

BUDOWNICTWO

CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
CIVIL ENGINEERING

WYDAWNICTWO

POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

3-B/2010

ZESZYT 11

ROK 107

ISSUE 11

YEAR 107

JANUSZ KAWECKI, KRZYSZTOF KOZIOŁ, KRZYSZTOF STYPUŁA*

WPŁYW KONSTRUKCJI OBUDOWY TUNELU METRA NA PROGNOZOWANY ODBIÓR DRGAŃ PRZEZ LUDZI PRZEBYWAJĄCYCH W POBLISKIM BUDYNKU

INFLUENCE OF METRO TUNNEL STRUCTURE ON PROGNOSED VIBRATIONS RECEIVED BY PEOPLE STAYING IN NEARLY BUILDING

Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwość optymalizacji wymiarów elementów konstrukcyjnych projektowanej obudowy tunelu metra w celu obniżenia poziomu drgań emitowanych do sąsiednich budynków. Zamieszczono wyniki obliczeń symulacyjnych, w których wykorzystano wyniki pomiarów drgań z bazy danych pomiarowych Instytutu Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej. Obliczenia takie zostały wykonane w ramach projektowania nowoczesnej nawierzchni szynowej wraz z wibroizolacją na ostatnim, tzw. bielańskim, odcinku I linii metra w Warszawie.

Słowa kluczowe: drgania komunikacyjne, drgania generowane przez metro, wpływ drgań na ludzi

Abstract

The paper presents the possibility of vibration level reduction in nearby buildings by optimization of dimensions of designed metro tunnel elements. Effects of simulation are given. These calculations are based on results of measurements of vibrations taken from the measurement database of the Institute of Structural Mechanics in Cracow University of Technology. These calculations made within the framework of designing of modern rail tracks with vibroinsulation for the last section of the first Warsaw metro line.

Keywords: transport vibration, metro vibration, vibration influence on people

* Prof. dr hab. inż. Janusz Kawecki, dr inż. Krzysztof Kozioł, dr hab. inż. Krzysztof Stypuła, prof. PK, Instytut Mechaniki Budowli, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

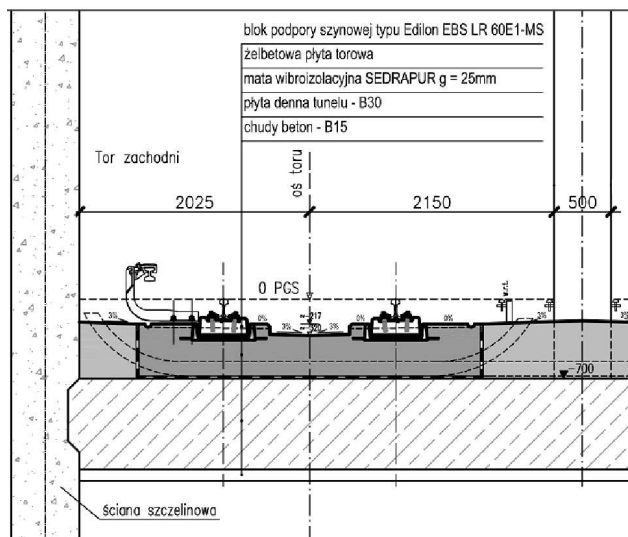
Przed realizacją każdego nowego odcinka metra, a więc dużej inwestycji transportu szynowego usytuowanej z reguły w terenie gęsto zabudowanym, wymagane jest wykonanie prognoz i ocen wpływu tej inwestycji na środowisko. Jednym z głównych oddziaływań związanych z funkcjonowaniem metra jest wpływ drgań wywoływanych przejazdami pociągów metra na pobliskie budynki i ludzi w nich przebywających. Podstawą takich prognoz są wyniki pomiarów drgań zaczerpnięte z baz danych pomiarowych i wykorzystane w obliczeniach symulacyjnych. Obejmują one modelowanie propagacji drgań z nawierzchni szynowej przez konstrukcję tunelu i grunt do budynku (np. [2, 3]), a następnie wykonanie obliczeń dynamicznych budynku z określeniem prognozowanego wpływu drgań na konstrukcję budynku i na ludzi w nim przebywających. Wpływ drgań na ludzi ma decydujące znaczenie w ocenie poprawności przyjętych rozwiązań, bowiem próg odczuwalności drgań przez ludzi jest na ogół (w przypadku zwykłych budynków o konstrukcji murowej lub żelbetowej) znacznie niższy niż granica odczuwalności drgań przez konstrukcję budynku [1, 4, 5].

