

Józef DUBIŃSKI, Grzegorz MUTKE

Główny Instytut Górnictwa, Katowice

Reakcja budynków na wstrząsy górnicze z wysokoczęstotliwościową modą drgań gruntu

Streszczenie

W artykule przedstawiono reakcję fundamentów budynków na drgania pochodzenia górniczego. Pokazano, że drgania gruntu dla wysokoczęstotliwościowej mody (powyżej 10 Hz) są bardzo silnie tłumione przez fundamenty. Jest to bardzo ważny aspekt przy dokonywaniu oceny skutków drgań pochodzących od wstrząsów górniczych i strzelań na zabudowę powierzchniową.

1. Wstęp

W ostatnich latach wykonuje się znacznie więcej pomiarów drgań gruntu i budynków od wstrząsów górniczych zarówno w Górnosląskim Zagłębiu Węglowym jak i w Legnicko-Głogowskim Zagłębiu Węglowym. Wstrząsy te często stanowią uciążliwość dla lokalnych społeczności, a w niektórych przypadkach mogą powodować uszkodzenia budynków i są przedmiotem roszczeń o odszkodowania. W takiej sytuacji sprawą zasadniczą, którą należy w tym miejscu ustalić jest problem oceny szkodliwości zarejestrowanych lub prognozowanych drgań. Istnieje wiele skal oceny, opisanych w literaturze światowej i pozostaje kwestia wyboru takich, które:

- odpowiadają fizycznemu charakterowi rejestrowanych lub występujących drgań,
- uzyskiwane wyniki są w dobrej zgodności z obserwowanymi przejawami makrosejsmicznymi (odczucia mieszkańców, uszkodzenia, itp.).

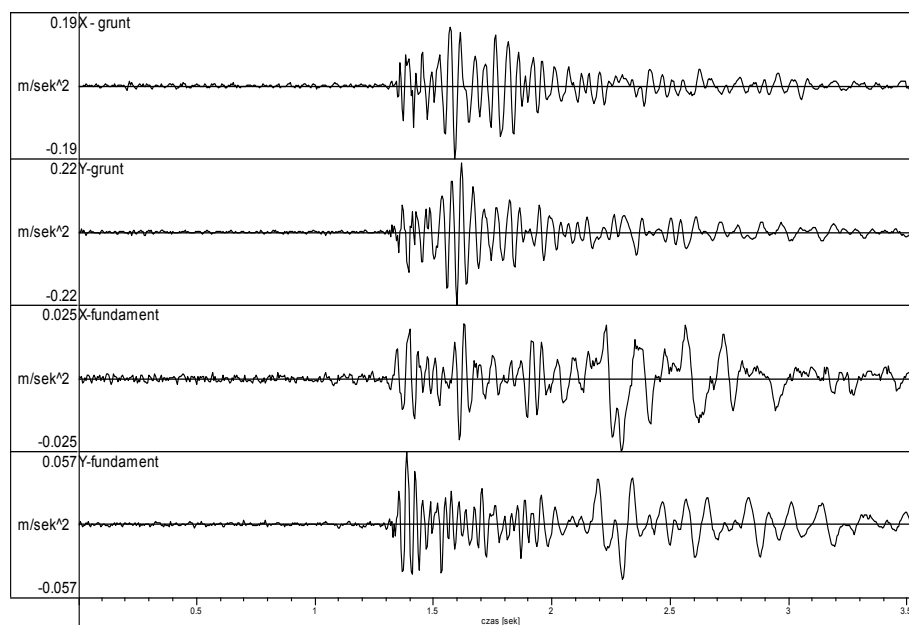
Obecnie istnieją określone problemy z wyborem odpowiedniej skali dla dokonywania inżynierskiej oceny skutków drgań od wstrząsów górniczych w kopalniach podziemnych i strzelań w zakładach odkrywkowych. Aktualnie stosunkowo dobrze sprawdza się skala MSK-64 stworzona przez sejsmologów. Przyjęcie do oceny tej skali skutkuje jednak tym, że rozpatrywać należy drgania w paśmie częstotliwości od 2-10 Hz (przy analizie przyspieszeń drgań gruntu). Skala ta jednak nie uwzględnia w ocenie skutków drgań o częstotliwościach powyżej 10 Hz, a taka moda częstotliwościowa drgań dominujących w zapisie występuje dość często. Najlepszym rozwiązaniem byłoby opracowanie nowej skali górniczej, lepiej uwzględniającej charakterystyki wstrząsów i rodzaj zabudowy w GZW i LGOM.

