

Badanie intensywności wstrząsów pochodzenia komunikacyjnego w budynku mieszkalnym

ADAM KANCIRUK

Instytut Mechaniki Górotworu PAN; ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków

Streszczenie

Wstrząsy pochodzenia komunikacyjnego mogą być szkodliwe dla budowli i uciążliwe dla mieszkańców. Dlatego korzystnym jest monitorowanie ich intensywności, szczególnie w miejscach gęsto zasiedlonych. W artykule przedstawiono problem narażenia budynku mieszkalnego na drgania pochodzące od pobliskiej linii tramwajowej. Do badania intensywności drgań budynku zastosowano niskokosztową aparaturę pomiarowo-rejestacyjną. Uzyskane za jej pomocą dane pozwalają na liczbowe oszacowanie intensywności drgań.

Słowa kluczowe: mikrosejsmika, akcelerometr

Wstęp

Powierzchnia Ziemi i obiekty na niej posadowione są narażone na wpływ wstrząsów pochodzenia naturalnego i antropogenicznego. Wstrząsy pochodzenia naturalnego to głównie wstrząsy tektoniczne zwane popularnie trzęsieniami ziemi. Są one wywołane przez nagłe wyzwolenie energii sprężystej zgromadzonej w skorupie ziemskiej wskutek względnego przemieszczania się płyt litosferycznych. Hipocentra tych wstrząsów znajdują się zazwyczaj na głębokościach kilkunastu – kilkudziesięciu kilometrów. Ze względu na rozmieszczenie i tendencję ruchu płyt litosferycznych, na powierzchni Ziemi występują obszary o znacznej intensywności wstrząsów – sejsmiczne, umiarkowanej intensywności – asejsmiczne i praktycznie pozbawione wpływu wstrząsów – pensejsmiczne. Na obszarach sejsmicznych co kilka lat zdarzają się katastrofalne trzęsienia, pociągające za sobą śmierć mieszkańców w liczbach nawet dziesiątków tysięcy i ogromne straty materialne (np. w Nepalu 2015, na Haiti 2009). Zdarzają się też sporadycznie wstrząsy naturalne pochodzenia innego niż tektonicznego. Wskutek nagłych przemieszczeń gruntu i skał prowadzących do powstania zapadlisk i osuwisk wyzwolana jest energia sprężysta generująca wstrząsy. Jej ilość jest jednak w porównaniu do energii silnych trzęsień ziemi znikoma, a rejon objęty wstrząsem – bardzo ograniczony.

Gospodarka człowieka również jest przyczyną występowania wstrząsów na powierzchni Ziemi. Eksploatacja górnictwa zasobów naturalnych powoduje naruszenie stanu pierwotnej równowagi górotworu, powstawanie w nim naprężeń, których energia jest rozładowywana prowadząc do jego deformacji i generowania wstrząsów. Energie tych wstrząsów są niewielkie w porównaniu do energii silnych trzęsień ziemi¹. Ich hipocentra znajdują się na głębokościach prowadzenia prac wydobywczych, a więc zwykle do 2 km. Dzięki temu teren na którym wstrząs jest odczuwalny jest ograniczony, choć lokalnie może być uciążliwy dla mieszkańców i prowadzić do strat materialnych.

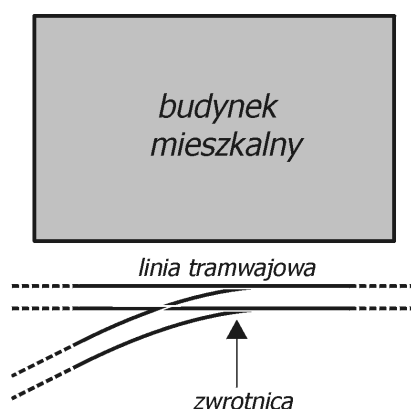
Wstrząsy pochodzenia antropogenicznego innego typu to wstrząsy wywołane przez ruch komunikacyjny pojazdów. Generowane są one głównie na samej powierzchni Ziemi (w znikomym zakresie przez pojazdy korzystające z tuneli). Ich energie są na tyle niewielkie, że pojedynczo nie mogą one wywoływać zauważalnych strat materialnych, lecz ich znaczna powtarzalność prowadzi do degradacji znajdujących się

