopadłej do linii otworów strzałowych, gdzie linia otworów strzałowych umieszczona jest w środkowym otworze strzałowym lub w środku linii otworów strzałowych a punkt pomiarowy D w odległości do 310 m od źródła drgań, za pomocą czujnika drgań dokonuje się na kierunku  $Y$  pomiaru poziomej stycznej częstotliwości drgań  $f_{yrm}$ , po czym na podstawie pomierzonych wartości średniej prędkości fali podłużnej  $V_y$  i poziomej stycznej częstotliwości drgań  $f_{yrm}$  wyznacza się wartość maksymalną poziomej stycznej częstotliwości drgań  $f_{y\ max}$  w badanym złożu, którą wyraża funkcja  $f_{y\ max} = f_{yrm} / \sin(f_{yrm} * 360 * t)$ , czyli stosunek wartości poziomej stycznej częstotliwości drgań  $f_{yrm}$  otrzymanej dla punktu pomiarowego D do funkcji sinus o zawartości kąta równej iloczynowi poziomej stycznej częstotliwości drgań  $f_{yrm}$  otrzymanej dla punktu pomiarowego D oraz wartości kąta pełnego równego  $360^\circ$  i czasu  $t$  przejścia fali podłużnej do punktu pomiarowego D, gdzie  $t = D/V_y$ , czyli stanowi stosunek odległości punktu pomiarowego D od źródła drgań do pomierzonej na bryłach skalnych A, B, C średniej prędkości fali podłużnej  $V_y$ ; a na koniec na podstawie otrzymanej wartości maksymalnej poziomej stycznej częstotliwości drgań  $f_{y\ max}$ , w polu bliskim badanego złoża, zmieniającej się po zależności sinusoidalnej określa

się jej okres  $T_y$ , gdzie  $T_y = 1/f_y \max$ , czyli stanowi stosunek wartości 1 do maksymalnej poziomej stycznej częstotliwości drgań  $f_y \max$ , przy czym czas równy połowie okresu  $T_y$  jest czasem zwłoki międzystrzałowej dla ładunków wybuchowych umieszczonych w kolejnych otworach strzałowych.

Dla powtarzalnych odstrzałów ładunków wybuchowych umieszczonych w wielu otworach, o zbliżonych rozmiarach, rozmieszczonych w linii otworów strzałowych, na podstawie jednego strzelania uzyskano możliwość dokładnego obliczenia maksymalnej poziomej stycznej częstotliwości drgań w złożu w polu bliskim. Pozwala to na określenie czasu zwłoki odpalenia materiału wybuchowego umieszczonego w drugim, i w następnie kolejno odpalanych otworach, tak aby następowało 100% wytłumienie drgań, spowodowane odpaleniem ładunku materiału wybuchowego poprzedniego otworu. Odpalenie ładunku materiału wybuchowego w drugim otworze w punkcie czasowym  $T_y/2$  spowoduje 100% wygaszenie drgań wywołanych przez ładunek materiału wybuchowego umieszczony w otworze pierwszym na kierunku Y, czyli kierunku równoległym do linii otworów strzałowych.

Sposób wyznaczania zwłoki międzystrzałowej w przykładzie realizacji pierwszym według wynalazku polega na tym, iż z odstrzeliwanego bloku skalnego, na długości jego dłuższego boku, pobiera się, z miejsc rozmieszczonych w jednakowej odległości od siebie, trzy bryły skalne A, B, C o wymiarach co najmniej  $X = 10$  cm,  $Y = 15$  cm,  $Z = 12$  cm, gdzie X jest wymiarem prostopadłym do linii otworów strzałowych, Y wymiarem równoległym do linii otworów strzałowych, a Z wymiarem pionowym. Przy bryłach skalnych A, B, C, które na kierunku Y, mają wymiar 15 cm, umieszcza się głowice przyrządu ultradźwiękowego i dokonuje się pomiaru czasu przejścia przez nie fali podłużnej. Kolejno dzieli się sumę długości brył skalnych A, B, C na kierunku Y wynoszącą 45 cm ( $3 \times 15$  cm) przez sumę czasów przejścia fali podłużnej pomierzonej dla każdej bryły A, B, C na kierunku Y, która wynosi 0,000127 s (wartość otrzymana z rzeczywistego pomiaru), i otrzymuje się średnią prędkość fali podłużnej  $V_y$  na kierunku Y równą  $V_y = 3543$  m/s. Następnie w czasie urabiania strzelaniem badanego bloku skalnego, przed jego czołem, w punkcie pomiarowym D umieszczonym na linii prostopadłej do linii otworów strzałowych, gdzie linia otworów strzałowych umieszczona jest w środkowym otworze strzałowym lub w środku linii otworów strzałowych a punkt pomiarowy D w odległości 281,6 m od źródła drgań, na kierunku Y stycznym, dokonuje się pomiaru poziomej stycznej częstotliwości drgań  $f_{ym}$ . Na potrzeby zilustrowania przykładu według wynalazku przyjęto występującą w rzeczywistych badaniach wartość pomiaru poziomej stycznej częstotliwości drgań w punkcie pomiarowym D, a mianowicie  $f_{ym} = 23,1$  Hz. Mając pomierzone wartości poziomej stycznej częstotliwości drgań wynoszącej  $f_{ym} = 23,1$  Hz i średnią prędkości fali podłużnej na kierunku Y,  $V_y = 3543$  m/s, podstawia się je do zależności:

