

Aleksander CIANCIARA*

Sposób oceny parametrów drgań gruntu wywołanych wstrząsami górniczymi

Streszczenie: Rejestrowane drgania gruntu wywołane wstrząsami górniczymi mają strukturę losową. Ponadto mogą zawierać krótkookresowe impulsy, o wysokich amplitudach szczytowych, w formie pojedynczych wahnień. Stosowany obecnie w praktyce sposób oceny wartości maksymalnej amplitudy polega na jej bezpośrednim odczycie z zapisu drgań. W sytuacji, gdy przebieg zawiera taki pojedynczy impuls, wówczas ocena jego amplitudy jest najczęściej znacznie zawyżona. Powoduje to fikcyjne podniesienie stopnia szkodliwości drgań. Należy stwierdzić, że sposób oceny parametrów powinien być dostosowany do struktury danych pomiarowych. W tym celu w artykule zaproponowano sposób oparty na analizie obwiedni rejestrowanych drgań. Jest wówczas możliwe opracowanie modelu obwiedni, który opisuje powiązanie wartości empirycznych z parametrami. Na bazie tego modelu prowadzona jest estymacja maksymalnej amplitudy oraz czasu trwania drgań, zgodnie z uniwersalną metodą najmniejszych kwadratów. Uzyskane na tej drodze wielkości są zbliżone do rzeczywistych wartości parametrów i umożliwiają ocenę stopnia szkodliwości drgań.

Słowa kluczowe: wstrząs górniczy, przyspieszenia drgań gruntu, szkodliwość drgań gruntu

The method of parameter estimation of ground vibrations caused by mining tremors

Abstract: Recorded ground vibrations caused by mining tremors display random characteristics. These may constitute short, high amplitude pulses or single swings. In practice, the method currently used to assess the maximum amplitude is based on direct readouts from recording vibrations. That, in turn, causes the random sizing of this parameter, mostly with significant overestimation. The result is a false reading of the increase in the degree of harmfulness of a given vibration. It should be noted that the method of evaluating the parameters should be adapted to the structure of the data. This article proposes a method based on an analysis of the recorded vibration envelope. Using such an approach, it is possible to develop a model of the envelope which describes the links between the empirical values of the parameters. Based on this model, estimation is carried out of the effective maximum amplitude and the duration of the vibration using the universal method of least squares.

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska, Kraków

The values obtained in this way are close to the actual values of the parameters and allow better assessment of the degree of harmfulness of vibrations.

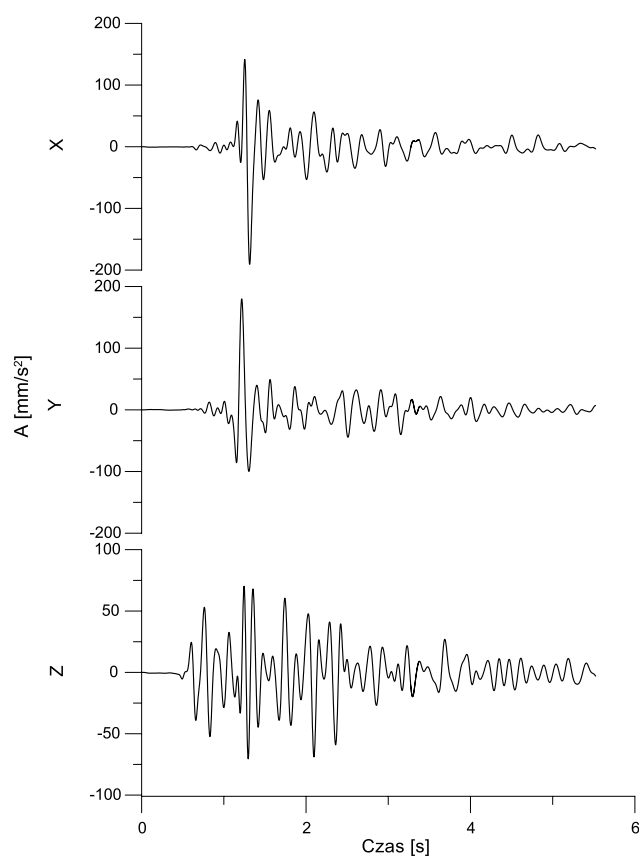
Key words: mining tremor, ground acceleration, harmfulness of ground vibrations