¹ Np. energia trzęsienia ziemi w Nepalu oceniana jest na $4.5 \cdot 10^{16}$ J, energia bardzo silnego wstrząsu w kopalni w Lubinie – $1 \cdot 10^{11}$ J [1, 2].

w ich zasięgu obiektów budowlanych, głównie budynków i jest uciążliwa dla ich użytkowników. W związku z tym w niektórych przypadkach korzystne jest prowadzenie pomiarów intensywności drgań w budynkach narażonych na tego typu oddziaływania.

1. Cel prowadzenia badań

Do badań został wybrany budynek mieszkalny znajdujący się w bezpośrednim sąsiedztwie linii tramwajowej (rys. 1). Został on wybudowany w XIX wieku, posiada parter i piętro i zamieszkały jest przez kilka rodzin. Wzdłuż jednej z jego ścian, w odległości zaledwie kilku metrów przebiega linia tramwajowa, złożona z dwóch torów przechodzących w jeden. W szczególności wstrząsy są generowane w zwrotnicy, stanowiącej miejsce połączenia torów. Wstrząsy te nie powodują znaczniejszych strat materialnych w konstrukcji budynku – jest on przed skutkami wstrząsów zabezpieczony, zauważono jedynie niewielkie zarysowania ścian. Natomiast dla mieszkańców wstrząsy te są w znacznym stopniu uciążliwe, według ich relacji powodują nawet przemieszczenia się mebli i spadanie przedmiotów z półek. Dlatego postanowiono ustawić w budynku aparaturę do badań intensywności drgań.

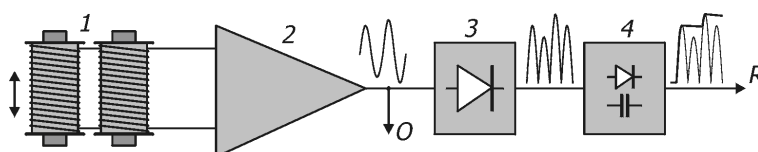


Rys. 1. Plan sytuacyjny budynku i linii tramwajowej

2. Aparatura użyta do badań

Do badań intensywności drgań w budynku zastosowano ze względów ekonomicznych wycofane już z eksploatacji, choć w pełni sprawne urządzenia: akcelerometr górniczy i rejestrator z taśmą papierową. Akcelerometr składa się z ciężarka – masy sejsmicznej zamocowanego (wraz z płytką tłumika hydraulicznego i cewkami przetwornika) za pośrednictwem sprężystego przegubu do podstawy obudowy, względem której może on poruszać się tylko w kierunku prostopadłym. Przetwornik jest typu magnetoelektrycznego, napięcie elektryczne w uzwojeniach cewek jest generowane przez ich ruch w stałym polu magnetycznym.

Do wzmocnienia niewielkiego (rzędu pojedynczych miliwoltów) sygnału wyjściowego akcelerometru zastosowano wzmacniacz o układzie opartym na wzmacniaczu operacyjnym. Do jego wyjścia dołączono aktywny prostownik liniowy i detektor szczytowy, tak aby na wejście rejestratora dostarczyć unipolarny impuls o amplitudzie proporcjonalnej do sygnału wyjściowego akcelerometru i czasie trwania wystarczającym do zniwelowania inercji elementu piszącego (karetki) rejestratora. Dodatkowo z układu wzmacniacza wyprowadzono pomocnicze wyjście do podłączenia oscyloskopu elektronicznego. Układy elektroniczne zmontowano na niewielkiej płytce dostosowanej wymiarami do niewielkiej wnęki w obudowie akcelerometru.