$$f_y \max = \frac{f_{ym}}{\sin(f_{ym} \cdot 360^\circ \cdot t)}$$

gdzie:

$f_y \max$  – wartość maksymalna pozioma styczna częstotliwość drgań występująca w danym złożu przy urabianiu bloku skalnego jednym rzędem otworów;

$f_{ym}$  – wartość poziomej stycznej częstotliwości drgań otrzymana w punkcie pomiarowym D odległym o 281,6 m od źródła drgań;

t – czas przejścia fali podłużnej, obliczany jako stosunek odległości punktu pomiarowego D od źródła drgań do średniej prędkości fali podłużnej  $V_y$  (średniej z trzech pomiarów prędkości fali podłużnej uzyskanych dla brył A, B i C),  $t = 281,6$  (m) /  $V_y = 3543$  (m/s) = 0,0795 s.

Po podstawieniu i obliczeniu otrzymujemy:

$$f_y \max = 23,1 / \sin(23,1 \cdot 360^\circ \cdot 0,0795) = 23,1 / 0,856 = 27,0 \text{ Hz}$$

Na podstawie otrzymanej wartości maksymalnej poziomej stycznej częstotliwości drgań  $f_y \max$  równej 27,0 Hz w polu bliskim badanego złoża zmieniającej się po zależności sinusoidalnej określa się jej okres  $T_y$  na podstawie zależności  $T_y = 1/f_{ymax}$  – stosunek wartości 1 do maksymalnej poziomej stycznej częstotliwości drgań  $f_y \max$ . W niniejszym przykładzie realizacji okres  $T_y = 0,0370$ . Czas równy połowie okresu  $T_y$  i wynoszący 0,0185 jest czasem zwłoki międzystrzałowej dla ładunków wybuchowych umieszczonych w kolejnych otworach strzałowych. Odpalenie ładunku materiału wybuchowego w drugim otworze w punkcie czasowym  $T_y/2$  spowoduje 100% wygaszenie drgań wywołanych przez ładunek materiału wybuchowego umieszczony w otworze pierwszym na kierunku Y, czyli kierunku równoległym do linii otworów strzałowych. Dotyczy to także następnych otworów.

Sposób wyznaczania zwłoki międzystrzałowej w przykładzie realizacji drugim według wynalazku przebiega podobnie jak w przypadku realizacji pierwszym, z tą różnicą, iż pomiaru poziomej stycznej

częstotliwości drgań dokonano w punkcie pomiarowym D oddalonym o 310 m od źródła drgań. Wartość pomiaru poziomej stycznej częstotliwości drgań w punkcie pomiarowym D wyniosła  $f_{ym} = 21,21$  Hz (wartość ustalono podobnie jak w przykładzie realizacji pierwszym według wynalazku).

Dla powyższych wartości maksymalna pozioma styczna częstotliwości drgań  $f_{y \max}$  wynosi:

$$f_{y \max} = 21,21 / \sin(21,21 * 360^\circ * 0,0875) = 21,21/0,787 = 26,95 \text{ Hz}$$

$$\text{gdzie } t = 310 \text{ m} / V_y = 3543 \text{ m/s} = 0,0875 \text{ s}$$

Na podstawie otrzymanej wartości maksymalnej poziomej stycznej częstotliwości drgań  $f_{y \max}$  równej 27,0 Hz, w polu bliskim badanego złoza, zmieniającej się po zależności sinusoidalnej określa się jej okres  $T_y$  z zależności  $T_y = 1/f_{y \max}$  – stosunek wartości 1 do maksymalnej poziomej stycznej częstotliwości drgań  $f_{y \max}$ . W niniejszym przykładzie realizacji okres  $T_y = 0,037$ . Czas równy połowie okresu  $T_y$  i wynoszący 0,0185 jest czasem zwłoki międzystrzałowej dla ładunków wybuchowych umieszczonych w kolejnych otworach strzałowych. Odpalenie ładunku materiału wybuchowego w drugim otworze w punkcie czasowym  $T_y/2$  spowoduje 100% wygaszenie drgań wywołanych przez ładunek materiału wybuchowego umieszczony w otworze pierwszym na kierunku Y, czyli kierunku równoległym do linii otworów strzałowych. Dotyczy to także następnych otworów.