Wprowadzenie

Znane są praktyczne trudności związane z właściwą oceną szkodliwego oddziaływania drgań, wywołanych wstrząsami górniczymi, na powierzchnię Ziemi (Pilecka i Szermer-Zaucha 2012, 2013). Standardowo oceny stopnia szkodliwości dokonuje się na podstawie maksymalnej amplitudy drgań oraz czasu ich trwania. Maksymalna amplituda jest oceniana bezpośrednio z zapisów rejestrowanych drgań w zakresie częstotliwościowym do 10 Hz (Dubieński i in. 2008). Ten sposób wyznaczania wartości często powoduje zawyżanie oceny, w niektórych przypadkach nawet kilkakrotnie. Na przebieg czasowy drgań rejestrowanych na powierzchni ma wpływ bardzo wiele zmiennych czynników. Zależy on przede wszystkim od parametrów ogniska wstrząsu, jego modelu. Następnie drgania na skutek propagacji w zrandomizowanym ośrodku skalnym nabierają cech losowości (Pilecki 1992; Cianciara 1999). Dodatkowo, zapisy drgań mogą zawierać składniki o wysokiej amplitudzie szczytowej oraz bardzo krótkim czasie trwania, rzędu ułamków sekundy. Najczęściej składnik ten występuje w formie jednego wzniesienia o amplitudzie przekraczającej kilkakrotnie średni poziom amplitud w jego otoczeniu. Powyższe wnioski zostały wyciągnięte na podstawie obserwacji rzeczywistych rejestracji oraz przeprowadzonych wizji lokalnych. Na podstawie danych zarejestrowanych przez sieć pomiarową należącą do kopalni, zjawisko sklasyfikowane jest do II, a nawet III stopnia szkodliwości skali GSI, natomiast na podstawie przeprowadzonej wizji lokalnej skutki tego wstrząsu należy zaklasyfikować do I lub nawet zerowego stopnia szkodliwości. Przykładową ilustrację takiego zapisu przedstawiono na rysunku 1.

Wiadomo, że oddziaływanie drgań na obiekty budowlane ma charakter rezonansowy, dlatego składniki krótkookresowe, trwające ułamek sekundy, nawet o bardzo dużych amplitudach nie mają znaczącego wpływu na ich szkodliwość (Dowding, 1986; Cianciara, Isakow 2009). Wynika stąd, że maksymalna amplituda nie może być oceniana bezpośrednio z zapisu drgań, ponieważ powoduje to błędną ocenę stopnia ich szkodliwości. Zatem, uwzględniając strukturę rejestrowanych drgań, konieczne jest opracowanie właściwego sposobu oceny omawianego parametru.

Jednym z możliwych rozwiązań tego zagadnienia jest prowadzenie analizy na podstawie obwiedni sygnałów drgań (Cianciara, Isakow 2009). Obwiednia zawiera pełną informację o przebiegu amplitud, a ponadto jest możliwe opracowanie jej modelu zależnego od dwu parametrów: maksymalnej amplitudy oraz współczynnika tłumienia. Model ten określa powiązanie wartości empirycznych z omawianymi parametrami drgań. Jego zastosowanie umożliwi estymacja (ocena) tych parametrów oparta na uniwersalnej zasadzie najmniejszych kwadratów. Należy dodać, że czas trwania drgań jest wyznaczany na podstawie współczynnika tłumienia. Dopiero uzyskane na tej drodze oceny parametrów są zbliżone do ich wartości rzeczywistych, umożliwiając poprawną ocenę stopnia szkodliwości drgań.