Jeżeli prognozowane wpływy nie spełniają zakładanych kryteriów, to możliwe jest zaprojektowanie odpowiednio skutecznych rozwiązań wibroizolacyjnych, posługując się w tym celu obliczeniami symulacyjnymi. Najczęściej dotyczy to wprowadzenia wibroizolacji między szynami a obudową tunelu (szyna w otulinie, bloki w otulinie, maty wibroizolacyjne itp.). Często zapomina się, że w procesie propagacji drgań z toru do budynku istotną rolę odgrywa konstrukcja obudowy tunelu i co za tym idzie – kształtując tę konstrukcję na etapie projektowania – możliwość wpływania na poziom redukcji drgań emitowanych na zewnątrz tunelu. Problem ten zostanie przedstawiony poniżej na przykładzie analiz wykonanych przez autorów podczas projektowania¹ tuneli szlakowych na końcowym odcinku (tzw. odcinku bielańskim) I linii metra w Warszawie.

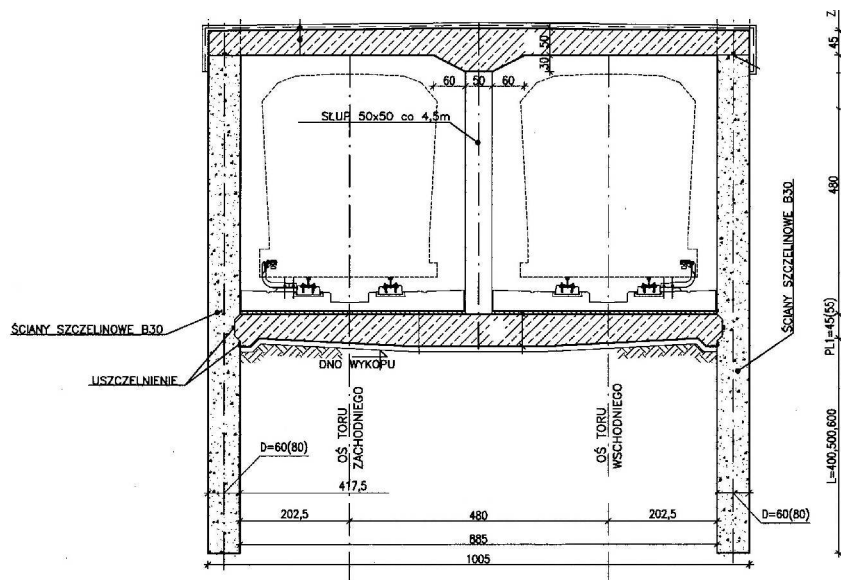
2. Założenia i metodyka analiz

Na omawianym odcinku metra w strefie oddziaływań dynamicznych, której zasięg został w Warszawie (metro płytke) określony na 40 m (w rzucie poziomym) od ścian zewnętrznych tunelu, znalazło się 129 budynków. Spośród nich 36 wybrano jako reprezentatywne w celu przeprowadzenia prognoz przyszłych wpływów drgań generowanych eksploatacją metra na konstrukcję budynków i na ludzi znajdujących się w nich. Z wykonanych przez autorów prognoz wynikało, że jeżeli zastosowane zostaną na tym odcinku dotychczasowe rozwiązania konstrukcyjne, to w większości budynków należy spodziewać się znacznych wpływów dynamicznych na ludzi. Konieczne stało się zastosowanie wibroizolacji w konstrukcji nawierzchni szynowej. Ze względu na posiadane przez system EBS EDILON świadectwo dopuszczenia do stosowania, wydane przez UTK (Urząd Techniki Kolejowej), zapadła decyzja o przyjęciu tego rozwiązania w połączeniu (tam, gdzie to konieczne) z matami wibroizolacyjnymi położonymi pomiędzy płytą torową a płytą denną (rys. 1) projektowanego tunelu. Przekrój tunelu przedstawiono na rys. 2.