Na potrzeby zilustrowania przykładu realizacji według wynalazku przyjęto przykładowe wartości poszczególnych parametrów  $f_{ym}$  i czasów przejścia fali podłużnej pomierzonej dla każdej bryły A, B, C na kierunku Y, z uwagi, iż sposób ich wyznaczania jest znany, należy do stanu techniki i nie zagłębiano się w szczegóły pomiarów.

## Zastrzeżenie patentowe

1. Sposób wyznaczania zwłoki międzystrzałowej podczas urabiania złoza przy użyciu ładunków materiałów wybuchowych, w którym ładunki materiałów wybuchowych umieszcza się w wielu, o zbliżonych rozmiarach, rozmieszczonych w linii otworach strzałowych; **znamienny tym**, że z odstrzelivanego bloku skalnego, na długości jego dłuższego boku, pobiera się, z miejsc rozmieszczonych w jednakowej odległości od siebie, trzy bryły skalne (A, B, C) o wymiarach co najmniej  $X = 10$  cm,  $Y = 15$  cm,  $Z = 12$  cm, gdzie X jest wymiarem prostopadłym do linii otworów strzałowych, Y wymiarem równoległym do linii otworów strzałowych, a Z wymiarem pionowym; przy bryłach skalnych (A, B, C) na kierunku Y umieszcza się głowice przyrządu ultradźwiękowego i dokonuje się pomiaru czasu przejścia przez nie fali podłużnej, następnie dzieli się sumę wymiarów brył skalnych (A, B, C) na kierunku Y przez sumę czasów przejścia fali podłużnej pomierzonej dla każdej bryły (A, B, C) na kierunku Y i otrzymuje się średnią prędkość fali podłużnej ( $V_y$ ) na kierunku Y; potem, w czasie urabiania bloku skalnego strzelaniem, przed czołem urabianego bloku, w punkcie pomiarowym (D) umieszczonym w linii prostopadłej do linii otworów strzałowych, gdzie linia otworów strzałowych umieszczona jest w środkowym otworze strzałowym lub w środku linii otworów strzałowych a punkt pomiarowy (D) w odległości do 310 m od źródła drgań, za pomocą czujnika drgań dokonuje się na kierunku Y pomiaru poziomej stycznej częstotliwości drgań  $f_{ym}$ , po czym na podstawie pomierzonych wartości średniej prędkości fali podłużnej ( $V_y$ ) i poziomej stycznej częstotliwości drgań ( $f_{ym}$ ) wyznacza się wartość maksymalną poziomej stycznej częstotliwości drgań ( $f_{y \max}$ ) w badanym złożu, którą wyraża funkcja  $f_{y \max} = f_{ym}/\sin(f_{ym} * 360^\circ * t)$ , czyli stosunek wartości poziomej stycznej częstotliwości drgań ( $f_{ym}$ ) otrzymanej dla punktu pomiarowego (D) do funkcji sinus o zawartości kąta równej iloczynowi poziomej stycznej częstotliwości drgań ( $f_{ym}$ ) otrzymanej dla punktu pomiarowego (D) oraz wartości kąta pełnego równego  $360^\circ$  i czasu (t) przejścia fali podłużnej do punktu pomiarowego (D), gdzie  $t = D/V_y$ , czyli stanowi stosunek odległości punktu pomiarowego (D) od źródła drgań do pomierzonej na bryłach skalnych (A, B, C) średniej prędkości fali podłużnej ( $V_y$ ); a na koniec na podstawie otrzymanej wartości maksymalnej poziomej stycznej częstotliwości drgań ( $f_{y \max}$ ), w polu bliskim badanego złoza, zmieniającej się po zależności sinusoidalnej określa się jej okres ( $T_y$ ), gdzie  $T_y = 1/f_{y \max}$ , czyli stanowi stosunek wartości 1 do maksymalnej poziomej stycznej częstotliwości drgań ( $f_{y \max}$ ), przy czym czas równy połowie okresu ( $T_y$ ) jest czasem zwłoki międzystrzałowej dla ładunków wybuchowych umieszczonych w kolejnych otworach strzałowych.