

SPOSÓB OKREŚLANIA WARTOŚCI POZIOMEJ STYCZNEJ WEKTORA PRĘDKOŚCI DRGAŃ GRUNTU DLA RÓŻNYCH ODLEGŁOŚCI OD ŹRÓDŁA DRGAŃ

METHOD FOR DETERMINING THE VALUES HORIZONTAL TANGENTS VECTOR SPEED VIBRATIONS OF GROUND FOR DIFFERENT DISTANCES FROM THE SOURCE OF VIBRATIONS

Tadeusz Chrzan- Dolnośląska Szkoła Wyższa, Wrocław

Rajmund Durał, Magdalena Rogosz, Kamil Rogosz - „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

W artykule przedstawiono sposób określania wartości poziomej stycznej wektora prędkości V_y drgań gruntu dla różnych odległości od źródła drgań wytworzonych poprzez odpalenie ładunku materiału wybuchowego umieszczonego w otworach strzałowych, znajdujący zastosowanie w górnictwie odkrywkowym w celu określenia czy rozkład drgań parasejsmicznych układa się kołowo. Sposób ten może być stosowany również przy urabianiu za pomocą ładunków materiału wybuchowego [MW] zamrożonych gruntów i skał pod trasy gazociągu, ropociągu, trakcję kolejową, drogi i autostrady. Podano przykład zastosowania opisanego rozwiązania w praktyce.

Słowa kluczowe: drgania parasejsmiczne, rozkład kołowy drgań

The paper presents a method of determining the horizontal tangential velocity V_y of ground vibrations at different distances from the source of vibration generated by firing an explosive charge placed in the blast holes which is applied in surface mining to determine whether the paraseismic oscillation distribution is circular. This method can also be used when mining using explosive charges [MW] frozen soils and rocks under the route of the pipelines, railway traction, roads and highways. An example of using the described method in practice has been presented.

Keywords: ground vibrations, blast holes, oscillation distribution paraseismic

Wstęp

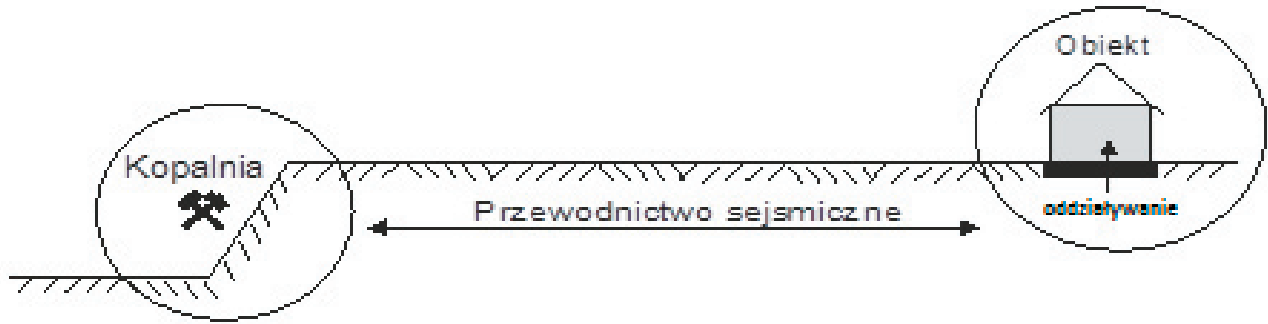
Wykonywanie prac z użyciem materiałów w górnictwie odkrywkowym wybuchowych prowadzi do powstania drgań parasejsmicznych, mogących oddziaływać na lokalną zabudowę. Drgania te przenoszą się poprzez propagacje fal parasejsmicznych w gruncie we wszystkich kierunkach i działają szkodliwie na infrastrukturę drogową i mieszkalno - gospodarczą. Przyjmuje się, że wielkość szkodliwego oddziaływania drgań zależy w danych warunkach od wielkości odstrzeliwanego ładunku materiału wybuchowego oraz odległości od miejsca strzelania a obiektem chronionym. Parametrem pozwalającym na porównywanie wartości poszczególnych drgań spowodowanych strzelaniem za pomocą materiałów wybuchowych jest prędkość drgań w punkcie pomiarowym i odpowiadająca jej częstotliwość. Parametry te związane są z warunkami geologiczno-tektonicznymi falowodu, a w konsekwencji z miejscem robót strzałowych wynikającym z postępu wydobywania. Wpływa to na warunki przewodnictwa parasejsmicznego w obrębie eksploatowanego złoża i poza nim.