Rys. 2. Układ elektroniczny akcelerometru. 1 – cewki akcelerometru, 2 – wzmacniacz, 3 – prostownik liniowy, 4 – detektor szczytowy, wyjścia: R – do rejestratora, O – do oscyloskopu

Masywna, hermetyczna obudowa akcelerometru powinna być wypełniona olejem o lepkości zapewniającej co najmniej krytyczne tłumienie ruchów zestawu masa sejsmiczna-tłumik, w przeciwnym razie sygnał wyjściowy akcelerometru będzie zdominowany przez sygnał o częstotliwości drgań własnych jego układu pomiarowego. Z braku potrzebnych danych, lepkość oleju do napełnienia akcelerometru dobrano doświadczalnie mieszając w różnych proporcjach rzadki olej (do dwusuwów) i litowy smar stały.

Po napełnieniu akcelerometru olejem przystąpiono do jego wzorcowania. Przeprowadzono go w specjalistycznym laboratorium z użyciem wzbudnika drgań, porównawczego akcelerometru piezoelektrycznego dołączonego do odpowiedniej aparatury i oscyloskopu elektronicznego. Wzbudnik zapewniał zadawanie drgań sinusoidalnie zmiennych o częstotliwościach $9\div 25$ Hz, przy przyspieszeniach ok. 1 m/s^2 . Podłączony do pomocniczego wyjścia układu elektronicznego akcelerometru badanego oscyloskop mierzył amplitudę sygnału.

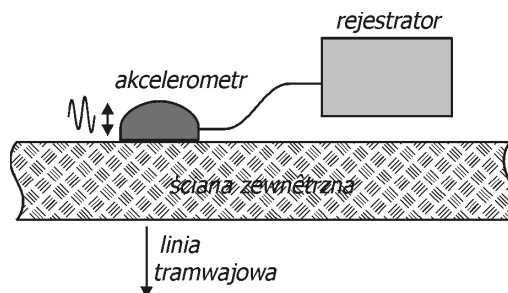
W zakresie $15\div 25$ Hz akcelerometr ze wzmacniaczem wykazał niemal stałą (z błędem poniżej 4%) czułość S wynoszącą:

$$S = \frac{6.25 \text{ V}}{1 \text{ m/s}^2}$$

zatem amplitudzie napięcia wyjściowego $U = 1 \text{ V}$ odpowiada przyspieszenie $a = 0.16 \text{ m/s}^2$. Poniżej 15 Hz czułość akcelerometru nieco spada.

3. Instalacja aparatury pomiarowej

Aparaturę zainstalowano na parterze budynku, w jednym z jego pomieszczeń. Akcelerometr przymocowano podstawą obudowy do zewnętrznej ściany równoległej do linii tramwajowej (rys. 3). Obok ustawiono rejestrator.



Rys. 3. Instalacja aparatury pomiarowej

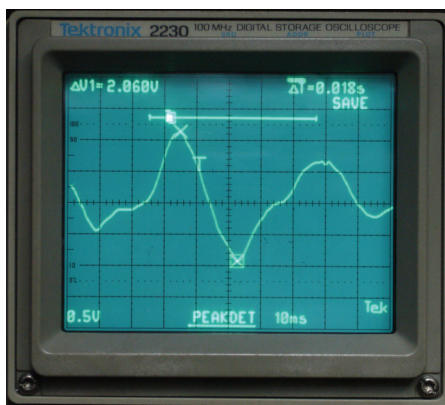
4. Przykładowe wyniki pomiarowe

Pierwszy, nieco ponad trzytygodniowy okres rejestracji drgań rozpoczął się 19 lutego 2015 roku o godzinie 11⁴⁵. Prędkość przesuwu taśmy papierowej rejestratora ustalono na 9 mm/h , dzięki czemu uzyskano diagram o długości ok. 4.8 m . Drgania wywołane przez kilka pierwszych przejazdów tramwajów obserwowano też na ekranie oscyloskopu (rys. 4). W każdym przypadku dominująca częstotliwość drgań mieściła się w granicach $20\div 25 \text{ Hz}$.

