

Optimalization of the protection against railway vibrations on the example of railway control building in Biała Rawska

Optimization of the protection against railway vibrations on the example of railway control building in Biała Rawska



Filip Pachla

Dr inż.

Politechnika Krakowska Instytut
Mechaniki Budowli

fpachla@pk.edu.pl



**Bartosz
Radecki-Pawlik**

Mgr inż.

Politechnika Krakowska Instytut
Mechaniki Budowli

bartosz.radecki.pawlik@gmail.com



Krzysztof Stypuła

Prof. dr hab. inż.

Politechnika Krakowska Instytut
Mechaniki Budowli

kstypula@pk.edu.pl



Tadeusz Tatara

Prof. dr hab. inż.

Politechnika Krakowska Instytut
Mechaniki Budowli

ttatara@pk.edu.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono proces projektowania wibroizolacji budynku narażonego na wpływ drgań kolejowych. Proces ten przedstawiono na przykładzie budynku nastawni kolejowej w Białej Rawskiej, zrealizowanego w ramach inwestycji, której generalnym wykonawcą była firma PORR Polska Construction S.A. Przeprowadzono pomiary drgań kolejowych w miejscu posadowienia projektowanego budynku, wykonano model obliczeniowy budynku a następnie dobrano parametry wibroizolacji budynku (mat wibroizolacyjnych) na podstawie obliczeń symulacyjnych na tym modelu. Celem opisanych prac projektowych było ograniczenie wpływu drgań na urządzenia w pomieszczeniu komputerowym (serwerowni) znajdującym się w tym budynku oraz na ludzi pracujących w budynku. Pierwotny projekt wibroizolacji torowisk zastąpiono projektem wibroizolacji budynku. Pozwoliło to na optymalizację czasu wykonania prac (ograniczenie przerw w ruchu kolejowym) oraz kosztów wibroizolacji.

Słowa kluczowe: Drgania kolejowe; Projektowanie wibroizolacji; Wibroizolacja budynku

Abstract: The work presents the process of vibration isolation design for a building subject to the influence of railway vibrations. This process is illustrated on the example of the railway control building in Biała Rawska, realized within the framework of the investment, the general contractor of which was PORR Polska Construction S.A. Measurements of railway vibrations at the site of the planned building were made, the building calculation model was performed and then the building vibration parameters (vibration isolation) were calculated based on the simulation calculations on this model. The purpose of the described design work was to limit the impact of vibration on the equipment in the computer room (server room) located in this building and the people working in the building. The original design of the rail track vibration insulation was replaced by a building vibration project. This allowed optimization of work time (reduction of railway traffic interruptions) and the cost of vibration isolation.

Keywords: Railway vibrations; Design of vibroizolation; Vibroizolation of building

Jednym z ważnych aspektów przeprowadzania modernizacji infrastruktury kolejowej jest konieczność spełnienia wymogów w zakresie ograniczenia szkodliwego wpływu inwestycji na środowisko. Spośród niekorzystnych oddziaływań wyróżnić należy obok hałasu także wpływ drgań kolejowych na budynki oraz urządzenia, jak i ludzi w nich przebywających.

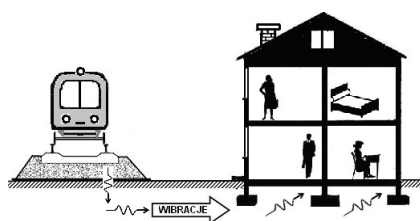
Drgania kolejowe są zjawiskiem pa-

rasejsmicznym, czyli dotyczą sytuacji przenoszenia się drgań ze źródła (szyny toru kolejowego) - poprzez grunt na budynek (rys 1).

W odniesieniu do drgań generowanych przez tabor kolejowy wymienić można różne czynniki wpływające na poziom drgań generowanych podczas przejazdów t.j.: rodzaj i typ mechaniczny oraz stan zachowania pojazdu wywołującego drgania (przede

wszystkim stan zużycia kół), rodzaj i stan nawierzchni szynowej, sposób poruszania się pojazdu (tzw. stany jazdy), rodzaj i stan podłoża, przez które propagują się drgania, odległość i usytuowanie obiektu odbierającego drgania w stosunku do źródła drgań, rodzaj i stan obiektu odbierającego drgania oraz rodzaj zastosowanych zabezpieczeń przeciw drganiom.

Projektując oraz budując linie trans-



1. Schemat przenoszenia się drgań z toru kolejowego na budynek i ludzi w nim przebywających

portu szynowego a następnie je eksploatując, należy w tym zakresie spełnić wymagania odpowiednich ustaw, rozporządzeń i norm [5, 6, 7, 8, 9, 10]. Warto zaznaczyć, iż do podjęcia działań ochrony przed drganiami zobowiązana jest każda ze stron procesu inwestycyjnego. Proces projektowania przedstawiono poniżej na przykładzie budynku nastawni w Białej Rawskiej, zrealizowanego w ramach inwestycji, której generalnym wykonawcą była firma PORR Polska Construction S.A. Jest to zarazem przykład świadomego podejścia tego wykonawcy do wspomnianego wyżej problemu.