Na przykładach pomiarowych przedstawiono wyniki rejestracji drgań dokonanych równocześnie na gruncie, jak i na fundamencie budynków. Przykłady te dokumentują w sposób jednoznaczny znaczący wpływ drgań niskoczęstotliwościowych gruntu przenoszonych przez fundamenty budynków (do 10 Hz) oraz słabe przenoszenie się drgań gruntu dla mody wysokoczęstotliwościowej (powyżej 10 Hz). Skala tłumienia drgań wysokoczęstotliwościowych zale-

ży od rodzaju obiektu i generalnie tłumienie to będzie większe dla budynków dużych o niskiej częstotliwości drgań własnych.

Przykład pomiarowy dotyczy wstrząsu, który w kategoriach oddziaływania drgań na powierzchnię jest zjawiskiem niskoenergetycznym. Wstrząs ten został zarejestrowany w strefie epicentralnej. Częstotliwość drgań dominujących jest wyraźnie wysoka ($f_D \approx 20$ Hz).

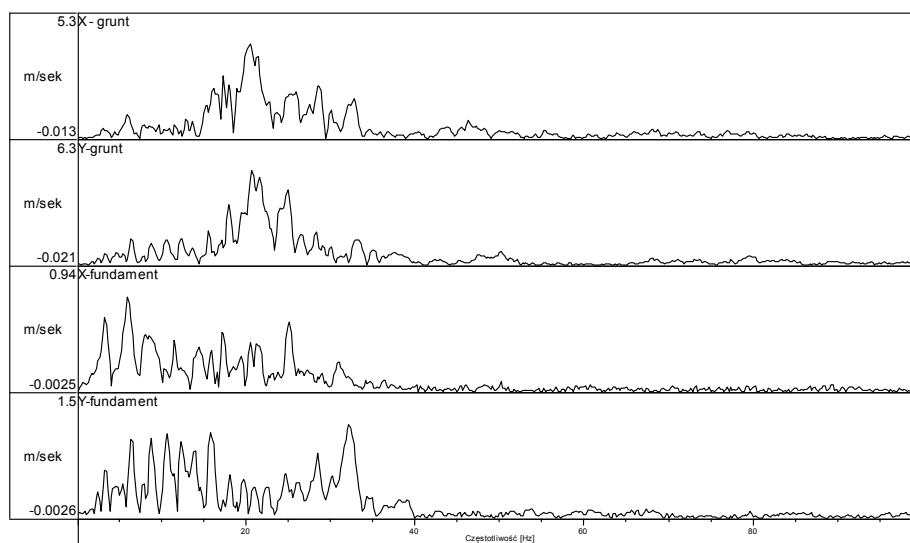
Na rys.1 przedstawione są akcelerogramy drgań zarejestrowanych w dwóch różnych miejscach – w gruncie i na fundamencie, a na rys. 1a odpowiadające im widma. Widoczne jest wyraźnie zmniejszenie się poziomu drgań rejestrowanych na fundamencie budynku, co świadczy, że interakcja drgań na kontakcie grunt-fundament znacznie stłumiła poziom drgań, w tym przypadku około 5 razy. Również wyraźne są zmiany ilościowe w zarejestrowanych widmach (obniżenie wartości rejestrowanych w budynku). Budynek, w którym dokonano pomiaru jest obiektem wielkopłytowym kilkupiętrowym.



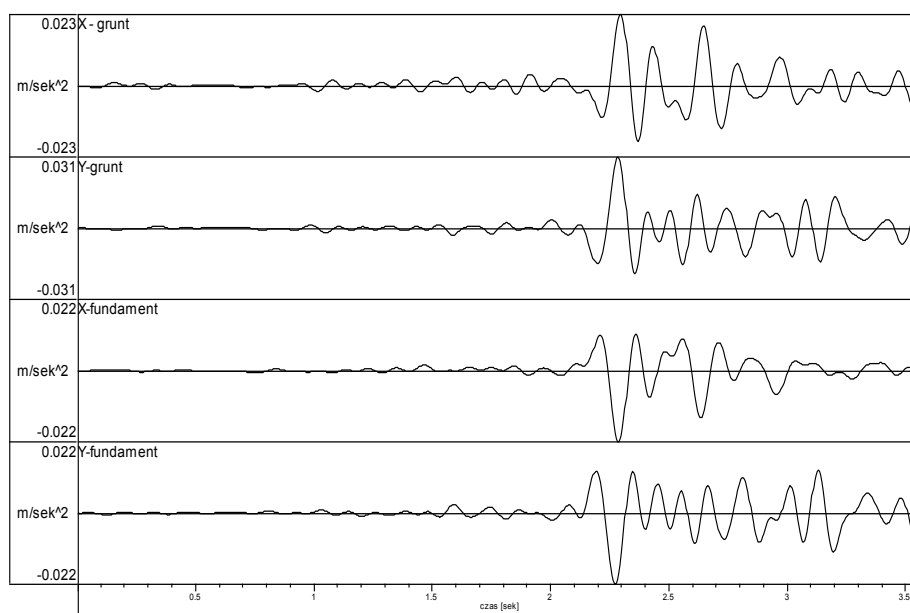
Rys. 1 Akcelerogramy drgań składowych poziomych w gruncie (0,5 m pod ziemią) i na fundamencie dla wstrząsu o energii $3,2 \cdot 10^5$ J zarejestrowanego w epicentrum

