ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2005
Seria: BUDOWNICTWO z. 104 Nr kol. 1695

Piotr STECZ*
Politechnika Krakowska

ZMIANY SPEKTRUM ODPOWIEDZI W PRZYPADKU DRGAŃ WYWOŁANYCH EKSPLOATACJĄ METRA

Streszczenie. Artykuł dotyczy problematyki przyspieszeniowych spektrów odpowiedzi budynku na drgania komunikacyjne. Spektra te opracowano w wyniku analizy przebiegów czasowych drgań budynku wywołanych przejazdami pociągów w tunelu metra. Dane zarejestrowano przy wykorzystaniu systemu ciągłego monitoringu drgań metra w Warszawie.

RESPONSE SPECTRUM CHANGES IN CASE OF VIBRATIONS CAUSED BY METRO EXPLOITATION

Summary. This paper concerns the problem of building acceleration response spectra caused by communication vibrations. These spectra were prepared as a result of analysis of building vibration time signals induced by metro train passages. The data were collected by using permanent vibration monitoring system in Warszawa.

1. Wprowadzenie

Wykorzystując dotychczasowe doświadczenia z zakresu badań drgań budynków wywołanych przejazdami pociągów w tunelach metra (por. np. [1, 2, 3, 4, 5, 6]) opracowano w Instytucie Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej założenia do systemu monitoringu tych drgań. W ramach tego systemu prowadzony jest m.in. ciągły pomiar drgań w dwóch budynkach sąsiadujących z tunelem metra w Warszawie. Zadaniem systemu jest wskazanie pociągów, których jazda zaczyna wywoływać drgania mogące w najbliższym czasie stanowić naruszenie komfortu życia mieszkańców z uwagi na wpływy dynamiczne, oprócz tego rejestruje on dane, które mogą być wykorzystane do analiz w szerszym i bardziej szczegółowym zakresie.

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Krzysztof Stypuła, prof. nzw. Politechniki Krakowskiej

Wymuszenie kinematyczne budowli może być scharakteryzowane poprzez spektrum odpowiedzi. Jest ono szeroko stosowane w analizach budowli poddanych działaniom sejsmicznym i parasejsmicznym. Przyspieszeniowe spektrum odpowiedzi niesie informacje o maksymalnych wartościach odpowiedzi oscylatorów na analizowane wymuszenie kinematyczne i jest ono jedną z praktycznych i często wykorzystywanych metod opisu wymuszenia budowli. Jest też szeroko stosowane w inżynierii sejsmicznej i parasejsmicznej.

W przypadku działań sejsmicznych na budowle są opracowane modelowe spektra odpowiedzi stosowane w projektowaniu budowli na obszarach objętych trzęsieniami ziemi. Odpowiednio do lokalnych warunków wyznacza się parametry podane w modelowym spektrum odpowiedzi.

W ostatnich latach podejmowane są próby wyznaczenia modelowych spektrów odpowiedzi, które odnoszą się do pewnych rodzajów drgań parasejsmicznych. Wyznaczono np. modelowe spektra odpowiedzi drgań wywołanych wstrząsami górniczymi. Podjęto próbę budowania modelu opartego na strukturze sztucznych sieci neuronowych, a opisującego wpływ warunków ruchowo-drogowych na spektrum odpowiedzi drgań generowanych przejazdami samochodów po jezdni drogi.

Niniejsza praca jest próbą opisu przyspieszeniowego spektrum odpowiedzi drgań budynku generowanych przejazdami pociągów metra. Podstawą do przeprowadzenia odpowiednich analiz były dane zebrane przez wspomniany już system monitoringu drgań metra.

2. Metodyka badań

System monitoringu zainstalowany został w dwu budynkach oznaczonych numerami N118 i N186. System rejestruje za pomocą akcelerometrów przyspieszenia drgań budynków wywołane przez każdy z pociągów, przejeżdżających w najbliższym tunelu metra. Między innymi w obu obiektach rejestrowane są drgania poziome (prostopadłe do kierunku jazdy pociągu) najniższej kondygnacji. System odnotowuje też godzinę, o której przejechał dany pociąg przy jednoczesnej identyfikacji numeru tego pociągu oraz podaje prędkość jego przejazdu.

Warto nadmienić, że w znanej autorowi literaturze przedmiotu brak jest tego typu analiz w odniesieniu do drgań budowli wywołanych przejazdami metra.