Urabianie skał MW

W czasie urabiania skał MW w kopalni [5] wielkość i sposób odpalania ładunku MW ma wpływ na emisję ilości wyzwolonej energii oraz częstotliwość wzbudzanych drgań i czas ich emisji. Rodzaj otaczającego ośrodka (falowodu) i odległość obiektu od miejsca strzelania ma wpływ na warunki propagacji fali [2, 6] jak dekrement tłumienia, prędkość rozchodzenia się drgań, częstotliwość drgań własnych górotworu oraz rozproszenie energii.

Na obiekt działa prędkość lub przyspieszenie drgań jako wypadkowa wyżej wymienionych czynników [3, 6]. Szkodliwość drgań gruntu na budynki jak i odporność obiektu na uszkodzenia ujęta jest w Polskiej Normie [7].

W przypadku prowadzenia robót strzałowych w pobliżu obiektów chronionych konieczne jest prowadzenie pomiarów kontrolnych warunków propagacji parasejsmicznej opartych na prędkości drgań gruntu. Jedną z metod oceny wpływu drgań gruntu na powierzchnię terenu jest bezpośredni pomiar prędkości drgań i częstotliwości, której wyniki odpowiednio



Rys 1. Schematycznie pokazano miejsce powstawania drgań /kopalnię/, odległość między kopalnią a obiektem, obiekt na który działają drgania [1]
 Fig.1. Schematic showing the place of formation of vibration / mine /, the distance between the mine and the object, the object on which work vibrations [1] for vibration

zinterpretowane umożliwiają zastosowanie skali empirycznej stworzonej w oparciu o rzeczywiste, stwierdzone skutki oddziaływania drgań o określonych parametrach na budynki jak skala SWD [7].

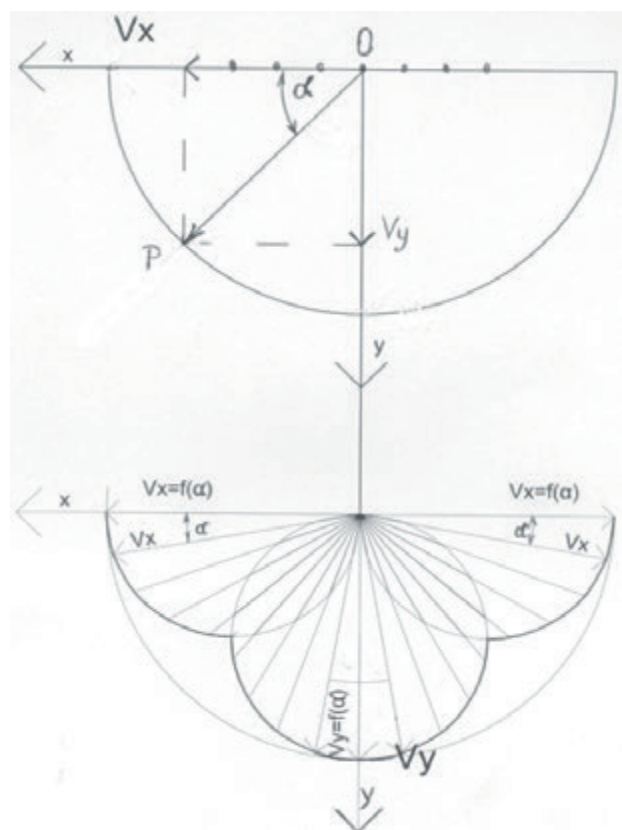
Wstępną analizę intensywności drgań dokonuje się w oparciu o wyznaczone maksymalne wartości mierzonego parametru, przykładowo wartości poziomej stycznej wektora prędkości V_y drgań gruntu. Uwzględnienie wyników analizy drgań parasejsmicznych w procesach wybuchowego urabiania skał jest istotnym czynnikiem poprawy efektywności urabiania skały i bezpieczeństwa sejsmicznego przyległych obiektów.