Fig. 1 Acceleration for a tremor of seismic energy $E=3.2 \cdot 10^5$ J registered in the ground and on foundation

Maksymalne amplitudy przyspieszenia drgań w gruncie $a_{\max} = 220$ mm/s² dla składowej poziomej Y zostały wytłumione przez fundament budynku do wartości 57 mm/s², natomiast dla składowej poziomej X zostały stłumione z wartości 190 mm/s² do 25 mm/s².



Rys. 1a Widmo wstrząsu o energii $E=3,2 \cdot 10^5$ J zarejestrowane w gruncie i na fundamencie
Fig. 1a FFT spectrum for a tremor from figure 1 (note that prevail frequency is more than 10 Hz)

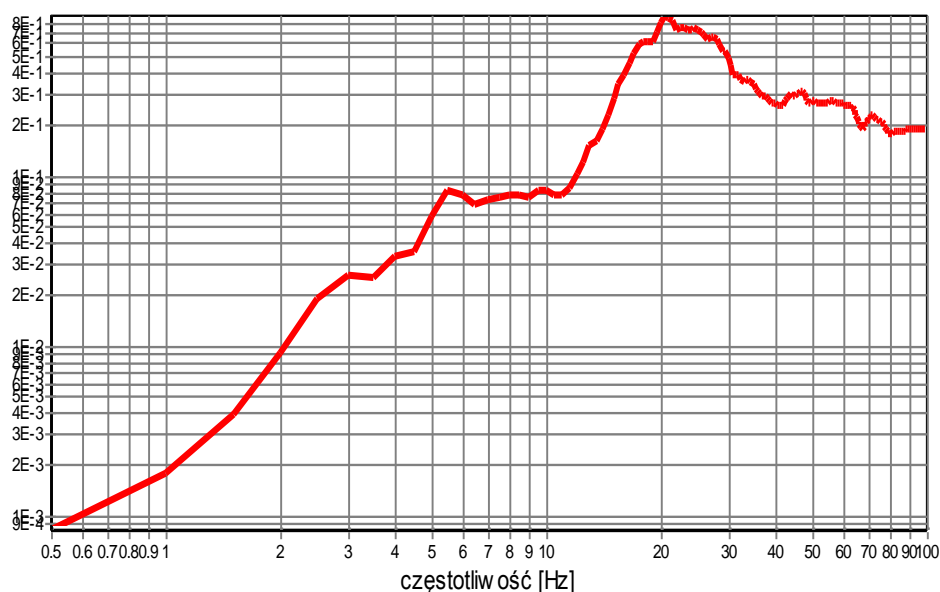


Rys. 1b Akcelerogramy drgań składowych poziomych w gruncie (0,5 m pod ziemią) i na fundamencie dla wstrząsu o energii $3,2 \cdot 10^5$ J zarejestrowanego w epicentrum; po filtracji pozostawiono tylko drgania do 10 Hz

Fig. 1b Acceleration for a tremor of seismic energy $E=3.2 \cdot 10^5$ J registered in the ground and on the foundation, after filtering frequency above 10 Hz

Na rysunku 1b przedstawiono zapis po dokonaniu filtracji rejestracji w paśmie do 10Hz. Amplitudy przyspieszenia zarówno dla drgań w gruncie jak i na fundamencie są teraz bardzo zbliżone.

