

Metro w Warszawie jako przykład uwzględniania ochrony przed drganiami w procesie tworzenia infrastruktury transportu szynowego

Metro in Warsaw as an example to consideration of the protection against vibration in the process of rail transport infrastructure create



Krzysztof Stypuła

Prof. dr hab. inż.

Politechnika Krakowska

kstypula@pk.edu.pl



Krzysztof Koziol

dr inż.

Politechnika Krakowska

kkoziol@pk.edu.pl

Streszczenie: Praca dotyczy problemu uwzględnienia ochrony środowiska przed drganiami od transportu szynowego w procesie przygotowania i projektowania inwestycji dla tego transportu. Na przykładzie budowy metra w Warszawie wskazano wytyczne i normy dotyczące oceny wpływu drgań na budynki i na ludzi w budynkach. Przedstawiono procedury ochrony przed drganiami w przypadku inwestycji transportu szynowego. Omówiono sposoby wykonywania analiz wpływu drgań na konstrukcje budynków i ludzi w nich przebywających oraz procedurę projektowania wibroizolacji w nawierzchni szynowej.

Słowa kluczowe: Drgania komunikacyjne; Drgania kolejowe; Wibroizolacja; Metro; Drgania budynków

Abstract: The work addresses the problem of taking into account environmental protection against vibration caused by rail transport in the preparation and design of rail transport infrastructure. For example of the construction of the subway in Warsaw indicated guidelines and standards for assessing the impact of vibration on buildings and people in buildings. Provides procedures for protection against vibrations in the case of construction of the rail transport. Ways to perform analyzes of the impact of vibration on structures of buildings and people staying in them are discussed. Also the design procedure of vibroisolation in the structure of the rail track are presented.

Keywords: Transportation vibrations; Rail vibrations; Vibroisolation; Subway; Building vibrations

W ramach nowej perspektywy funduszy UE przewidziano w naszym kraju szereg inwestycji z zakresu przebudowy i rozbudowy (modernizacji) oraz budowy infrastruktury transportu szynowego. Szczególnie dotyczyć to będzie infrastruktury kolejowej (przebudowa i rozbudowa dworców i linii kolejowych, koleje dużych prędkości) ale uwzględniono także inwestycje miejskiego transportu szynowego (tramwaj, metro).

Jednym z warunków rozliczenia inwestycji i ich refundacji z funduszy unijnych jest uwzględnienie wymagań ochrony środowiska. Jedno z takich wymagań dotyczy ograniczenia wpływu drgań generowanych przez transport szynowy na budynki i ludzi w budynkach. Problematyka uwzględniania tego wpływu w procesie inwestycyjnym została przedstawiona poniżej na

przykładzie inwestycji metra w Warszawie. Szerszy zakres zagadnień dotyczących tej tematyki można znaleźć w innych opracowaniach autorów np. [1-4].

Wytyczne i normy dotyczące wpływu drgań na budynki i ludzi w budynkach

Przez ponad ćwierć wieku obiekty metra w Warszawie projektowano i budowano na podstawie przepisów kolejowych a dokumentacja rola się od odstępstw od tych przepisów. Obecnie obiekty metra muszą spełniać warunki podane w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 17 czerwca 2011 w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać obiekty metra i ich usytuowanie.

Kwestię ochrony przed drganiami metra reguluje załącznik 2 do tego rozpo-

ządzenia zatytułowany: WYMAGANIA W ZAKRESIE OGRANICZENIA WPŁYWU DRGAŃ. Załącznik został przyjęty, na wniosek Metra Warszawskiego, na podstawie propozycji opracowanej przez prof. dr hab. inż. Krzysztofa Stypułę. Załącznik ten zawiera następujące zapisy:

1. Rozwiązania techniczne, w tym konstrukcja tunelu i nawierzchni torowej, powinny zapewniać zabezpieczenie otaczającej zabudowy przed wpływem drgań dynamicznych, z uwzględnieniem wymagań Polskiej Normy PN-B-02170:1985 i PN-B-02171:1988. Należy przyjąć następujące parametry oceny poprawności rozwiązań w zakresie tłumienia drgań:

- 1) wpływ drgań na konstrukcję budynku — maksymalny wskaźnik odczuwalności drgań — 0,70,
- 2) wpływ drgań na ludzi — maksymalny wskaźnik odczuwalności drgań - 0,95,

gdzie wskaźnik odczuwalności drgań stanowi stosunek wartości rzeczywistej drgań do wartości dopuszczalnej dla określonych częstotliwości.