¹ Projekt tunelu wykonało Biuro Projektów METROPROJEKT Sp. z o.o.



Rys. 1. Przekrój konstrukcji nawierzchni szynowej
Fig. 1. Vertical cross section of rail track construction

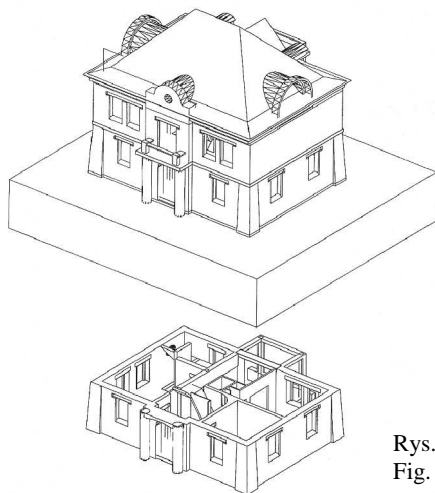


Rys. 2. Rozważany przekrój tunelu metra (wg dokumentacji METROPROJEKT)
Fig. 2. Considered vertical cross section of metro tunnel (designed by METROPROJEKT)

Zanim przystąpiono do projektowania parametrów mat wibroizolacyjnych przeanalizowano wpływ ewentualnych zmian w konstrukcji obudowy tunelu na poziom drgań przenoszących się na sąsiednią zabudowę. W tym celu wytypowano do przeprowadzenia analiz jeden z budynków (budynek K61 – fot. 1), sporządzono jego model do obliczeń dynamicznych (rys. 3), a następnie wykonano obliczenia symulacyjne drgań w tym budynku w odniesieniu do kilku wariantów konstrukcji obudowy tunelu. Wymuszenie kinematyczne prognozowano na podstawie wyników pomiarów drgań generowanych przez pociąg metra z bazy danych pomiarowych należącej do Instytutu Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej.



Fot. 1. Ogólny widok budynku K61
Photo 1. General appearance of building K61



Rys. 3. Wizualizacja modelu obliczeniowego budynku K61
Fig. 3. Visualization of calculation model of building K61

3. Analiza wpływu konstrukcji obudowy tunelu metra na prognozowany odbiór drgań pionowych stropu przez ludzi przebywających na parterze budynku K61

Zamieszczone poniżej wyniki analiz dotyczą drgań pionowych na parterze budynku K61, gdyż takie drgania miały według wcześniej wykonanych prognoz decydujący

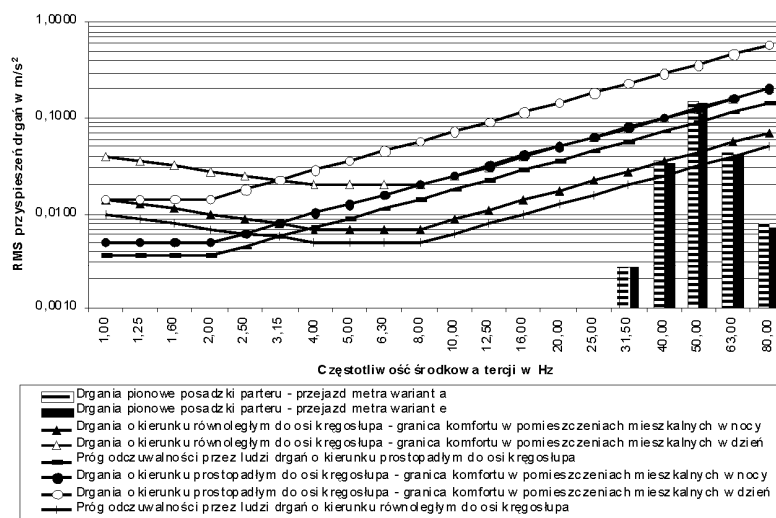
wpływ na ludzi przebywających w budynkach położonych wzdłuż rozważanego odcinka metra. Analizowane warianty wymiarów konstrukcji obudowy tunelu zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Analizowane warianty wymiarów konstrukcji obudowy tunelu