Znany jest z opisu patentowego PL 169129 [4] sposób określania maksymalnej wielkości składowej prędkości drgań cząstek gruntu i budowli inżynierskich wywołanych urabianiem skał materiałem wybuchowym mającym zastosowanie w górnictwie odkrywkowym dla określania stopnia zagrożenia budowli inżynierskich oraz dla określania strefy bezpiecznej względem tych drgań. Sposób polega na tym, że dodatkowo wykonuje się pomiar kąta α pomiędzy linią otworów z materiałem wybuchowym w miejscu odstrzelanej zabierki a linią przechodzącą przez punkt pomiarowy i środek linii otworów z materiałem wybuchowym, przy czym kąt α uwzględnia się we współczynniku proporcjonalności, który stanowi stosunek składowej prędkości zmierzonej na danym kierunku pomiarowym do iloczynu obliczeniowej wielkości prędkości drgań i $\cos \alpha$ lub $\sin 90^\circ - \alpha$, a ponadto stosuje się obliczeniową wielkość prędkości drgań, którą stanowi stosunek pierwiastka kwadratowego z iloczynu całkowitej ilości materiału wybuchowego użytego do strzelania i maksymalnej ilości materiału wybuchowego użytego na jeden zapalnik do pierwiastka kwadratowego z odległości punktu pomiarowego od środka linii otworów z materiałem wybuchowym w miejscu odstrzelania zabierki. Wynalazek ten nie obejmuje wpływu odległości na wartości pomiarów prędkości drgań gruntu.

Przyjmuje się, że wypadkowa V_{xy} wartości poziomej stycznej wektora prędkości V_y i radialnej V_x drgań gruntu ma charakter kołowy, co przedstawiono na rysunku 2. W kołowym rozchodzeniu się drgań parasejsmicznych przyjmuje się, że drgania ośrodka rozchodzą się w każdym kierunku z taką samą prędkością, a tym samym nie rozpatruje się wpływu kąta kierunkowego α na wielkość pomierzonych drgań. W ośrodku jednorodnym jak to przedstawiono na rysunku 2, jednostkowa prędkości drgań V_{xy} (półkole) składająca się z drgania stycznego V_y (prostopadłego do drgań promieniowych- V_x) i promieniowego V_x powinna mieć stałą wartość. Natomiast drgania styczne V_y (prostopadłe do drgań promieniowych- V_x) i promieniowe V_x rozchodzą się w zależności od kąta kierun-

kowego α z różną prędkością. W czasie pomiarów wartości drgań na danym obiekcie mierzy się dwie składowe poziome radialną V_x i styczną V_y . Na podstawie większej wartości prędkości drgań określa się ze skali szkodliwości drgań bezpieczeństwo techniczne obiektu inżynierskiego. Składowe te są sobie równe gdy kąt kierunkowy α wynosi 45° stopni-punkt P. W tym punkcie każda z tych dwóch prędkości V_x i V_y jest około 25% mniejsza niż prędkość maksymalna V_x lub V_y . Przy innym dowolnym kącie pomiarowym zawsze jedna składowa będzie większa od drugiej. Do prognozowania szkodliwości drgań sejsmicznych przyjmuje się wartość składową większą przez co przy kącie 45° zmniejszony zostanie promień strefy szkodliwych drgań parasejsmicznych nawet do 25%. Brakiem uwzględnienia w czasie pomiarów kierunkowości drgań należy tłumaczyć niskie współczynniki korelacji otrzymane dla złóż osadowych zestawionych w pracy [1].

Przedstawiony na rysunku 2 schemat jest przydatny do wykreślnego przedstawienia kierunkowości drgań fali parasej-



Rys. 2. Schemat wykreślnego przedstawienia kierunkowości prędkości drgań V_x i V_y