2. Zasięg obszaru eksploatacyjnych oddziaływań dynamicznych podziemnych odcinków linii metra na otaczającą zabudowę, w średnich warunkach gruntowych, w terenie płaskim określa się na 40 m od skrajnej ściany najbliższego tunelu lub stacji metra, po obu stronach linii metra.

3. Zasięg obszaru eksploatacyjnych oddziaływań dynamicznych naziemnych odcinków linii metra na sąsiednią zabudowę jest zależny od warunków lokalnych i powinien zostać określony w poszczególnych przypadkach na podstawie analizy specjalistycznej uwzględniającej wyniki pomiarów drgań.

4. Podstawowy sposób ochrony sąsiedniej zabudowy przed drganiami wywołanymi eksploatacją metra stanowi zaprojektowanie wibroizolacji w konstrukcji nawierzchni torowej. Projekt powinien zawierać prognozę wpływu drgań na sąsiednią zabudowę po zastosowaniu wibroizolacji.

5. Miejsca bezpośredniego sąsiedztwa — przylegania budynków do konstrukcji obiektów budowlanych metra — powinny być zaopatrzone w wibroizolację chroniącą budynki przed przeniesieniem się nadmiernych drgań.

6. Zabezpieczenia wibroizolacyjne powinny zostać tak zaprojektowane, aby poziom prognozowanego wpływu drgań na ludzi przebywających w budynkach nie przekraczał progu odczuwalności drgań przez ludzi.

7. Linia metra powinna być wyposażona co najmniej w dwa punkty pomiaru drgań, zapewniające monitorowanie, w sposób ciągły, poziom drgań w poziomie podtorza i budynkach sąsiadujących z linią metra.

8. W przypadku konieczności wykonywania robót powodujących drgania znaczące dla obiektów budowlanych należy:

- 1) określić zasięg wpływu tych drgań;
- 2) wykonać prognozę ich wpływu na te obiekty;
- 3) wykonać ocenę tego wpływu na podstawie pomiarów kontrolnych podczas wykonywania robót.

Jak wspomniano w powyższym Rozporządzeniu zasady diagnostyki i kryteria ocen wpływu drgań na konstrukcję budynków i na ludzi w nich przebywających zawarte są w dwu polskich normach opracowanych w Instytucie Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej:

- PN-B-02170:1985. Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.
- PN-B-02171:1988. Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.

Podane w tych normach kryteria oceny stanowią podstawę do prawidłowego zaprojektowania zabezpieczeń budynków i ludzi w nich przebywających przed nadmiernym wpływem drgań.

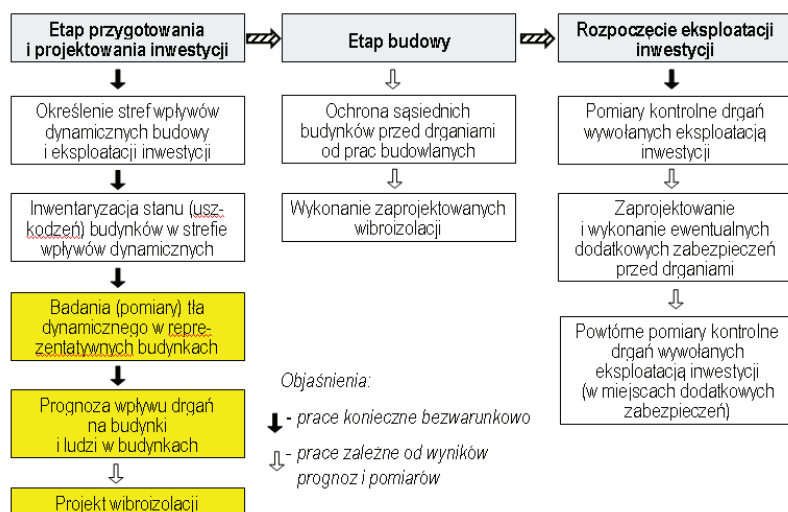
Procedury ochrony przed drganiami w inwestycjach transportu szynowego