Rys. 1. Budynek N-118 w Warszawie usytuowany w sąsiedztwie linii metra
Fig. 1. Building N-118 in Warszawa in the close neighborhood of metro line

Jako dane wyjściowe z systemu monitorowania drgań metra warszawskiego posłużyły przebiegi czasowe drgań wyselekcjonowanych w ciągu doby pociągów metra. Przebiegi te zostały następnie poddane analizie w programie Matlab i w wyniku zastosowania algorytmu wyznaczania spektrum odpowiedzi obliczone zostały kolejne rzędne spektrum odpowiadające kolejnym częstotliwościom drgań z przedziału od 0 do 100 Hz.

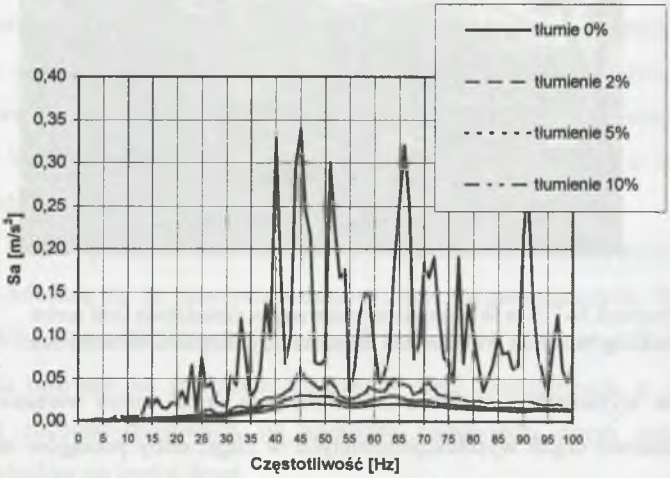
3. Analiza wyników

Analizie poddano przejazdy dwóch pociągów metra tego samego typu. Zostały wyselekcjonowane wszystkie przejazdy badanych pociągów, obejmujące kilka kolejnych dni. Z otrzymanych przebiegów czasowych otrzymano przyspieszeniowe spektrum odpowiedzi.

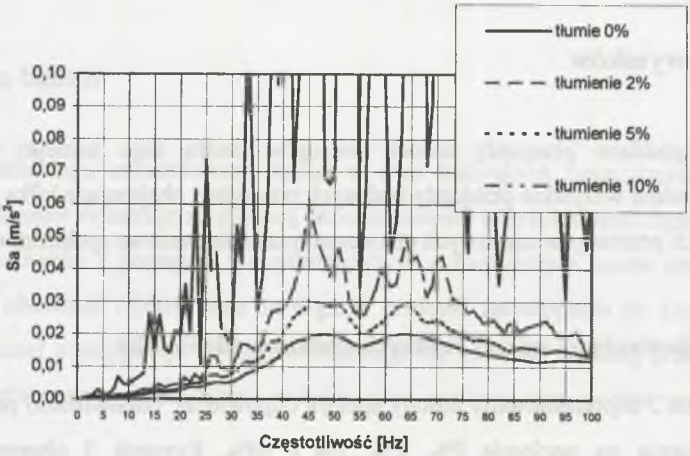
3.1. Wpływ tłumienia na zmiany rzędnych spektrum odpowiedzi

Na rysunku 2 zaprezentowane zostały spektra odpowiedzi, odpowiednio przy założonym ułamku tłumienia na poziomie 0%, 2%, 5% i 10%. Rysunek 3 obrazuje z większą dokładnością spektra o tłumieniu od 2% do 10%. Dla tłumienia 0% maksymalna odpowiedź budynku występuje dla częstotliwości 40 Hz i wynosi 0,329 m/s^2, odpowiednio dla spektrum tłumieniu 2% wynosi ona 0,028 m/s^2, dla spektrum o tłumieniu 5% – 0,020 m/s^2, a dla spektrum o tłumieniu 10% rzędna osiąga wartość 0,015 m/s^2. Kolejne rzędne odpowiedzi

budynku wystąpiły dla częstotliwości 45 Hz i przy ułamku tłumienia 0% wynosiły odpowiednio 0,340 m/s^2, dla tłumienia 2% – 0,062 m/s^2, przy tłumieniu 5% – 0,030 m/s^2, a dla tłumienia 10% – 0,019 m/s^2. Podobnie rzecz się ma z kolejnymi lokalnymi maksimami, które dla tłumienia 0% wystąpiły przy rzędnych 51 Hz, 66 Hz i 91 Hz.