Fig. 2. Chart of directions for present speed vibration V_x and V_y

smicznej oraz określenia kątów kierunkowych bezpiecznych dla obiektów inżynierskich przed urabianiem zabierki materiałem wybuchowym. Sporządzenie schematu [1] polega na oznaczeniu na opracowanym wykresie w przyjętej skali, wartości prędkości lub przyspieszenia drgań pomierzonych pod różnymi kątami kierunkowymi α w stałej odległości od punktu 0 lub sprowadzonych do odległości średniej z pomiarów - zgłoszenie patentowe [8] w czasie urabiania strzelaniem materiałem wybuchowym. Kąt kierunkowy α jest to kąt zawarty między linią pierwszego szeregu otworów strzałowych urabiających skałę (rys. 2 oś x), a linią łączącą punkt pomiarowy P ze środkowym otworem 0 w pierwszym szeregu otworów. Rysunek 2 przedstawia oś x i prostopadłą do niej w punkcie 0 oś y . Na schemacie przedstawiono kołowy jednostkowy rozkład wypadkowej V_{xy} w postaci półkola, $V_x^2 + V_y^2 = V_{xy}^2 = R^2 = 1$ i składowych radialnej V_x i stycznej V_y w funkcji kąta α ($\operatorname{tg} \alpha = V_y/V_x$). Półkole ma dwie ćwiartki, które są symetryczne względem osi y . Składowa V_x jest półkolem na pierwszej ćwiartce i zaczyna się w punkcie 0 ($V_x=0$, $\alpha=90^\circ$), a kończy w punkcie $V_x \max$, gdy $\alpha=0^\circ$. Średnica półkola wartości V_x leży na osi x . Składowa V_y jest półkolem na pierwszej ćwiartce i zaczyna się w punkcie 0 ($V_y=0$, $\alpha=0^\circ$), a kończy w punkcie $V_y \max$, gdy $\alpha=90^\circ$. Średnica półkola wartości V_y leży na osi y .

Z kołowego rozkładu prędkości drgań parasejsmicznych wynika, że pozioma styczna wektora prędkości V_y drgań gruntu, przy tej samej odległości punktu pomiarowego od źródła drgań, dla każdego kąta kierunkowego α ma inną wartość, przy czym wartość poziomej stycznej wektora prędkości V_y drgań gruntu jest największa dla kąta kierunkowego $\alpha=90^\circ$ i maleje do zera przy kącie kierunkowym $\alpha=0^\circ$, przy czym wartości V_y układają się przy osi y wzdłuż obwodu połowki koła. Pozioma styczna wektora prędkości V_y drgań gruntu jest to maksymalna prędkość, jaką mają w punkcie pomiarowym cząsteczki gruntu drgające prostopadłe do kierunku jaki tworzy linia łącząca punkt pomiarowy ze źródłem drgań.

Aby stwierdzić, czy przy stałych parametrach strzelania w danym złożu występuje rozkład kołowy drgań gruntu należy wykonać pomiary poziomej stycznej wektora prędkości V_y drgań w stałej odległości od źródła drgań, przed czołem urabianej ściany, dla różnych kątów kierunkowych α z przedziału od 0° do 90° , w co najmniej kilku punktach pomiarowych. Na powierzchni gruntu znajdującego się w sąsiedztwie skał urabianych za pomocą materiałów wybuchowych trudno jest dokonać pomiarów w stałej odległości od źródła drgań przy różnych kątach kierunkowych α , ze względu na przeszkody terenowe i zabudowania. Powoduje to, że otrzymujemy różne wartości poziomej stycznej wektora prędkości V_y drgań spowodowane nie tylko wartością kąta kierunkowego α lecz także różną odległością od źródła drgań. Duże zróżnicowania wartości poziomej stycznej wektora prędkości V_y drgań umieszczone na wykresie mogą sugerować, iż jest to rozkład odbiegający od rozkładu kołowego, gdy w rzeczywistości będzie to rozkład kołowy. Przy występowaniu kołowego pola drgań, aby zapewnić bezpieczeństwo sejsmiczne obiektom chronionym, prędkość działających na nie drgań nie powinna przekraczać granicy B, dolnej granicy powstawania zarysowań i spekań w elementach konstrukcyjnych, w skali szkodliwości drgań SWD [7] i należy kierować największe drgania w kierunku nie zabudowanego terenu.