Działania zmierzające do ochrony budynków i ludzi w budynkach przed drganiami powinny być przeprowadzone w odpowiedniej kolejności. Można je podzielić na trzy zasadnicze etapy:

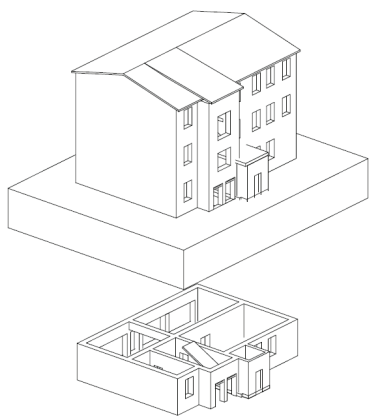
- Etap przygotowania inwestycji - obejmujący sporządzenie oceny lub raportu oddziaływania inwestycji na środowisko oraz projektowanie inwestycji; to w ramach tego etapu wykonuje się inwentaryzację uszkodzeń w budynkach znajdujących się w strefie oddziaływań inwestycji, a w odniesieniu do drgań należy wykonać kolejno: pomiary tła dynamicznego, prognozy wpływu drgań na budynki i ludzi w budynkach, projektowanie zabezpieczeń takich jak wibroizolacje czy systemy monitoringu drgań,
- Etap realizacji inwestycji (budowy) - obejmujący ochronę budynków przed drganiami budowlanymi i zrealizowanie wibroizolacji,
- Etap rozpoczęcia eksploatacji zrealizowanej inwestycji - obejmujący pomiary kontrolne wpływu drgań na budynki i na ludzi w budynkach, ewentualne zaprojektowanie i zrealizowanie dodatkowych zabezpieczeń wibroizolacyjnych i powtórne pomiary kontrolne celem potwierdzenia skuteczności zastosowanych zabezpieczeń.

Przykładowy algorytm opisanych działań przedstawiono na rys. 1.

Powyższy algorytm może ulegać pewnym modyfikacjom związanym z lokalnymi wymaganiami i warunkami w jakich prowadzona jest inwestycja (np. wymóg monitorowania drgań w przypadku metra), czy z organizacją procesu inwestycyjnego np. w przypadku inwestycji w systemie „projektuj



1. Przykładowy harmonogram prac z zakresu ochrony przed drganiami w przypadku inwestycji transportu szynowego (kolorem żółtym oznaczono prace związane bezpośrednio z obliczeniami symulacyjnymi i zaprojektowaniem wibroizolacji).

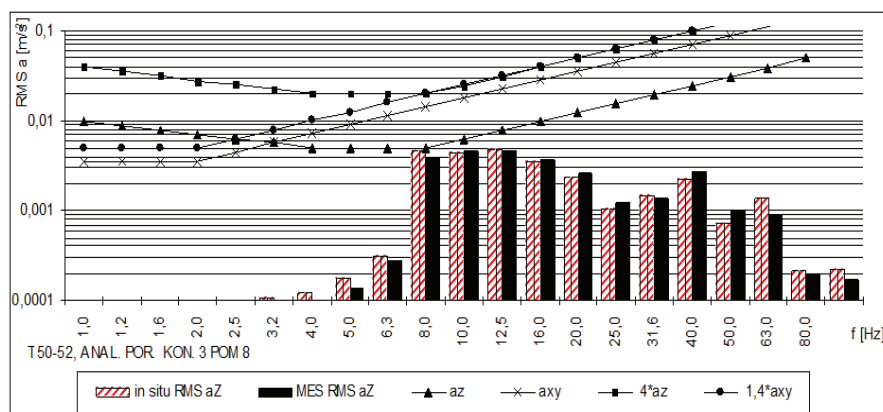


2. Wizualizacja modelu obliczeniowego budynku (całość i pojedyncza kondygnacja)

i buduj”, w którym część prac związanych z przygotowaniem inwestycji jest po stronie inwestora a dalsza część projektowania jest prowadzona przez wykonawcę inwestycji.