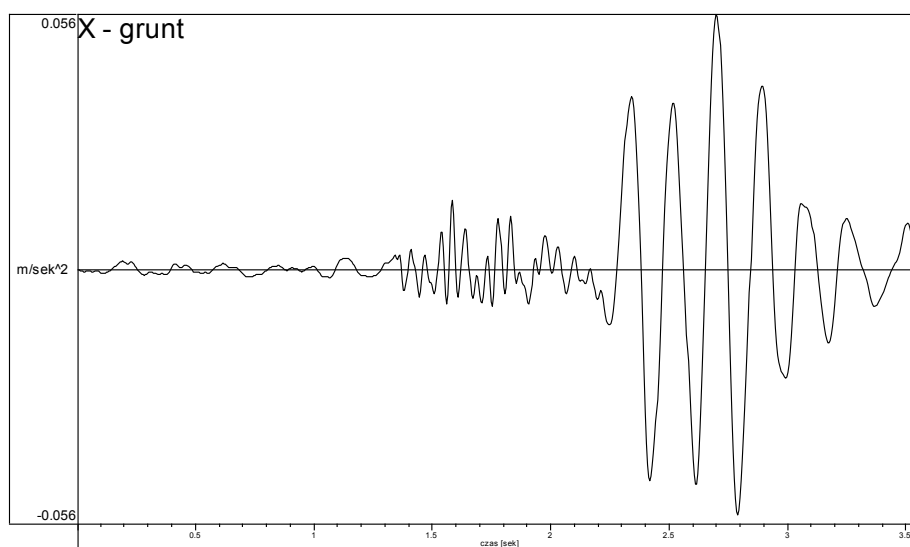
Na kolejnym rysunku 1c przedstawiono przyspieszeniowe spektrum odpowiedzi oraz odpowiedź przyspieszeniową budynku (akcelerogram) dla obliczeń przy zadanych parametrach tłumienia i częstotliwości drgań własnych obiektu (rys. 1d).



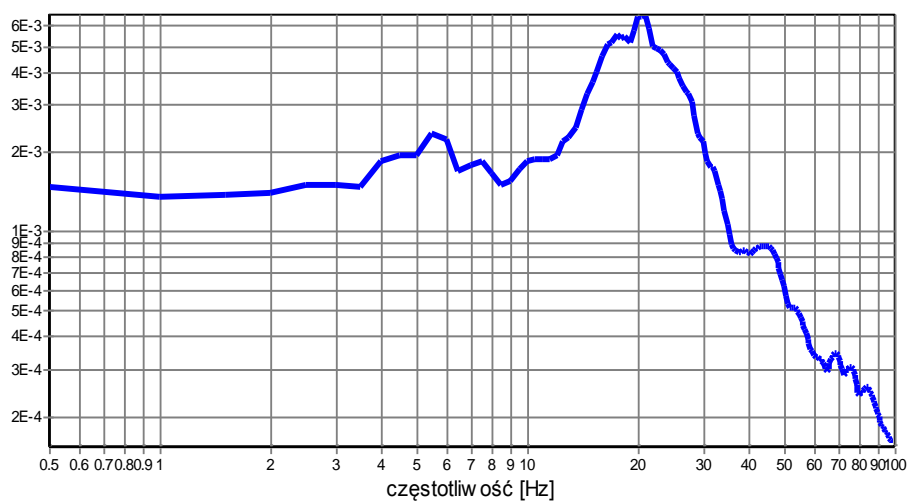
Rys. 1c Przyspieszeniowe spektrum odpowiedzi (tłumienie 5%) dla wstrząsu o energii $E=3,2 \cdot 10^5$ J zarejestrowanego w epicentrum

Fig. 1c Response spectrum for a tremor of seismic energy $E=3,2 \cdot 10^5$ J registered in the ground