Rys. 2. Spektrum odpowiedzi w przypadku tego samego przejazdu pociągu przy różnych ułamkach tłumienia
Fig. 2. Response spectrum caused by the same train passage for different damping factor values



Rys. 3. Spektrum odpowiedzi dla tego samego przejazdu dla różnych ułamków tłumienia
Fig. 3. Response spectrum caused by the same train passage for different damping factor values

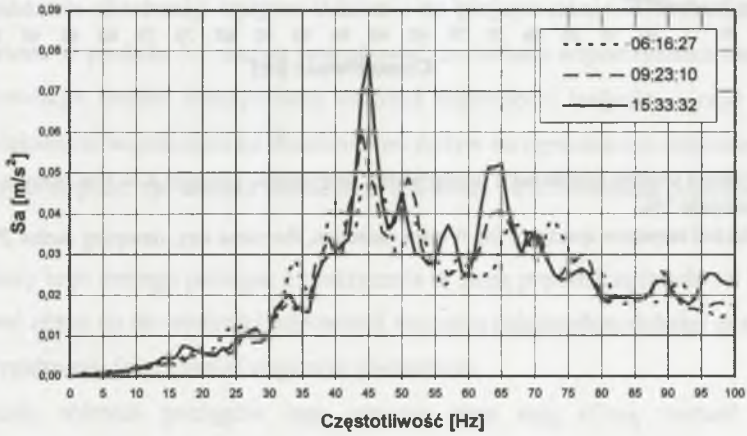
3.2. Zmiany spektrum odpowiedzi w przypadku przejazdów wybranego pociągu metra

Dla przejazdów tego samego pociągu (rys. 4) uwidocznione są dobowe zmiany rzędnych spektrum odpowiedzi, co może być związane ze stopniem wypełnienia pociągów metra na badanym odcinku przejazdu. Dla godzin szczytu zaobserwować można wyraźny wzrost rzędnych spektrum odpowiedzi. Maksymalne odpowiedzi uzyskane podczas przejazdów tego samego pociągu wynosiły kolejno:

Tablica 1

Wyselekcjonowane dane dotyczące przejazdów tego samego pociągu w ciągu doby

Pociąg 06:16:27		Pociąg 09:23:10		Pociąg 15:33:32	
Częstotliwość	S_a [m/s^2]	Częstotliwość	S_a [m/s^2]	Częstotliwość	S_a [m/s^2]
34	0,028	39	0,034	33	0,020
40	0,043	44	0,061	45	0,079
45	0,054	51	0,049	50	0,045
47	0,047	64	0,040	57	0,037
52	0,038	70	0,036	63	0,051
59	0,030	77	0,030	65	0,052
68	0,037	89	0,026	70	0,035
73	0,038			77	0,026
92	0,023			89	0,023
				97	0,025

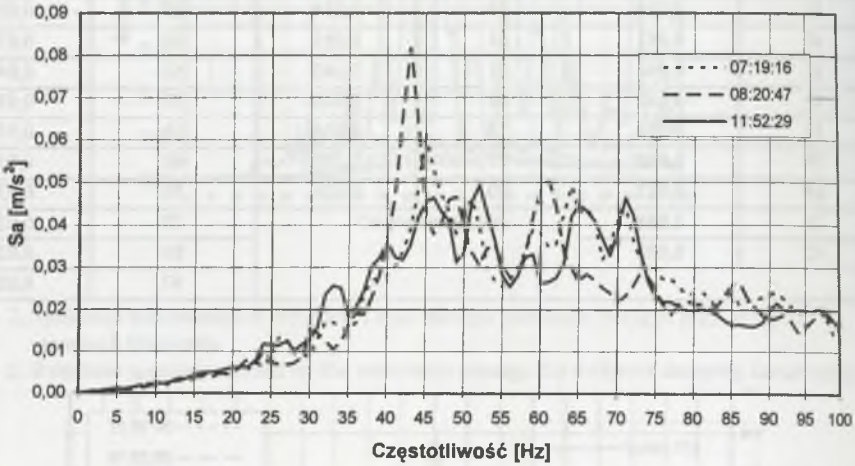


Rys. 4. Spektra odpowiedzi dla trzech różnych przejazdów tego samego pociągu w danym dniu, tłumienie 2%

Fig. 4. Response spectrum for three different passages of the same train in the same selected day, damping factor 2%