Tę ostatnią sytuację można prześledzić na przykładzie budowy linii metra w Warszawie. Przed rozpisaniem przetargu w systemie „projektuj i buduj” na wykonanie kolejnych odcinków II linii metra, Metro Warszawskie zleca w ramach przygotowania inwestycji wykonanie m.in. inwentaryzacji stanu budynków w strefie oddziaływań metra oraz w ramach projektu budowlanego wykonanie analizy wpływu drgań i obciążeń dynamicznych na konstrukcje budynków i ludzi w nich przebywających. Dalsze prace zlecane są już przez firmę wyłonioną w przetargu na realizację danego odcinka metra. I tak w przypadku odcinka centralnego II linii metra były to następujące prace:

- Projektowanie wibroizolacji,
- Projekt monitoringu drgań i hałasu podczas budowy,
- Projekt monitoringu drgań w fazie eksploatacyjnej.
- Projekt porealizacyjnych pomiarów drgań wywołanych ruchem pociągów metra,
- Pomiary monitorujące drgania i hałas podczas budowy,
- Wykonanie systemu monitoringu drgań generowanych przez metro,
- Opracowanie raportu dotyczącego powykonawczych pomiarów wibracji przy jeżdżących pociągach metra na II linii metra w Warszawie.



3. Weryfikacja modelu - analiza porównawcza wpływu na ludzi drgań pionowych posadzki na 3-iej kondygnacji jednego z reprezentatywnych budynków w przypadku przejazdu samochodu ciężarowego - wg badań in situ i symulacji numerycznej

W przypadku przebudowy nawierzchni szynowej bez zmiany jej konstrukcji wykonanie pomiarów przedrealizacyjnych w poszczególnych budynkach i określenie w nich wpływu drgań na budynki i na ludzi w tych budynkach może być wystarczające do określenia czy i gdzie konieczne jest zastosowanie dodatkowej wibroizolacji i wówczas obliczenia symulacyjne zmierzające do zaprojektowania skutecznej wibroizolacji ogranicza się jedynie do tych budynków, w sąsiedztwie których taka wibroizolacja jest potrzebna.

Analiza wpływu drgań na konstrukcje budynków i ludzi w nich przebywających

Poniżej przedstawiono zasady wykonywania takiej analizy na przykładzie opracowania wykonanego przez autorów dla odcinka centralnego II linii metra w Warszawie.

Całość opracowania obejmowała kolejno:

- przegląd konstrukcji budynków pod kątem wybrania obiektów reprezentatywnych do analiz szczegółowych (pomiarów i obliczeń symulacyjnych),
- opracowanie modeli konstrukcji wybranych budynków z uwzględnieniem ich stanu technicznego i wykonaniem dokumentacji fotograficznej elementów konstrukcji wymagających wzmocnienia (karty budynków) – por. rys. **2**,
- badania (pomiarów) wpływów dy-

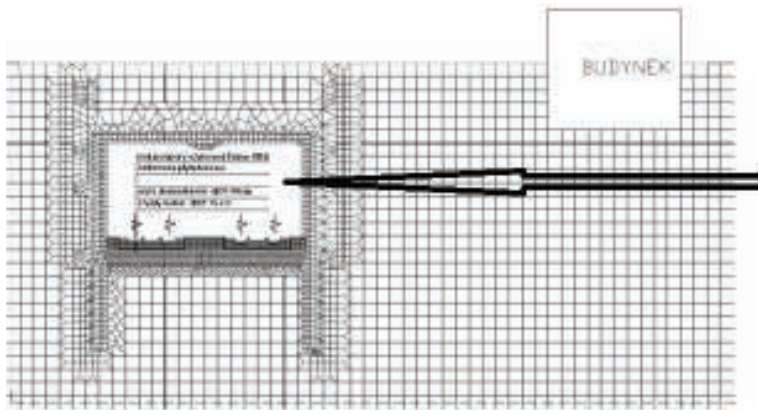
namicznych (tła dynamicznego) od komunikacji naziemnej w ulicach będących w strefach wpływu drgań metra (40 m od ścian tuneli i stacji),