Analizowany przykładowy wstrząs niskoenergetyczny o energii sejsmicznej $E=3,2 \cdot 10^5$ J jest typowy dla grupy zjawisk wysokoczęstotliwościowych, gdzie praktycznie prawie cała jego energia oraz maksymalne amplitudy przyspieszenia drgań mieszczą się w zakresie powyżej 10 Hz. Doskonale jest to widoczne na zapisach odfiltrowanych do częstotliwości 10 Hz (patrz rys. 1b), gdzie można zauważyć bardzo znaczący spadek amplitud ze 190 mm/s^2 do około 25 mm/s^2 . Zarejestrowany wstrząs charakteryzuje się również tym, że występuje bardzo silna interakcja drgań na styku ich przejścia z gruntu do budynku (zmniejszenie amplitud na fundamencie od 4 -7 razy). Wysokie częstotliwości w widmie drgań gruntu są zatem różne od częstotliwości zarejestrowanych na fundamencie. Przyspieszeniowe spektrum odpowiedzi (dla tłumienia 5%) osiąga maksimum dla 20 Hz, podobnie jak prędkościowe spektrum odpowiedzi. Odpowiedź przyspieszeniowa obliczona dla modelu budynku o częstotliwości drgań własnych 5 Hz i tłumieniu 5%, przedstawiona na rysunku 1d pokazuje wartość 56 mm/s^2 , a więc jej poziom przyspieszenia jest prawie 3,5 krotnie mniejszy od drgań w gruncie. Obliczona odpowiedź prędkościowa budynku o częstotliwości drgań własnych 5 Hz i tłumieniu 5% wynosi 2 mm/s i jest kilkadziesiąt razy niższa od empirycznie stwierdzonej granicznej odpowiedzi do jakiej nie obserwuje się żadnych uszkodzeń budynkach (Dowding 1984).



Rys. 1d Odpowiedź przyspieszeniowa budynku modelowanego oscylatorem o tłumieniu 5% i częstotliwości drgań własnych 5 Hz, na wymuszające drgania gruntu od wstrząsu o energii $E=3,2 \cdot 10^5$ J
Fig. 1d Response acceleration for a tremor of seismic energy $E=3.2 \cdot 10^5$ J registered in the ground for a structure with natural frequency 5 Hz and damping 5%



Rys. 1e Prędkościowe spektrum odpowiedzi (tłumienie 5%) dla wstrząsu o energii $E=3,2 \cdot 10^5$ J zarejestrowanego w strefie epicentralnej
Fig. 1e Velocity response spectrum for a tremor of seismic energy $E=3.2 \cdot 10^5$ J registered in the ground

Generalnie opisane zjawisko wskazuje jednoznacznie na fizyczny fakt wyraźnego osłabiania poziomu drgań przez obiekty budowlane i nieznaczającego oddziaływania drgań wysokoczęstotliwościowych (powyżej 10 Hz) generowanych przez niektóre wstrząsy górnicze występujące w kopalniach LGOM i GZW. Z tej przyczyny dla oceny oraz prognozy skutków w budynkach, przy stosowaniu skali MSK należy brać pod uwagę tylko drgania z mody o częstotliwości do 10 Hz.

Przedstawiony przykład zarejestrowanego wstrząsu dowodzi, że w zasadzie należałoby stosować do oceny skutków drgań skalę obejmującą szerszy zasięg częstotliwościowy. Takiej skali empirycznej dla warunków GZW i LGOM nie mamy jeszcze opracowanej. Wydaje się, że dość dobrą skalą jest dla naszych warunków skala amerykańska BOM RI 8507. Skala ta została opracowana do oceny skutków drgań od wstrząsów i strzelań pochodzenia górniczego. Informuje nas do jakiego poziomu amplitud prędkości drgań gruntu nie obserwuje się żadnych uszkodzeń, nawet rys w tynkach. Analizując skalę RI 8507 można zauważyć, że dla częstotliwości drgań dominujących typowych dla wstrząsów górniczych rejestrowanych w GZW i LGOM drgania do 12 mm/s nie są szkodliwe dla budynków mieszkalnych. Skala ta opracowana jest dla amplitud prędkości drgań, które są mniej czułe na przypadkowe drgania wysokoczęstotliwościowe.

Należy wspomnieć jeszcze o jednym aspekcie związanym z techniką wykonywania pomiarów sejsmometrycznych. Jest nim zjawisko dwukrotnego wzmocnienia drgań na powierzchni w stosunku do drgań rejestrowanych w gruncie. Aspekt ten musi być brany pod uwagę przy obliczaniu spektrów odpowiedzi modelowanych budynków.