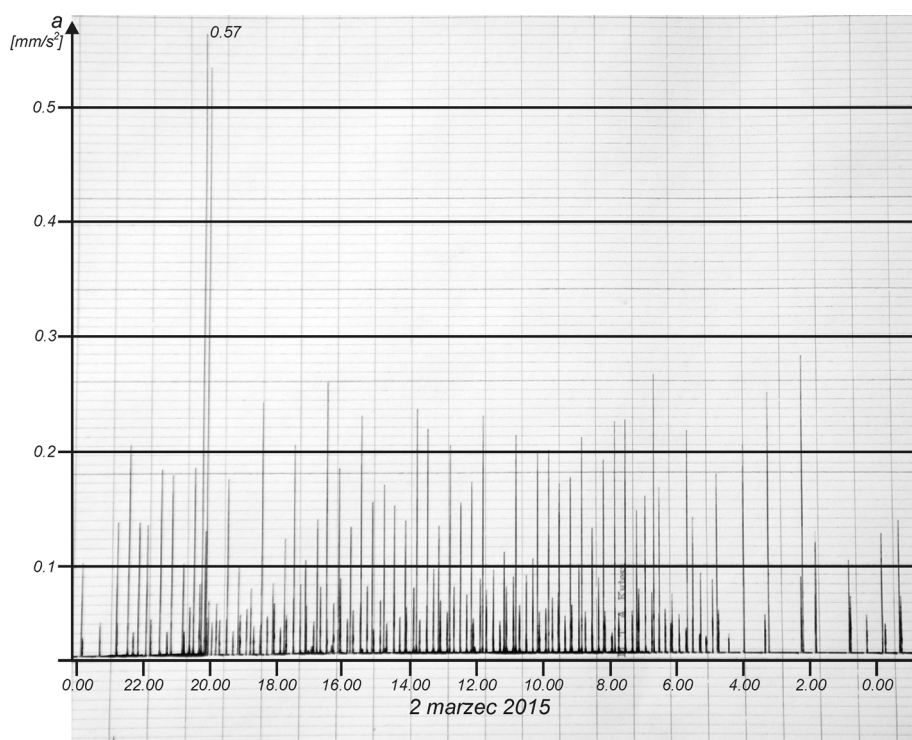
Rysunek 5 przedstawia część diagramu zapisanego na taśmie rejestratora obejmującą 1 dobę rejestracji, w dniu 2 marca. Z zarejestrowanych ogółem 146 wstrząsów (z których niektóre, o znikomej intensywności nie były generowane przez przejeżdżające tramwaje), 57-miom towarzyszyły przyspieszenia ponad 0.1 m/s^2 , 22 – ponad 0.2 m/s^2 , a dwóm – ponad 0.5 m/s^2 .

Zbliżony rozkład przyspieszeń towarzyszącym wstrząsoms zaobserwowano w pozostałe dni rejestracji. Ogółem zarejestrowano:

- 844 wstrząsy o przyspieszeniu ponad 0.1 m/s^2 ,
- 262 wstrząsy o przyspieszeniu w granicach $0.2\div 0.3 \text{ m/s}^2$,
- 5 wstrząsów o przyspieszeniu w granicach $0.3\div 0.4 \text{ m/s}^2$,
- 15 wstrząsów o przyspieszeniu w granicach $0.4\div 0.6 \text{ m/s}^2$.



Rys. 4. Przykładowy obraz drgań na ekranie oscyloskopu



Rys. 5. Wstrząsy zarejestrowane 2.03.2015

Z pewnością najbardziej uciążliwe dla mieszkańców były wstrząsy generujące największe przyspieszenia². Tabela 1 podaje czas ich występowania (z dokładnością do 5 minut) i maksymalne przyspieszenia.