- weryfikację modeli konstrukcji poszczególnych budynków – por. rys. **3**,
- analizę wpływów dynamicznych wywołanych ruchem autobusów i ciężkiego taboru kołowego na budynki i ludzi w nich przebywających,
- analizę wpływów dynamicznych wywołanych przejazdami tramwajów na budynki i ludzi w nich przebywających,
- prognozę wpływów dynamicznych od eksploatacji metra na budynki i ludzi w nich przebywających,
- prognozę wpływów dynamicznych pochodzących od metra, tramwajów i ruchu kołowego na budynki i ludzi w nich przebywających,
- syntezę prognozy wpływu drgań metra na konstrukcje budynków i ludzi w nich przebywających.

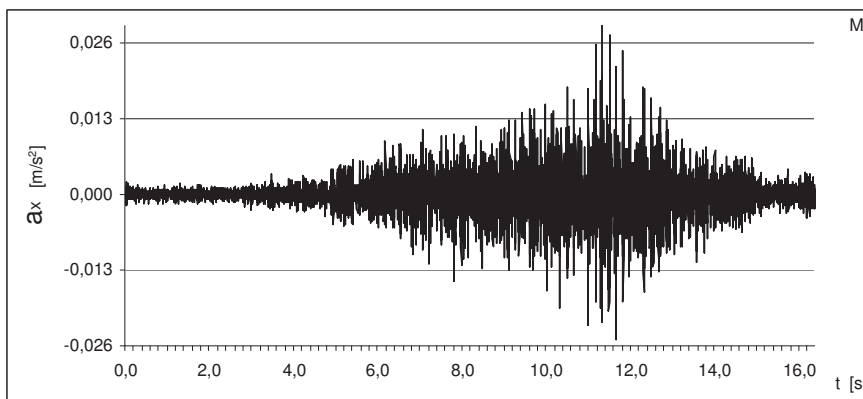
Na rozważanym obszarze oddziaływania metra zinwentaryzowano wcześniej 473 budynki.

W celu przeprowadzenia szczegółowych badań i analiz, obejmujących: pomiar tła dynamicznego, modelowanie oraz wykonanie obliczeń symulacyjnych, wybrano budynki reprezentatywne. Dokonując wyboru brano pod uwagę następujące kryteria:

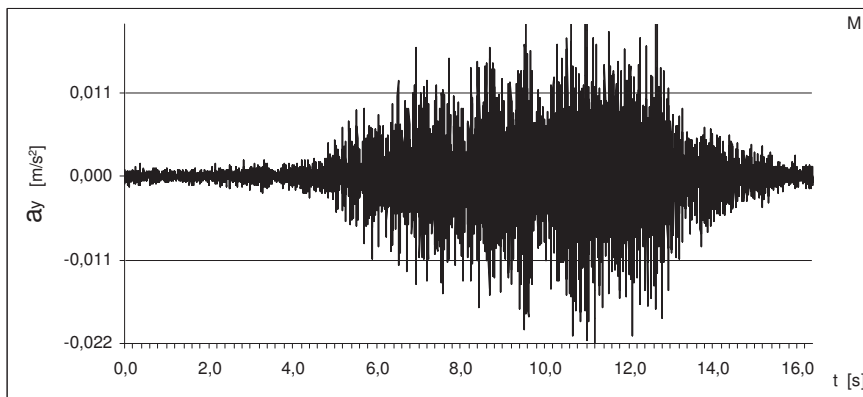
- cechy wpływające na odpowiedź dynamiczną konstrukcji, a więc typ



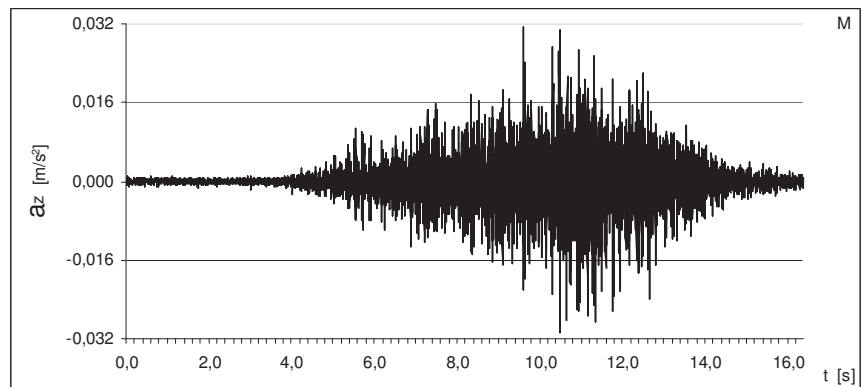
4. Przykład modelu propagacji drgań na odcinku bielańskim I linii metra w Warszawie