Przez kołowy rozkład prędkości drgań parasejsmicznych należy rozumieć rozkład wyników pomiarów, który ze wzglę-

du na anizotropię ośrodka układu się po obwodzie połowki koła z odchyłką +/- 10% od zakładanego kołowego rozkładu teoretycznego. Wadą znanych i stosowanych rozwiązań jest prowadzenie pomiarów parametrów drgań gruntu, na przykład prędkości drgań, bez pomiarów kąta kierunkowego α w związku z czym otrzymane wyniki nie wskazują jednoznacznie, czy w danym złożu występuje rozkład kołowy drgań gruntu, co uniemożliwia prawidłową interpretację otrzymanych wyników. W obecnej sytuacji bez pomiaru kąta kierunkowego aby prawidłowo zinterpretować otrzymane wyniki, czy w danym złożu występuje rozkład kołowy drgań gruntu, należy wykonać pomiary przy kilku strzelaniach, co zwiększa koszty i czas wykonania badań. Następne strzelanie wykonuje się po usunięciu odstrzelonej skały, co pochłania sporo czasu.

Rozwiązaniem jest uwzględnienie wpływu odległości od źródła drgań na mierzoną wartość poziomej stycznej prędkości drgań uzyskanego już po jednym strzelaniu.

Przykład sposobu określania wartości poziomej stycznej

Sposób określania wartości poziomej stycznej wektora prędkości V_y drgań gruntu dla różnych odległości od źródła drgań wytworzonych poprzez odpalenie ładunku materiału wybuchowego umieszczonego w rozmieszczonych w linii otworach strzałowych, w którym pomiaru poziomej stycznej wektora prędkości V_y drgań gruntu dokonuje się w punktach pomiarowych umieszczonych pod różnymi kątami kierunkowymi α , z których każdy stanowi kąt pomiędzy linią otworów strzałowych a linią łączącą punkt pomiarowy ze źródłem drgań, które stanowi środkowy otwór strzałowy lub środek linii otworów strzałowych. Sposób ten polega na tym, że wybiera się od kilku do kilkunastu punktów pomiarowych, dla których kąt kierunkowy α jest w przedziale od 0° do 90° i mierzy się rzeczywistą odległość tych punktów pomiarowych od źródła drgań. Następnie wyznacza się wartość średnią tych odległości i kolejno rzeczywistą odległość poszczególnych punktów pomiarowych od źródła drgań i dzieli się je przez wartość średnią odległości, a w wyniku otrzymuje się wskaźnik wpływu odległości dla każdego punktu pomiarowego, mnożąc wartość poziomej stycznej wektora prędkości V_y drgań gruntu zmierzonej w danym punkcie pomiarowym przez odpowiadający danemu punktowi pomiarowemu wskaźnik wpływu odległości. Otrzymane wyniki dla wartości średniej odległości punktów pomiarowych od źródła drgań, dla wybranych punktów pomiarowych, dla których kąt kierunkowy α wynosi od 0° do 90° nanosi się na układ współrzędnych i przedstawia się graficznie przy pomocy wykresu $V_y = f(\alpha)$ poziomej stycznej wektora prędkości drgań, z którego odczytuje się następnie, czy rozkład drgań parasejsmicznych układu się kołowo.

Sposób określania wartości poziomej stycznej prędkości V_y drgań gruntu dla różnych odległości R od źródła drgań wytworzonych przy odpaleniu ładunku materiału wybuchowego ułożonego w linii w wielu otworach strzałowych polega na tym, że wybiera się od kilku do kilkunastu punktów pomiarowych i przy użyciu dalmierza mierzy się ich odległość R od źródła drgań, a następnie określa się wartość średnią tych odległości S . Otwory strzałowe ułożone są w jednej linii, kolejno w jednakowych odstępach od siebie ze zbliżonymi wielkościami ładunków w otworze. Punkty pomiarowe wybrane są z zakresu kąta kierunkowego α wynoszącego

Tab. 1. Zestawienie odległości i wartości poziomej stycznej wektora V_y prędkości drgań [8]
 Tab. 1. Summary of the distance and the horizontal tangent vector velocity V_y [8]