Wariant	Ściana szczelinowa		Grubość płyty dennej	Wibroizolacja
	grubość	długość		
a	60 cm	4 m	60 cm	brak
b	60 cm	4 m	60 cm	EBS + mata 2,5 cm
c	60 cm	6 m	60 cm	
d	60 cm	6 m	70 cm	brak
e	80 cm	4 m	60 cm	
f	80 cm	6 m	60 cm	EBS + mata 2,5 cm
g	80 cm	6 m	70 cm	

Porównanie wyników uzyskanych w odniesieniu do wariantów wymiarowych tego samego elementu konstrukcji obudowy tunelu przedstawiono na rys. 4–8.

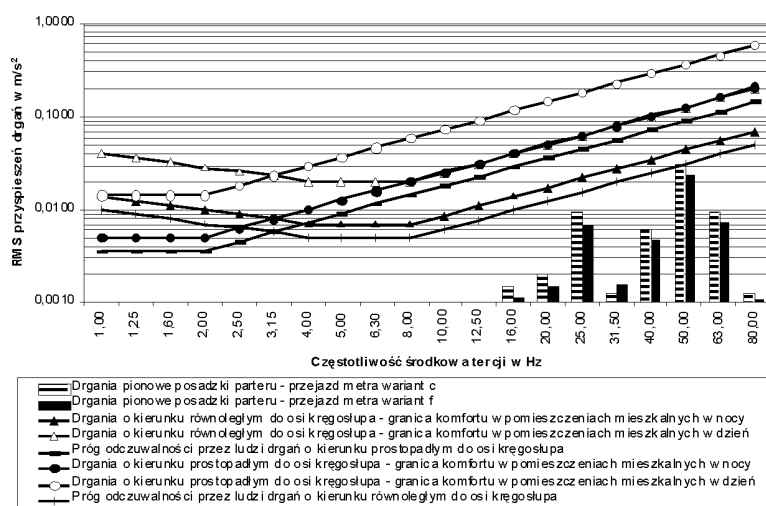


Rys. 4. Porównanie wpływu drgań na ludzi na parterze budynku K61 w przypadku ścian szczelinowych o długości 4 m i o grubości 60 cm (wariant a) lub 80 cm (wariant e)

Fig. 4. The comparison of vibration influence on people in first floor of building K61 in the case variant a and variant e