5. Składowa x (składowa pozioma, równoległa do osi tunelu) prognozowanych drgań fundamentu budynku generowanych przejazdami metra



6. Składowa y (składowa pozioma, prostopadła do osi tunelu) prognozowanych drgań fundamentu budynku generowanych przejazdami metra



7. Składowa z (składowa pionowa) prognozowanych drgań fundamentu budynku generowanych przejazdami metra

konstrukcji i materiały z jakich jest wykonana, wymiary – w tym liczba kondygnacji, stan zachowania konstrukcji itp.

- zakwalifikowanie budynku do obiektów zabytkowych,
- przeznaczenie pomieszczeń (z uwagi na ocenę wpływu drgań na ludzi),
- odległość budynku od tunelu metra, torów tramwajowych i od jezdni,
- możliwość dostępu do budynków i poszczególnych pomieszczeń (zgoda właścicieli).

Pod względem cech dynamicznych wyróżniono następujące typy budynków:

- niskie i średnio-wysokie (do 5 kondygnacji nadziemnych) budynki o tradycyjnej konstrukcji murowej,
- średnio-wysokie i wysokie (do 16 kondygnacji nadziemnych) budynki mieszkalne (ewentualnie z parterem o przeznaczeniu handlowo-usługowym) lub biurowe o konstrukcji szkieletowej, płytowo-słupowej lub monolitycznej,
- nietypowe obiekty niskie i średnio-wysokie (obiekty sakralne, budynki przemysłowe, itp.),
- wysokościowce.

Biorąc pod uwagę powyższe kryteria wytypowano do pomiarów i analiz dynamicznych 77 budynków reprezentatywnych dla obiektów zlokalizowanych w rozważanym obszarze.

Podstawą obliczeń symulacyjnych jest ustalenie prognozowanego wymuszenia kinematycznego w postaci przebiegów drgań fundamentów rozważanego budynku. W tym celu sporządza

się model propagacji drgań od źródła drgań do fundamentu budynku (rys. 4) i określa się prognozowane wibrogramy drgań fundamentu (rys. 5 – 7).

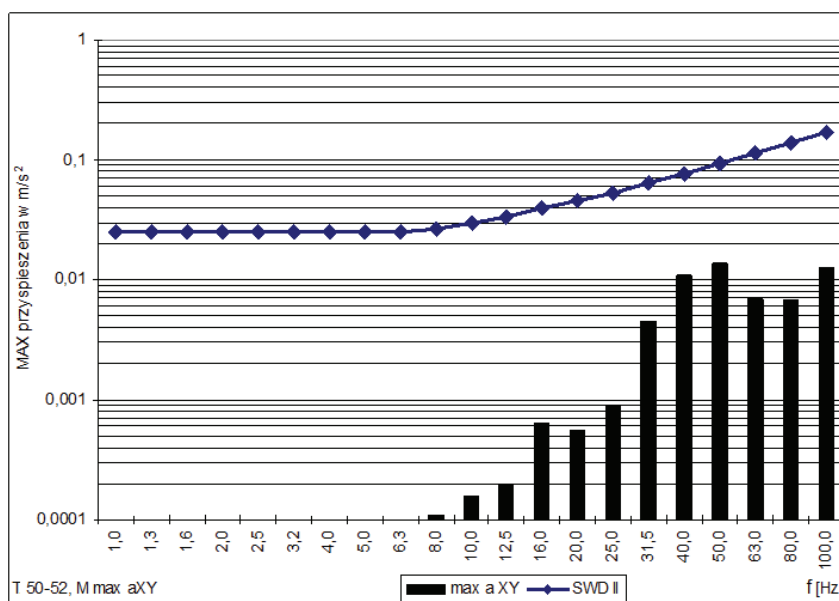
Otrzymane dla każdego budynku prognozowane wibrogramy drgań jego fundamentów posłużyły do przeprowadzenia obliczeń dynamicznych budynku i opracowania prognoz wpływu drgań na konstrukcję budynku (rys. 8) i na ludzi w budynku (rys. 9).