Jak widać, wstrząs o maksymalnym przyspieszeniu 0.57 m/s^2 zdarzył się 2 marca o godzinie 20¹⁵. Spośród wszystkich 15 wstrząsów o amplitudzie przekraczającej 0.4 m/s^2 tylko jeden zdarzył się wcześniej niż o godzinie 17³⁰, żaden w godzinach komunikacyjnego szczytu, gdy tramwaje są zwykle przepełnione. Stąd wniosek, że przyczyną generowania najsilniejszych wstrząsów nie jest ogólna masa przejeżdżających składów, ani ich typ (wszystkie tramwaje eksploatowane na tej linii są tego samego typu), lecz najprawdopodobniej ich prędkość, co zdają się potwierdzać naoczne obserwacje. Nie zauważono natomiast wyraźnej zależności intensywności drgań od faktu, czy przez zwrotnicę (rys. 1) tramwaj przejeżdża prosto, czy ze skrzętem.

² Dla porównania: przyspieszenie ruchu gruntu dla wstrząsu o sile 8 stopni w skali Richtera wynosi $2\text{-}5 \text{ m/s}^2$ [3]

Tab. 1.

Data [dzień.miesiąc]	Czas [godzina ^{minuta}]	Przyspieszenie [m/s ²]
19.02	18 ⁴⁵	0.53
21.02	18 ¹⁰	0.46
21.02	20 ⁰⁰	0.49
22.02	17 ¹⁰	0.54
23.02	20 ⁰⁵	0.53
24.02	18 ⁰⁵	0.54
26.02	23 ³⁰	0.50
27.02	17 ⁴⁵	0.46
28.02	17 ³⁰	0.54
02.03	20 ¹⁰	0.54
02.03	20 ¹⁵	0.57
05.03	19 ²⁵	0.54
09.03	20 ²⁵	0.42
09.03	21 ¹⁵	0.54
13.03	13 ²⁵	0.52

5. Podsumowanie

Aparatura do rejestracji intensywności wstrząsów pracuje nadal, dostarczając nowych danych pomiarowych. Nienowoczesny już akcelerometr górniczy po wyposażeniu go w stosowne układy elektroniczne jest przyrządem w pełni sprawnym i wiarygodnym. Niestety, pewna wada konstrukcyjna rejestratora (zbyt niepewny przesuw taśmy papierowej) nie pozwala na uzyskanie diagramów z zachowaniem ciągłości rejestracji. Nic nie stoi jednak na przeszkodzie, aby elektromechaniczny rejestrator zastąpić prostym rejestratorem czysto elektronicznym. Uzyskane wyniki pomiarowe wykazują że istotnie, ruch tramwajów w sąsiedztwie budynku mieszkalnego jest bardzo uciążliwy dla jego mieszkańców. O ile trudno wymagać od przewoźnika likwidacji linii, lub jej przesunięcia, jak też wprowadzenie nowocześniejszego taboru, to rygorystyczne ograniczenie prędkości składów przejeżdżających przez zwrotnicę powinno znacznie zmniejszyć uciążliwość ich ruchu dla mieszkańców budynku.

Praca została wykonana w roku 2015 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] Strona internetowa: <http://losyziemi.pl/katmandu-nepal-bardzo-silne-trzesienie-ziemi-magnituda-7-9-w-skali-richtera-dwie-osoby-zginely-energia-wstrzasu-wyniosla-12-41-twh> (dostępna 9.09.2015).
- [2] Gibowicz S. i in.: *Source study of the Lubin, Poland, tremor of 24 March 1977*. Acta Geophys. Pol. 27(1), 1979, 3-38.
- [3] *Tablice fizyczno-astronomiczne*. Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 1995.

Research of intensity of rail traffic induced vibrations in an apartment building

Abstract

Vibrations of rail traffic origin can be harmful for buildings and onerous for inhabitants. Therefore it is favorable to monitor their intensity, especially in areas of dense population. In the paper a problem of influence of the vibrations upon an apartment building is presented. The building is situated close to a tram line. As a measurement and recording apparatus two low cost instruments were applied. The recorded data made it possible to evaluate the vibrations intensity.

Keywords: microseismics, accelerometer