Rys. 1. Przykładowy przebieg przyspieszeń drgań zarejestrowany na powierzchni obszaru górniczego KWK Jas-Mos po filtracji filtrem dolnoprzepustowym 10 Hz

Fig. 1. The exemplary course of accelerations registered on the KWK Jas-Mos mining area after filtering by 10 Hz low-pass filter

1. Model obwiedni drgań

Sygnal reprezentujący dowolny ciąg pomiarowy $\{x_t\}$, jak wynika z teorii, można przedstawić w formie iloczynu obwiedni $\{\rho_t\}$ i czynnika oscylacyjnego $\{\zeta_t\}$ (Franks 1975)

$$x_t = \rho_t \cdot \zeta_t \quad (1)$$

Obwiednia zawiera pełną informację o przebiegu amplitud, natomiast czynnik oscylacyjny opisuje częstotliwość ciągu pomiarowego. W szczególnym przypadku odnosi się to do sygnałów drgań wywołanych wstrząsami górniczymi, które są rejestrowane na powierzchni Ziemi. Drgania te można przedstawić w formie sumy sygnału użytecznego

i szumu losowego. Sygnał użyteczny ma strukturę losową, stanowiąc superpozycję drgań, która może zawierać składnik o dużych amplitudach i bardzo krótkich czasach trwania. W tych warunkach amplituda obwiedni sygnału użytecznego $\{r_t\}$ podlega wahaniom losowym. Aby można było analizować przebieg obwiedni zastosowano jej aproksymację modelem $\{\rho_t\}$ od momentu t_0 . Przyjęto, że t_0 jest momentem, w którym amplituda zapisu drgań osiąga wartość maksymalną. Wówczas przebieg omawianej obwiedni można przedstawić za pomocą tego modelu w następującej postaci (Cianciara, Isakow 2009):

$$r_t = \rho_t \cdot e^{\varepsilon_t} \quad \text{dla} \quad t > t_0 \quad (2)$$

gdzie:

- ρ_t – model obwiedni,
- ε_t – odchyłkowe losowe,
- t_0 – moment początku modelu obwiedni.

Model obwiedni opracowany został na podstawie długoletnich badań oddziaływań wstrząsów, w formie drgań rejestrowanych na powierzchni Ziemi, w różnych warunkach geologiczno-górnictwowych. W wyniku stwierdzono, że można go przedstawić w postaci funkcji zależnej od dwu parametrów A_M oraz α , a mianowicie:

$$\rho_t = A_M \cdot e^{-\alpha(t-t_0)} \quad \text{dla} \quad t > t_0 \quad (3)$$

gdzie:

- A_M – parametr opisujący maksymalną amplitudę drgań,
- α – współczynnik tłumienia amplitud.

Po uwzględnieniu zależności (2) przebieg obwiedni rejestrowanych drgań $\{r_t\}$ przyjmuje postać:

$$r_t = A_M \cdot e^{-\alpha(t-t_0)} \cdot e^{\varepsilon_t} \quad \text{dla} \quad t > t_0 \quad (4)$$

gdzie:

- ε_t – odchyłkowe losowe.

Ponieważ $r_t > 0$, dlatego jest możliwe przedstawienie ostatniej zależności w formie liniowej przez logarytmowanie

$$\ln r_t = A_M - \alpha(t-t_0) + \varepsilon_t \quad \text{dla} \quad t > t_0 \quad (5)$$

Zależność ta określa powiązanie przebiegu obwiedni empirycznej z parametrami drgań.

2. Sposób oceny parametrów drgań

W pracy tej zastosowano sposób oparty na analizie obwiedni sygnału drgań. Obwiednia danego przebiegu x_t zdefiniowana jest jako moduł sygnału analitycznego x_t^A , który jest wielkością zespoloną, czyli:

$$x_t^A = x_t + ix_t^H \quad (6)$$

gdzie część urojona sygnału analitycznego x_t^H stanowi transformatę Hilberta przebiegu x_t (Franks 1975).

Wówczas zgodnie z definicją, obwiednia r_t sygnału x_t wyraża się następująco:

$$r_t = \sqrt{x_t^2 + (x_t^H)^2} \quad (7)$$

Obwiednia – podobnie jak rejestrowane drgania – ma również charakter losowy. Jej wartości empiryczne powiązane są z parametrami drgań w formie liniowej zależności opisywanej modelem (5). Zakładając, że odchyłki ε_t posiadają rozkład normalny $N(0, \sigma_\varepsilon)$ wówczas na podstawie tej zależności prowadzona jest estymacja parametrów A_M i α , stosując powszechnie znaną zasadę najmniejszych kwadratów (Lehmann 1991). Estymatory parametrów \hat{A}_M oraz $\hat{\alpha}$ wyznacza się rozwiązując odpowiedni układ równań normalnych. Estymator \hat{A}_M określa bezpośrednio wartość maksymalnej amplitudy drgań. Przyjęto, że t_0 jest momentem, w którym amplituda zapisu drgań osiąga wartość maksymalną.