Procedura projektowania wibroizolacji

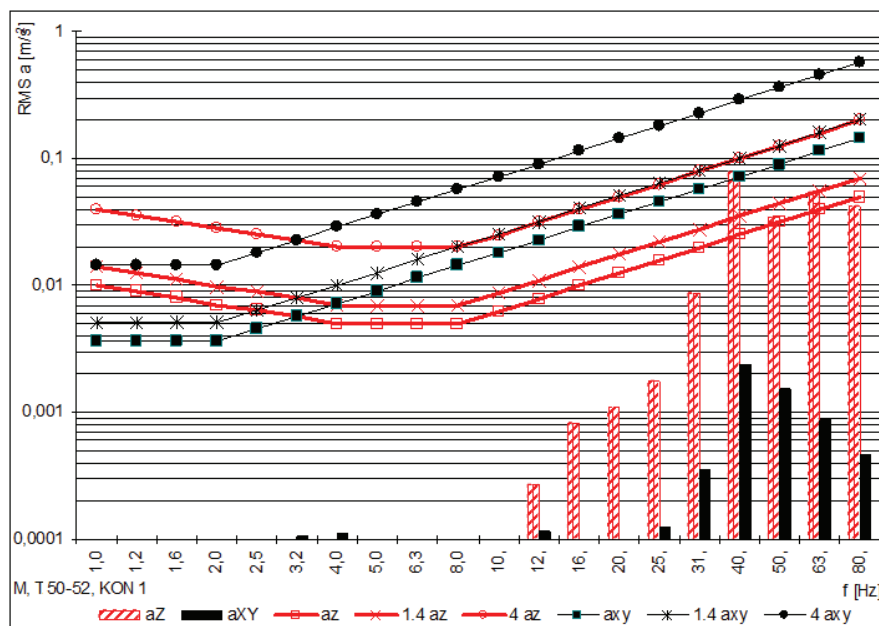
Kolejnym etapem jest zaprojektowanie wibroizolacji, tu w postaci doboru mat wibroizolacyjnych o odpowiednich parametrach. W tym celu w modelu propagacji drgań wstawia się do konstrukcji nawierzchni szynowej analizowaną wibroizolację (rys. 10) i ustala nowe wymuszenie kinematyczne w odniesieniu do poszczególnych budynków reprezentatywnych. Stosując to wymuszenie wykonuje się obliczenia dynamiczne sprawdzając wpływ drgań na ludzi na poszczególnych kondygnacjach. Jeżeli w wyniku tych obliczeń nie uzyskano spełnienia wymaganych kryteriów trzeba powtórzyć obliczenia zmieniając parametry wibroizolacji.

Podsumowanie

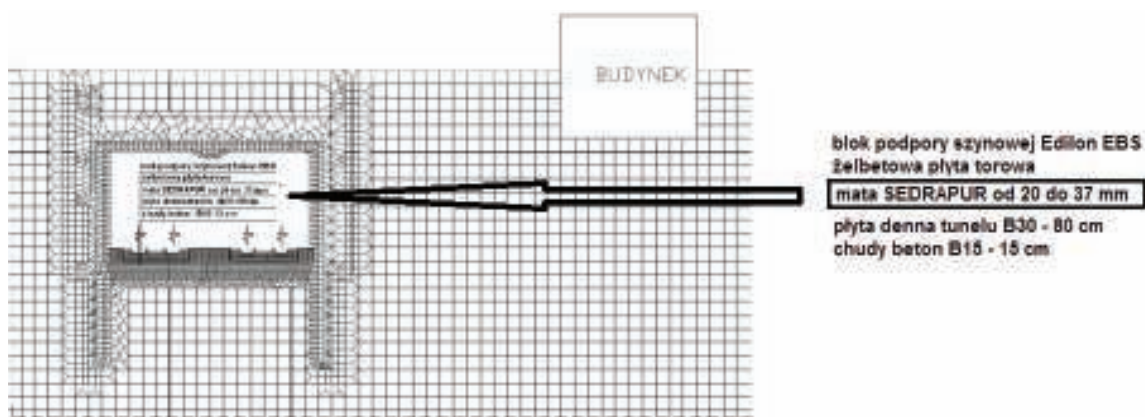
Na przykładzie inwestycji metra w Warszawie przedstawiono zakres i metodologię uwzględnienia wpływu drgań na sąsiednie budynki i ludzi przebywających w budynkach. Autorzy niniejszego opracowania podobne analizy wykonali jeszcze dla dwu kolejnych odcinków