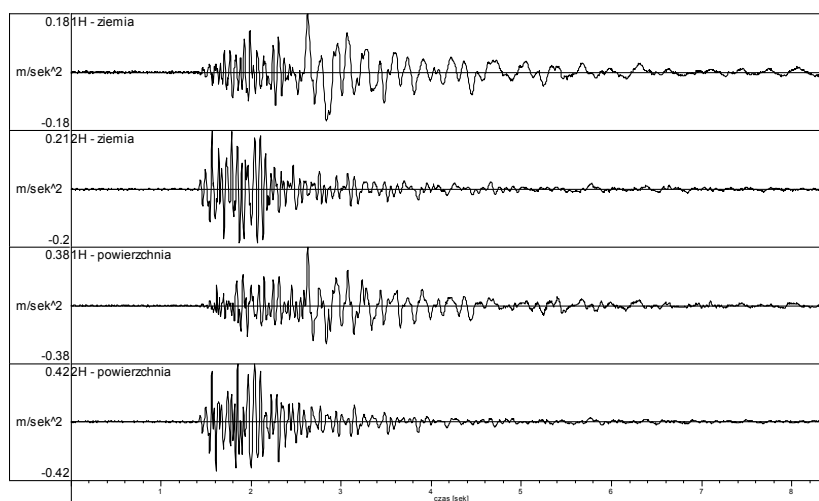
Wiadomo bowiem z literatury, że fala sejsmiczna przechodząca przez ośrodek skalny po dojsciu do powierzchni jest odbijana i propaguje w dół. Fala odbita jest określona równaniem, według którego jest ona tego samego rozmiaru co fala padająca. Równanie ruchu w ośrodku sprężystym jest następujące (Okamoto 1984):

$$u = U\left(t - \frac{x}{\beta}\right) + U\left(t + \frac{x}{\beta}\right)$$

gdzie: u – przemieszczenie, x – kierunek przemieszczenia, t – czas i β - prędkość fali sejsmicznej. Na powierzchni Ziemi gdzie $x=0$, u wynosi:

$$u=2 U(t)$$

co oznacza podwójną amplitudę drgań na powierzchni w porównaniu do amplitudy fali padającej. Na rysunku 2 przedstawiono przykład pomiarowy potwierdzający istnienie efektu podwójnego wzmocnienia drgań rejestrowanego na czujnikach pomiarowych usytuowanych na powierzchni swobodnej. Akcelerometry poziome prostopadłe do siebie 1H i 2H były umieszczone na powierzchni w małej studziencie (na rysunku oznaczone powierzchnia) oraz druga para akcelerometrów umieszczona została około 1 metr pod ziemią (na rysunku oznaczone ziemia). Wyniki pomiarów pokazują, że na powierzchni zarejestrowano około 2 razy większe amplitudy przyspieszeń drgań w porównaniu do drgań zarejestrowanych w ziemi. Pomiaru wykonano w Polkowicach a zarejestrowane wstrząsy miały swe źródło w ZG Rudna. Zarejestrowany wstrząs zaistniał bezpośrednio pod stanowiskami pomiarowymi.



Rys. 2 Wstrząs z ZG Rudna zarejestrowany w Polkowicach na stanowisku na powierzchni i na stanowisku w ziemi

Fig. 2 Tremor from Rudna Mine registered in Polkowice City on the surface station and in the ground

Przedstawiony przykład pomiarowy jednoznacznie pokazuje, że gdy do obliczenia spektrum odpowiedzi przyjmujemy drgania zarejestrowane na powierzchni to będzie ono osiągało zdecydowanie wyższe wartości, niż gdy przyjęte zostaną drgania gruntu. Oznacza to z kolei zwiększenie obliczanych sił w budynku od obciążeń dynamicznych.

Podobnie różne będą oceny skutków drgań określone na podstawie skal empirycznych. Jest rzeczą niezwykle ważną podczas dokonywania oceny skutków drgań dobierać odpowiednią skalę do parametrów, jakimi dysponuje się z pomiarów lub prognozy sejsmiczności dla badanego obszaru. Nie można bowiem wykorzystywać do oceny skutków, skal odnoszących się do drgań fundamentu czy budynku, wówczas gdy dysponuje się prognozą drgań gruntu. Nie można również czynić na odwrót, czyli stosować skale, które odnoszą się do drgań gruntu w sytuacji gdy dysponuje się pomiarami drgań w budynku. Takie postępowanie doprowadzi bowiem do błędnych ocen.

Literatura

- [1] Dowding Ch.H. 1984: Blast vibration monitoring and control, Northwestern University.
- [2] Dubiński J. i Mutke G. 1998: Wstrząsy górnicze: w Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych pod redakcją J. Kwiatka, GIG Katowice, 533-581.
- [3] Okamoto S. 1984: Introductions to Earthquake Engineering, University of Tokyo Press.

Structural response on mining vibrations at high range frequency

In the paper the reaction of building foundations on the mining tremors are shown. Ground vibrations at high range frequency (more than 10 Hz) are damped very strong on the foundation. It is important when somebody wants to assess damaging effect in the building after mining tremors and blasts.

Przekazano: 28 marca 2001