Geneza zagadnienia

W ramach modernizacji Centralnej Magistrali Kolejowej nr 4 w miejscowości Biała Rawska, podjęta została decyzja o budowie nowej nastawni dysponującej wraz z urządzeniami sterującymi

planowanym ruchem kolejowym, czterech rozjazdów R-1200 z podtorzem oraz z dostosowaniem sieci trakcyjnej do nowych prędkości.

W celu ograniczenia wpływu drgań na środowisko w omawianym projekcie budowlanym, przewidziano zastosowanie w konstrukcji nawierzchni szynowej podtłuczniowych mat wibroizolacyjnych na znacznym odcinku ze względu na konieczność ograniczenia wpływu drgań na urządzenia komputerowe (serwery) w projektowanym budynku nowej nastawni.

Wśród głównych wymagań realizacyjnych sformułowanych przez inwestora na etapie przetargu znalazło się istotne ograniczenie w postaci maksymalnego wstrzymania ruchu kolejowego na czas pięciu dni.

W pracy przedstawiona została analiza możliwości zabezpieczenia budynku nastawni przed drganiami przez zastosowanie maty wibroizolacyjnej w konstrukcji budynku. Takie rozwiązanie pozwoliło w istotny sposób skrócić czas wyłączenia torów z eksploatacji w okresie wykonywania robót torowych, przy równorzędnym zabezpieczeniu budynku przyszłej nastawni przed drganiami.

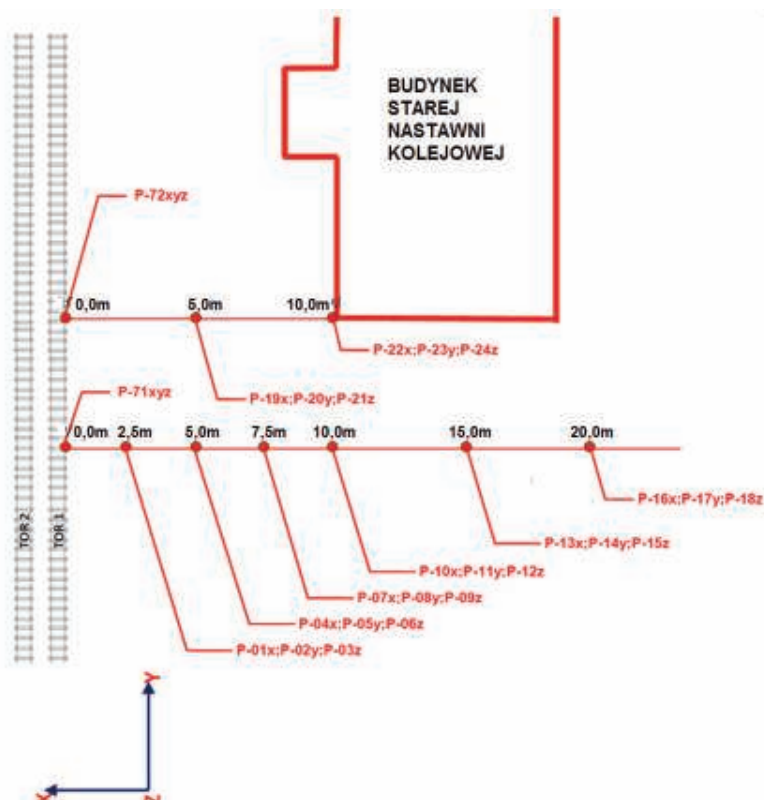
Badania in situ

Badania obejmowały pomiary przyspieszeń i częstotliwości drgań w wybranych punktach pomiarowych usytuowanych na gruncie na drodze propagacji drgań do istniejącego budynku starej nastawni oraz na jego fundamencie, jak i na powierzchni gruntu w planowanym miejscu posadowienia nowej nastawni (rys. 2).