Natomiast czas trwania drgań τ ocenia się na podstawie estymatora współczynnika tłumienia $\hat{\alpha}$ następująco:

$$\tau = \frac{k}{\hat{\alpha}} \quad (8)$$

gdzie:

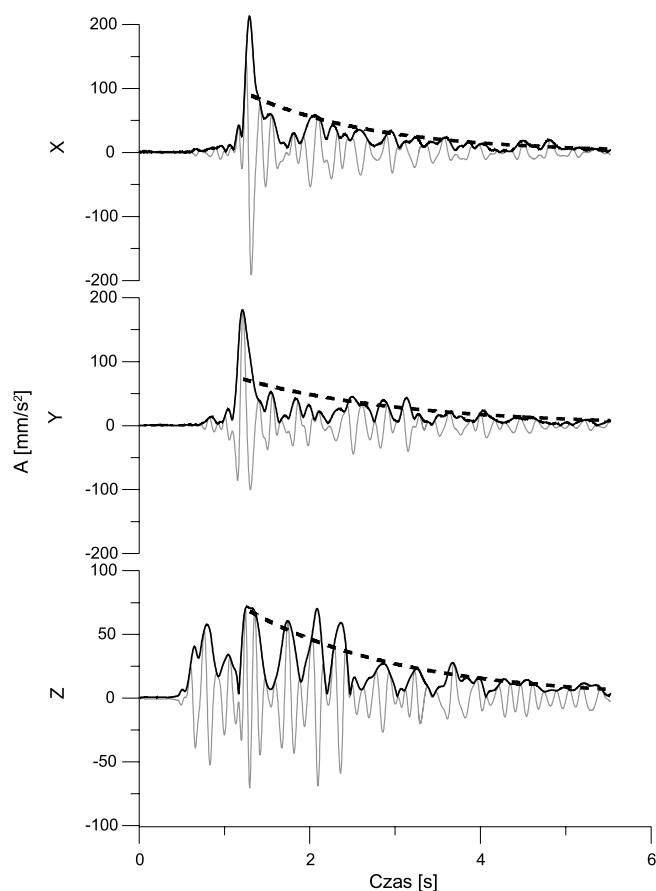
k – współczynnik zależny od poziomu dyskryminacji tła wyrażony wzorem

$$k = \ln \frac{A_{\max}}{A_{od}}$$

A_{od} – amplituda odcięcia, czyli drgania o amplitudzie mniejszej od tej amplitudy są nieszkodliwe.

Na rysunku 2 przedstawiono przykład ilustrujący porównanie obwiedni empirycznej z przebiegiem modelowym estymowanym metodą NK wykonane na tle sygnału drgań.

Wyznaczona wartość $A_{\max} < 90 \text{ mm/s}^2$, wobec pierwotnie prawie 200 mm/s^2 .



Rys. 2. Przebieg obwiedni empirycznej oraz jej modelu (linia przerywana) na tle sygnału przyspieszeń drgań zarejestrowany na powierzchni obszaru górniczego KWK Jas-Mos

Fig. 2. The course of empirical signal envelope and the model (dashed line) against the vibration acceleration recorded on the surface of the KWK Jas-Mos mining area