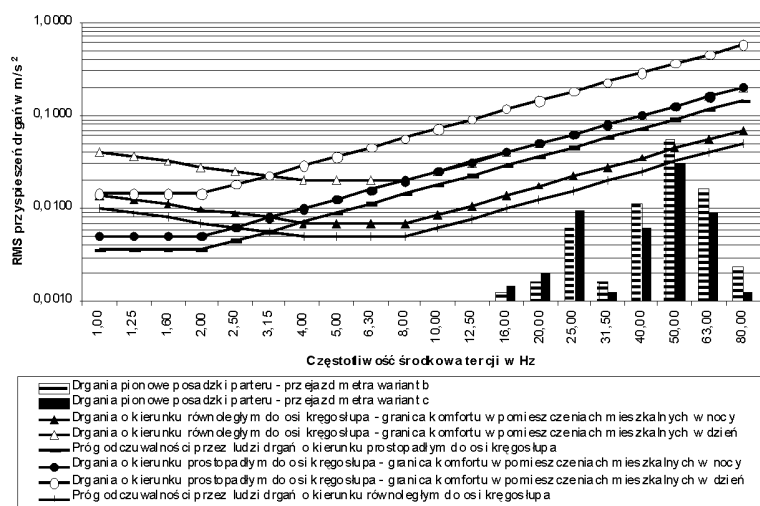
Zwiększenie grubości ścian szczelinowych z 60 do 80 cm praktycznie nie ma znaczenia na poziom redukcji drgań, w przypadku gdy nie przewiduje się zastosowania wibroizolacji (rys. 4). Natomiast po uwzględnieniu wibroizolacji wspomniana zmiana grubości ścian szczelinowych prowadzi do obniżenia o ok. 22% maksymalnego progno-

zowanego poziomu drgań przejmowanych przez ludzi znajdujących się na parterze budynku K61 (rys. 5).



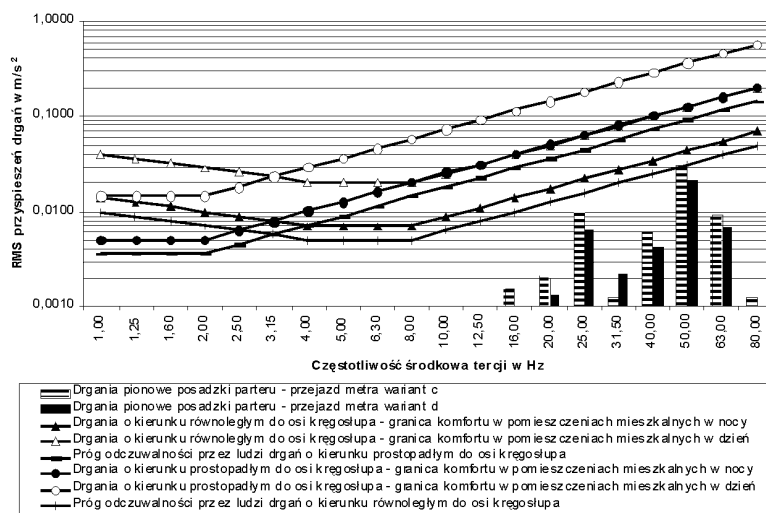
Rys. 5. Porównanie wpływu drgań na ludzi na parterze budynku K61 w przypadku ścian szczelinowych o długości 6 m i o grubości 60 cm (wariant c) lub 80 cm (wariant f)

Fig. 5. The comparison of vibration influence on people in first floor of building K61 in the case variant c and variant f



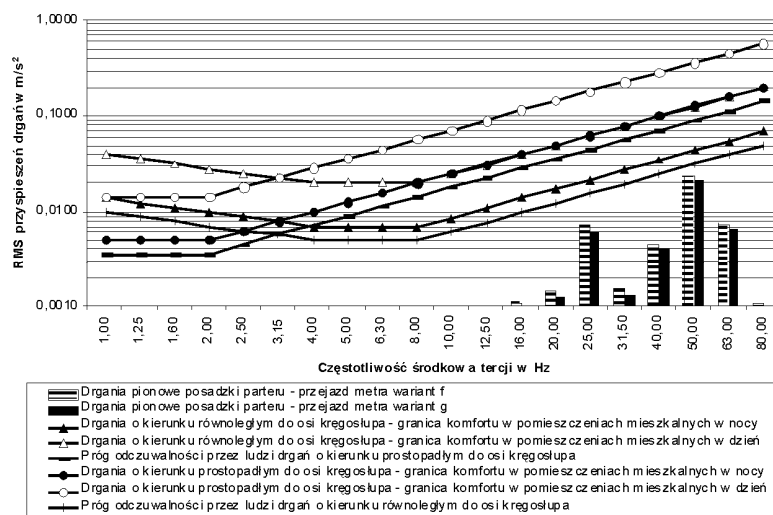
Rys. 6. Porównanie wpływu drgań na ludzi na parterze budynku K61 w przypadku ścian szczelinowych o grubości 60 cm i o długości 4 m (wariant b) lub 6 m (wariant c)