Pomiary prowadzono pod kątem określenia prognozowanego wymuszenia kinematycznego projektowanego budynku. Każdorazowo mierzono drgania w trzech kierunkach: dwóch poziomych wzajemnie względem siebie prostopadłych x i y , oraz pionowym z . Kierunki x i y były zgodne z osiami rzutu poziomego planowanego budynku, przy czym kierunek x był zgodny z kierunkiem propagacji drgań, tj. był prostopadły do osi linii kolejowej (drgania w kierunku x noszą nazwę drgań poziomych radialnych). Kierunek y (drgania poziome transwersalne) był równoległy do osi linii kolejowej. Za pomocą akcelerometrów rejestrowano przebiegi czasowe drgań wywołanych przejazdami poszczególnych pociągów. Przebiegi te były następnie poddawane analizom w celu oceny wpływu drgań na projektowany budynek, na ludzi w nim przebywających oraz na pracę maszyn i aparatury elektrotechnicznej umieszczonej w budynku, zgodnie z polskimi normami PN-85/B-02170 [5] oraz PN-88/B-02171 [6].

W badaniach użyto następującej specjalistycznej aparatury do pomiaru przyspieszeń oraz częstotliwości drgań gruntu: akcelerometry PCB typu 393B12, system cyfrowej rejestracji danych ESAM Traveller Plus, układ kondycjonowania sygnału PA16000 EC Electronics, analizator (system rejestrująco-analizujący) LMS SCADAS Mobile, oprogramowanie do analizy danych pomiarowych (Matlab 7.3). Wymieniona aparatura przystosowana jest do pomiarów drgań o niskiej częstotliwości, jakie występują w przypadku drgań komunikacyjnych. Błąd pomiaru $\pm 11,6\%$.

Pomiary drgań wykonało akredytowane Laboratorium Badania Odkształceń i Drgań Budowli Instytutu Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej.



2. Usytuowanie czujników pomiarowych

Pomiary te obejmowały drgania przenoszące się przez podłoże generowane przejazdami pociągów różnego typu t.j. pociąg dalekobieżny starego typu, pociąg dalekobieżny nowego typu, pociąg dalekobieżny Pendolino, pociąg podmiejski piętrowy.

Analizy symulacyjne wpływu drgań na projektowany budynek

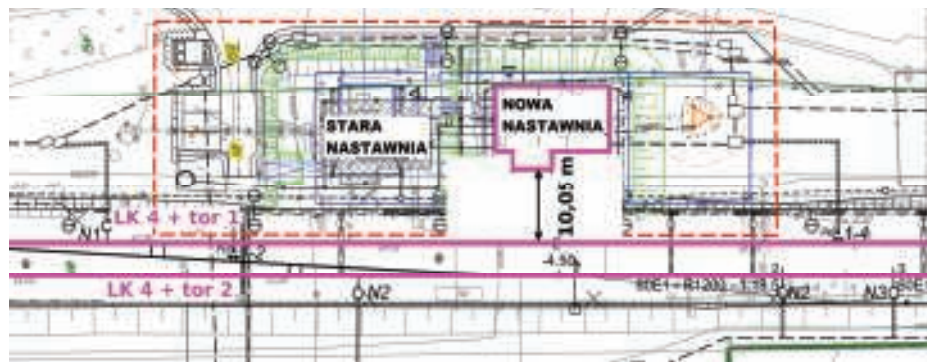
Lokalizację budynku względem źródła drgań przedstawiono na rysunku 3. W projekcie nastawni przewidziano żelbetową konstrukcję szkieletową z wypełnieniem murowym.

W obliczeniach symulacyjnych przyjęto przestrzenny model zbudowany według zasad metody elementów skończonych (MES). Wszystkie elementy składowe modelu opisano bryłowymi elementami skończonymi (czworoboczny element skończony o 3 stopniach swobody w każdym węźle), Wymiary geometryczne przyjęto zgodnie z dostarczoną dokumentacją projektową. Ściany działowe wraz z podłogą technologiczną w modelu obliczeniowym uwzględniono jako zastępczą masę rozłożoną na żelbetowej płycie posadzkowej. Pokrycie dachu oraz sufit podwieszany wraz z instalacjami przyjęto jako masę rozłożoną w poziomie rusztu górnego modelu. W zakłada się zamocowanie modelu w gruncie.

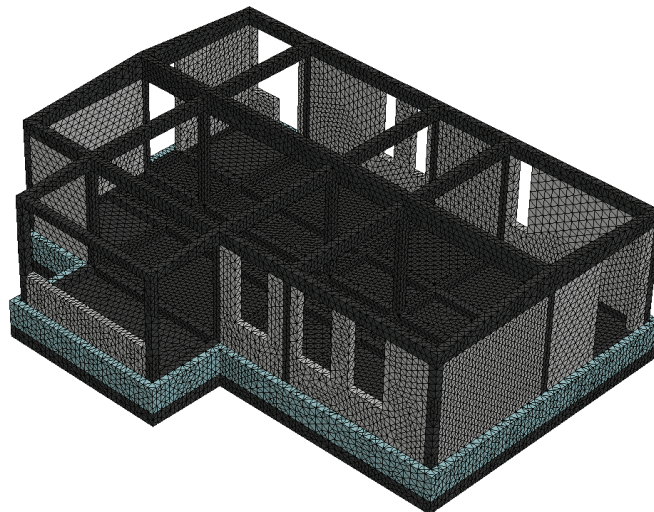
W obliczeniach uwzględniono ciężar własny wraz z obciążeniami użytkowymi (w wymiarze normowym, zredukowanym do 60% wartości charakterystycznych zgodnie z normą PN-85/B-02170 [5]) rozłożonymi równomiernie na płycie posadzkowej. W analizie operowano wartościami charakterystycznymi obciążeń i sił przekrojowych.