8. Prognozowany wpływ drgań generowanych przejazdami metra na konstrukcję budynku – ocena za pomocą skali SWD-II



9. Prognozowany wpływ na ludzi drgań posadzki na pierwszej kondygnacji budynku podczas przejazdów metra



10. Model propagacji do projektowania mat wibroizolacyjnych na bielańskim dcinku I linii metra w Warszawie

II linii metra tj. odcinka zachodniego i odcinka wschodniego-północnego. Ponadto dla centralnego odcinka II linii metra w Warszawie wykonano w Instytucie Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej jeszcze:

- Projekt monitoringu drgań w fazie eksploatacyjnej.
- Projekt porealizacyjnych pomiarów drgań wywołanych ruchem pociągów metra,
- System monitoringu drgań wywołanych ruchem pociągów metra w fazie eksploatacyjnej. System wykonano w konsorcjum Politechniki Krakowskiej z firmą Neo Strain Sp. z o.o.
- Porealizacyjne pomiary drgań wywołanych ruchem pociągów metra.

Autorzy wykonali także projekty wibro-

izolacji w kolejowym tunelu średnicowym w Warszawie, na dworcach Katowice Osobowa i Kraków Główny oraz w podziemnym dworcu kolejowym Łódź Fabryczna a także projekty wibroizolacji kilku linii tramwajowych w Warszawie (m. in. na Moście Śląsko-Dąbrowskim) i w Krakowie. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Kawecki J., Stypuła K.: Zapewnienie komfortu wibracyjnego ludziom w budynkach narażonych na oddziaływanie komunikacyjne. Wydawnictwo PK, Kraków 2013

- [2] Kozioł K., Stypuła K., Obliczenia symulacyjne w projektowaniu wibroizolacji nawierzchni szynowych. Wybrane przykłady zastosowań, DROGI Lądowe – Powietrzne – Wodne, Nr 10/2010 (29), str. 95 – 109
- [3] Stypuła K.: Drgania generowane w podłożu przez transport szynowy i ich wpływ na budynki i ludzi w budynkach. Mat. XXIV Ogólnopolskiej Konferencji Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji „Naprawy i wzmocnienia konstrukcji budowlanych”, Wisła 2009, t. II, str. 395-420
- [4] Stypuła K.: Nowoczesne wibroizolacje. Builder, Nr 10, październik 2009, s. 66-70.
- [5] PN-B-02170: 1985. Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.
- [6] PN-B-02171: 1988. Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.

REKLAMA



CZAS NA INNOWACYJNE BUDOWNICTWO

Oferujemy profesjonalne usługi z zakresu:

- budowy infrastruktury komunikacyjnej, sieci instalacyjnych i obiektów hydrotechnicznych,
- wykonywania pomiarów geodezyjnych, tworzenia map do celów projektowych, wytyczenia budynku i sieci.



W BUDOWNICTWIE WYBIERZ FIRME,
KTÓREJ MOŻESZ ZAUFAC

Zobacz, co już wybudowaliśmy
i dla kogo pracowaliśmy:
www.gm-roads.pl

Biuro:

ul. Krzemieniecka 47,
54-613 Wrocław

Budownictwo inżynieryjne:

tel.: (71) 300 12 40
e-mail: info@gm-roads.pl

Geodezja:

tel.: 697 660 932
e-mail: m.wozniak@gm-roads.com

Siedziba firmy:

ul. Wrocławska 41, Łażany
58-130 Żarów