Fig. 6. The comparison of vibration influence on people in first floor of building K61 in the case variant b and variant c



Rys. 7. Porównanie wpływu drgań na ludzi na parterze budynku K61 w przypadku grubości płyty dennej 60 cm (wariant c) lub 70 cm (wariant d) – ściany szczelinowe 60 cm

Fig. 7. The comparison of vibration influence on people in first floor of building K61 in the case variant c and variant d



Rys. 8. Porównanie wpływu drgań na ludzi na parterze budynku K61 w przypadku grubości płyty dennej 60 cm (wariant f) lub 70 cm (wariant g) – ściany szczelinowe 80 cm

Fig. 8. The comparison of vibration influence on people in first floor of building K61 in the case variant f and variant g.

Zwiększenie długości ścian szczelinowych z 4 do 6 m ma większy wpływ na prognozowany poziom drgań odbieranych przez ludzi. Uzyskuje się dzięki temu redukcję drgań w pomieszczeniu na parterze budynku K61 o ok. 43% (rys. 6).

Zwiększenie grubości płyty dennej z 60 do 70 cm pozwala obniżyć maksymalny prognozowany poziom drgań przekazywanych na ludzi przebywających w pomieszczeniu na parterze budynku K61 o ok. 31% w przypadku ścian szczelinowych o grubości 60 cm (rys. 7) oraz o ok. 11%, gdy grubość ta wynosi 80 cm (rys. 8).

4. Wnioski

W projektowaniu wibroizolacji torów usytuowanych w sąsiedztwie budowli może pojawić się potrzeba uwzględnienia wpływu na budynki i ludzi w budynkach drgań generowanych przez prognozowane działania dynamiczne. Przeprowadza się wówczas obliczenia symulacyjne, w których wykorzystuje się wyniki pomiarów drgań zebrane w bazie danych pomiarowych. Procedura ta pozwala nie tylko na zaprojektowanie odpowiedniej wibroizolacji, ale także umożliwia wyznaczenie optymalnych wymiarów innych elementów (np. obudowy tunelu) występujących w otoczeniu, których obecność wpływa na obniżenie poziomu drgań przejmowanych przez budynek.

Ogólnie można stwierdzić, że zwiększanie masy elementów obudowy tunelu sprzyja obniżeniu poziomu drgań emitowanych poza tunel. Jednak, jak przedstawiono powyżej, istnieje współzależność pomiędzy efektami uzyskiwanymi w wyniku zmiany wymiarów poszczególnych elementów obudowy tunelu. Uzyskanie znaczącego obniżenia poziomu drgań sąsiednich budynków w wyniku zwiększenia wymiarów (masy) jednego z elementów może spowodować, że powiększanie innych wymiarów nie będzie już tak efektywne pod względem redukcji poziomu drgań przenoszących się na sąsiednie budynki.

Literatura

- [1] Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E., *Ocena wpływu wibracji na budowle i ludzi w budynkach (diagnostyka dynamiczna)*, Wyd. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1993.
- [2] Clouteau D., Arnst M., Al-Hussaini T.M., Degrande G., *Freefield vibrations due to dynamic loading on a tunnel embedded in a stratified medium*, Journal of Sound and Vibration, 283, 2005, 173-199.
- [3] Pakbaz M.S., Mehdizadeh R., Vafaeian M., Bagherinia K., *Numerical Prediction of Subway Induced Vibrations: Case Study in Iran-Ahwaz City*, Journal of Applied Sciences, 9(11), 2009, 2001-2015.
- [4] PN-85/B-02170 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.
- [5] PN-88/B-02171 Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.