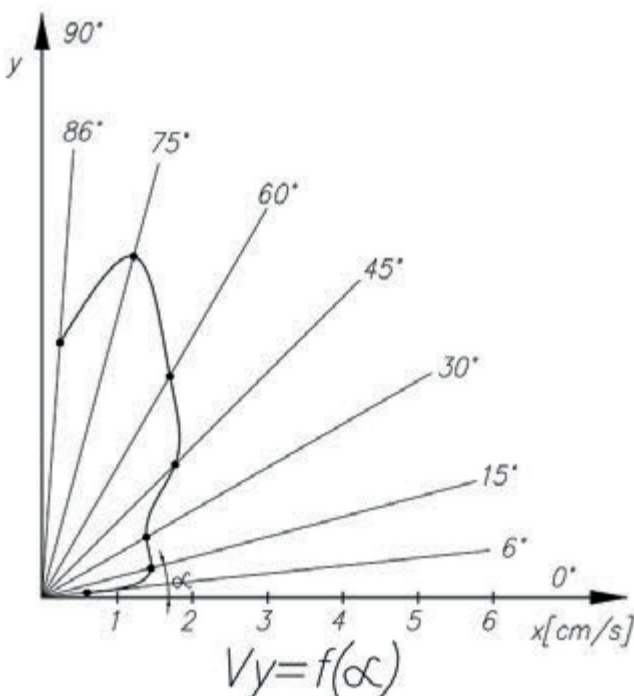
Lp.	Kąt kierunkowy α	Rzeczywista odległość punktu pomiarowego od źródła drgań R [m]	Wartość średnia odległości punktów pomiarowych od źródła drgań S [m]	Wskaźnik odległości R_D	Wartość poziomej stycznej wektora prędkości V_y drgań dla rzeczywistej odległości R [cm/s]	Pozioma styczna wektora prędkości V_y drgań pomnożona przez wskaźnik odległości R_D dla średniej (stałej dla wykresu i tabeli) odległości pomiarowej S [cm/s]
1	2	3	4	$5=3/4$	6	$7=5 \times 6$
1	6	332	332	1,0	6	6
2	15	275		0,82	15	12
3	30	373		1,12	16	18
4	45	347		1,05	25	26
5	60	320		0,96	34	33
6	75	275		0,83	47	39
7	86	400		1,2	34	41

od 0° do 90° . Kąt kierunkowy α stanowi kąt pomiędzy linią otworów strzałowych a linią łączącą punkt pomiarowy ze źródłem drgań. Następnie dzieli się rzeczywistą odległość R każdego punktu pomiarowego od źródła drgań przez obliczoną wartość średnią odległości S. W wyniku przeprowadzonego działania dla każdego punktu pomiarowego otrzymuje się wskaźnik wpływu odległości R_D . Wskaźnik ten dla odległości mniejszej od wartości średniej będzie mniejszy niż 1, a dla odległości większej od wartości średniej będzie większy niż 1. Kolejno, w wybranych punktach pomiarowych, dla których kąt kierunkowy α mieści się w zakresie od 0° do 90° , przy użyciu czujników drgań dokonuje się pomiarów wartości poziomej stycznej wektora prędkości V_y drgań gruntu dla rzeczywistej odległości R każdego z tych punktów od źródła drgań. Następnie, pomierzone w danych punktach pomiarowych wartości poziomej stycznej wektora prędkości V_y drgań mnoży się przez wartość wskaźnika wpływu odległości R_D

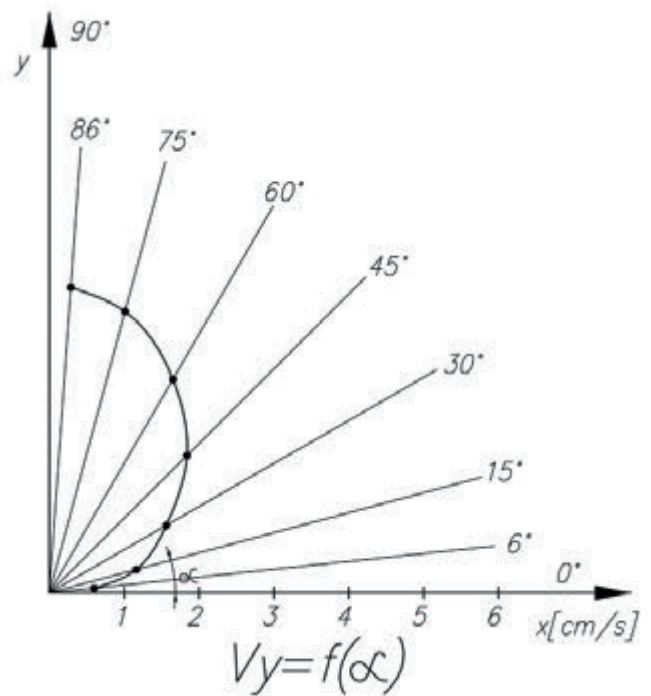
odpowiadający danemu punktowi pomiarowemu, a otrzymane wyniki umieszcza się na wykresie $V_y = f(\alpha)$ poziomej stycznej wektora prędkości drgań. Z porównania teoretycznego rozkładu kołowego z wykresem rzeczywistym otrzymanym z pomiarów ocenia się czy rozkład drgań jest kołowy. Sposób określania rozkładu kołowego drgań parasejsmicznych został pokazany za pomocą sporządzonych wykresów, a wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 1.