Podsumowanie

Określanie stopnia szkodliwości drgań, wywołanych wstrząsami górnictwymi, dokonuje się na podstawie ich maksymalnej amplitudy oraz czasu trwania (Dubieński i in. 2008). Obecnie w praktyce parametr reprezentujący maksymalną amplitudę jest oceniany bezpośrednio z zarejestrowanego przebiegu drgań w paśmie częstotliwościowym do 10 Hz. Polega on na pojedynczym odczycie wartości amplitudy szczytowej. Taki sposób postępowania prowadzi w wielu przypadkach do zawyżenia wartości, ponieważ rejestrowane drgania mają charakter losowy, a oprócz tego mogą zawierać krótkotrwałe impulsy o dużych amplitudach szczytowych. Dlatego ocena wartości maksymalnej amplitudy uzyskana na podstawie takiego odczytu może być znacznie zawyżona. Prowadzi to do niewłaściwej

oceny stopnia szkodliwości drgań. Należy podkreślić, że ocena parametrów, w przypadku danych pomiarowych o charakterze losowym, powinna być prowadzona na podstawie odpowiedniego kryterium statystycznego.

Mając to na uwadze przedstawiono koncepcję sposobu interpretacji opartą na analizie obwiedni rejestrowanych sygnałów drgań. Opracowano model wiążący wartości empirycznej obwiedni z parametrami reprezentującymi maksymalną amplitudę oraz współczynnik tłumienia drgań. Na podstawie tego modelu prowadzona jest estymacja omawianych parametrów metodą najmniejszych kwadratów. Wówczas ocena wartości parametrów uzyskiwana jest na podstawie całego zapisu drgań. Dlatego sposób ten umożliwia skuteczną eliminację wpływu impulsów krótkookresowych na ocenę maksymalnej amplitudy drgań, dając jej wartość zbliżoną do wielkości rzeczywistej. Również ocena czasu trwania drgań τ wyznaczana jest na podstawie estymatora współczynnika tłumienia amplitud. Przedstawiony tutaj sposób oceny parametrów drgań był weryfikowany na zapisach zarejestrowanych w rejonie KWK „JAS-MOS”. Przykład ilustrujący wyniki analizy przedstawiono na rysunku 2. Z przeprowadzonych wstępnych analiz wynika, że uzyskane na tej drodze wyniki są znacznie lepiej dopasowane do skutków opisywanych przez przeprowadzane wizje lokalne.

Literatura

- [1] Biegus, A. 1999. *Probabilistyczna analiza konstrukcji stalowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa–Wrocław.
- [2] Cianciara, B. 1999. Stochastyczna struktura oddziaływania wstrząsów górniczych na powierzchnię ziemi. *Mat. Symp. Warszaty '99*, s. 103–114.
- [3] Cianciara, A. i Isakow, Z. 2009. Model sygnałów drgań rejestrowanych na powierzchni ziemi. *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa* nr 3(457), s.13–18.
- [4] Dowding, Ch.H. 1985. *Blast Vibration Monitoring and Control*. PRENTICE-HALL, INC., Englewood Cliffs, NJ 07632.
- [5] Dubiński, J. i inni. 2008. *Zasady stosowania górniczej skali intensywności drgań GSI-GZW KW do oceny skutków oddziaływania wstrząsów indukowanych eksploatacją złóż węgla kamiennego w zakładach górniczych Kompani Węglowej S.A. na obiekty budowlane i na ludzi*. Katowice.
- [6] Franks, L.E. 1975. *Teoria sygnałów*. PWN, Warszawa.
- [7] Lehmann, E.L. 1991. *Teoria estymacji punktowej*. PWN Warszawa.
- [8] Pilecki, Z. 1992. Statystyczna analiza emisji sejsmoakustycznej dla kontroli stanu zagrożenia tąpnięciami. *Studia i Rozprawy 21*, CPPGSMiE PAN, Kraków.
- [9] Pilecka, E. i Szermer-Zaucha, R. 2012. Statystyczna analiza wpływu lokalnej tektoniki związanej z wysokoenergetyczną sejsmicznością na szkody w obiektach budowlanych na terenie KWK Piast. *Przegląd Górniczy* nr 3, 86–98.
- [10] Pilecka, E. i Szermer-Zaucha, R. 2013. Analiza rozkładu szkód górniczych po wysokoenergetycznych wstrząsach z dnia 21 kwietnia 2011 r. i 7 czerwca 2013 r. w kopalni „Rydułtowy-Anna” na tle lokalnej tektoniki. *Mat. Konf. Górnicze Zagrożenia Naturalne 2013*. GIG Katowice, 353–367.