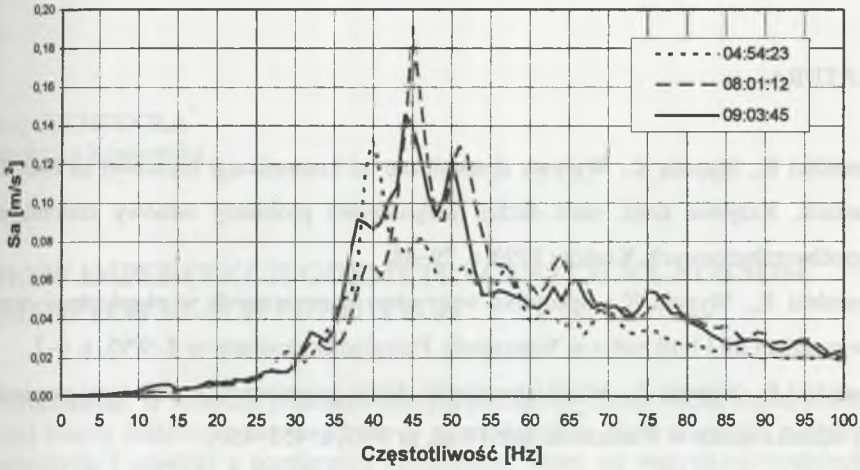
3.3. Zmiany spektrum odpowiedzi w przypadku przejazdów różnych pociągów

Przejazdom różnych pociągów tego samego typu towarzyszą zróżnicowane spektra odpowiedzi badanego budynku. Dla podanego tu przykładu pociągów A i B zaobserwować można wyraźną różnicę o rząd wielkości w wartościach rzędnych przyspieszeniowego spektrum odpowiedzi. Jak wynika z wcześniejszych prac prowadzonych w Instytucie Mechaniki Budowli [5, 6], przyczyną takiego stanu może być większe bicie promieniowe kół składu B w stosunku do składu A spowodowane zmianami eksploatacyjnymi na skutek zużycia.



Rys. 5. Wybrane spektra odpowiedzi w przypadku przejazdów pociągu A w tym samym dniu, tłumienie 2%

Fig. 5. Selected response spectrum for A train passages, the same day, damping factor 2%



Rys. 6. Wybrane spektra odpowiedzi w przypadku przejazdów pociągu B w tym samym dniu, tłumienie 2%
Fig. 6. Selected response spectrum for B train passages, the same day, damping factor 2%

4. Wnioski

Na podstawie obserwacji wpływu tłumienia na przyspieszeniowe spektrum odpowiedzi przedstawione w punkcie 3.1 można wnioskować, że zmiana współczynnika tłumienia z 0% na 2% powoduje zmianę maksymalnej wartości odpowiedzi budynku o rząd wielkości, a dalsze zwiększanie współczynnika tłumienia ma wpływ na ograniczenie odpowiedzi budynku w mniejszym stopniu, np. zmiana tłumienia z 2% aż do 10% zmniejsza odpowiedź do około 1/3.

Przejazdy tego samego pociągu, z praktycznie tą samą prędkością (około 60 km/h), mogą wywoływać różną co do wielkości odpowiedź budynku najprawdopodobniej w zależności od stopnia wypełnienia (obciążenia) wagonów pasażerami.

Przejazdy różnych pociągów tego samego typu dają różną wartość odpowiedzi dynamicznej budynku w zależności od stanu ich kół oraz stopnia wypełnienia.

LITERATURA

1. Ciesielski R., Stypuła K.: Wpływy dynamiczne od komunikacji szynowej na budynki w miastach. Krajowa konf. nauk.-techn. Inżynieryjne problemy odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych, Kraków 1990, s. 79–88.
2. Ciesielski R., Stypuła K.: Specyfika wpływów dynamicznych w eksploatacji metra z nawiązaniem do I linii metra w Warszawie. Przegląd Budowlany nr 8–9/95, s. 4–7.
3. Ciesielski R., Stypuła K.: Wyniki pomiarów drgań generowanych próbnymi przejazdami na I odcinku metra w Warszawie. Inż. i Bud. nr 9/95, s. 455–460.
4. Stypuła K.: Drgania mechaniczne wywołane eksploatacją metra płytkiego i ich wpływ na budynki. Zeszyty Naukowe: Inżynieria Lądowa nr 72, Kraków 2001.
5. Ciesielski R., Stypuła K.: Influence of shape of carriage wheels in consequence of exploitation wear on the level of building vibration caused by shallow underground train passages – case history. Conference Structural Dynamics EURODYN 2002, Grundmann&Shuëller (eds.) © 2002 Sweets&Zietinger, Lisse, p. 313-316.
6. Ciesielski R., Stypuła K.: Dynamiczne oddziaływania metra w Warszawie na budynki. Budownictwo Górnicze i Tunelowe, nr 2/2004, s. 26-36.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Gołaś