Na rysunku 3 pokazano wykres poziomej stycznej wektora prędkości V_y drgań dla rzeczywistych, pomierzonych odległości. Zaprezentowany na wykresie rozkład nie pozwala na jednoznaczne określenie, czy rozkład wartości rejestrowanych drgań ma charakter kołowy.

Na rysunku 4 pokazano wykres, uzyskany według opisanego powyżej sposobu, poziomej stycznej wektora prędkości V_y drgań po uwzględnieniu wskaźnika odległości R_D dla średniej 322 m, odległości pomiarowej S. Zaprezentowany



Rys. 3. Wykres V_y w funkcji α –pomierzony
 Fig. 3. Graph V_y as a function of α -measuring



Rys. 4. Wykres V_y w funkcji α –skorygowany wskaźnikiem odległości [8]
 Fig. 4. Chart V_y as a function of α – take into account the distance [8]

na wykresie rozkład przedstawia jak rozkład drgań parasejsmicznych układa się wzdłuż linii tworzącej połowę obwodu okręgu, co wskazuje na kołowy rozkład drgań.

Wnioski

Zaletą zaprezentowanego sposobu jest to, iż po przemnożeniu pomierzonych wartości poziomej stycznej wektora prędkości V_y drgań przez wskaźnik wpływu odległości R_D właściwy dla danej rzeczywistej odległości R punktu pomiarowego od źródła drgań można dokonać wiarygodnej oceny rozkładu drgań parasejsmicznych.

Korygując odległością wielkość poziomej stycznej

wektora prędkości V_y drgań otrzymujemy bardziej czytelny obraz rozkładu prędkości, co wpływa na właściwą interpretację otrzymanych wyników i właściwą ocenę rozkładu drgań. Zastosowanie opisanego sposobu pozwala określić czy rozkład jest kołowy już po jednym odstrzale i pomiarach przeprowadzonych w różnych punktach terenu.

Szybka i poprawna interpretacja wyników przeprowadzonych pomiarów, możliwa do uzyskania dzięki zastosowaniu opisanego sposobu, pozwala na takie usytuowanie linii otworów strzałowych, względem budynków lub chronionych budowli znajdujących się na terenie objętym drganiami, aby propagacja drgań parasejsmicznych w miejscu ich zabudowy była jak najmniejsza.

Literatura

- [1] Chrzan T., Modrzejewski Sz., *Prognozowanie wartości drgań parasejsmicznych szkodliwie działających na infrastrukturę drogową i mieszkalną* (Dokument elektroniczny) Logistyka: 2014, nr 5, CD 1, s. 222-232. Konferencja Międzynarodowa ICTS 2014, Wrocław
- [2] Chrzan T., *Ultradźwiękowe badania właściwości skal i materiałów budowlanych*. Monografia. Oficyna Wydaw. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1994
- [3] Chrzan T., Gliński J., *Stan i kierunki przemian w określaniu promienia strefy szkodliwości drgań sejsmicznych*. VI Krajowy Zjazd Górnictwa Odkrywkowego, s. 73-82, Konin 1995
- [4] Chrzan T., Patent PL 169129
- [5] Onderka Z., *Badania intensywności drgań sejsmicznych przy strzelaniu metodą otworów wiertniczych w kopalniach odkrywkowych*. Zeszyty Nauk. AGH. Nr 334. Górnictwo, Kraków 1971
- [6] Talarczyk E., *Podstawy techniki ultradźwięków*. Wyd. Politech. Wrocław., Wrocław 1990
- [7] Polska Norma PN-B/85-02170
- [8] Rogosz K., i inni, Zgłoszenie Patentowe nr P 420148



Z cyklu: Energia Ziemi

Fot. RS-K