Obliczenia wykonano z wykorzystaniem metody historii obciążenia (THA), przyjmując krok całkowania $\Delta t=0.002s$ i uzyskując odpowiedź modelu w dziedzinie czasu.

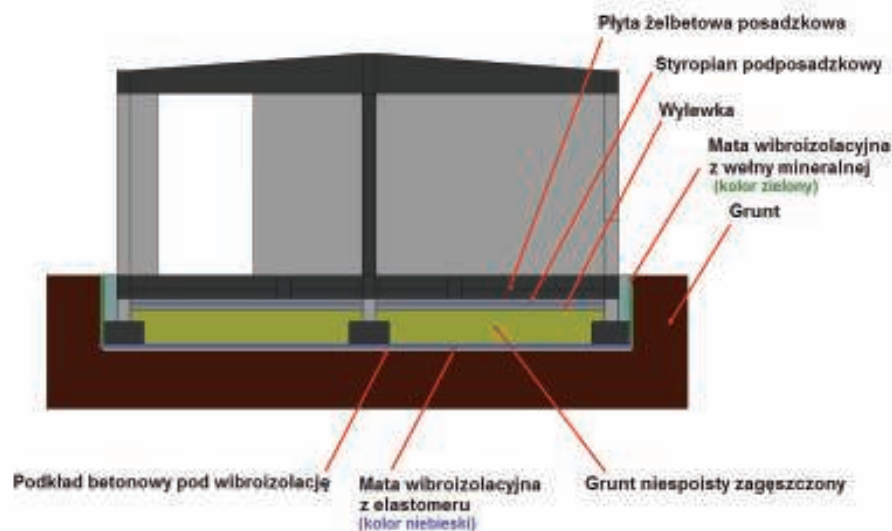
Obciążenia kinematyczne przyjęto w formie zarejestrowanych przebiegów przyspieszeń drgań przyłożonych u podstawy modelu (styku budowli z gruntem) jako wymuszenie równomierne. Obliczenia przeprowadzono wariantowo.



3. Lokalizacja projektowanego budynku względem źródła drgań

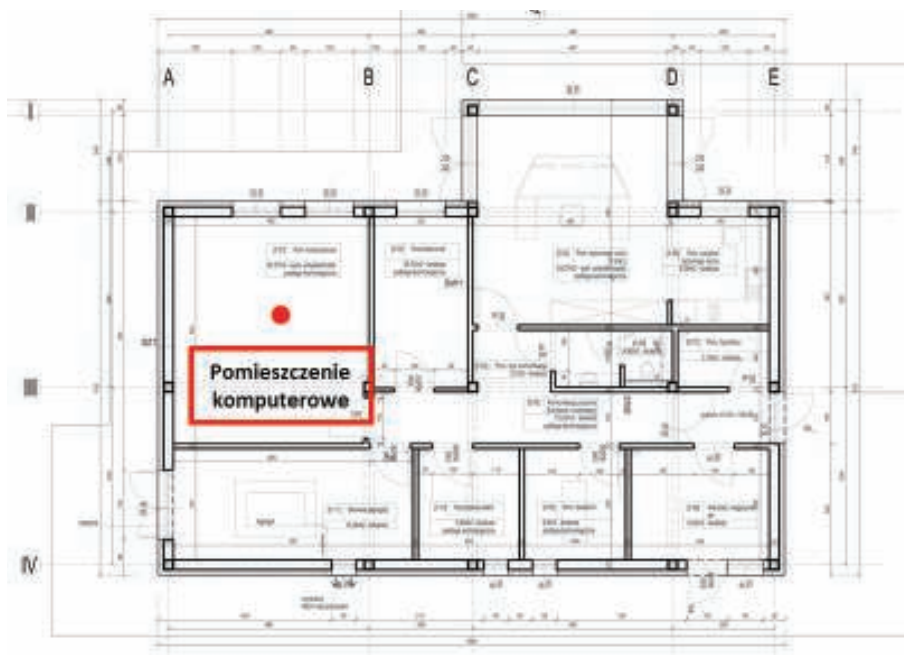


4. Dyskretyzacja modelu obliczeniowego – wariant bez wibroizolacji

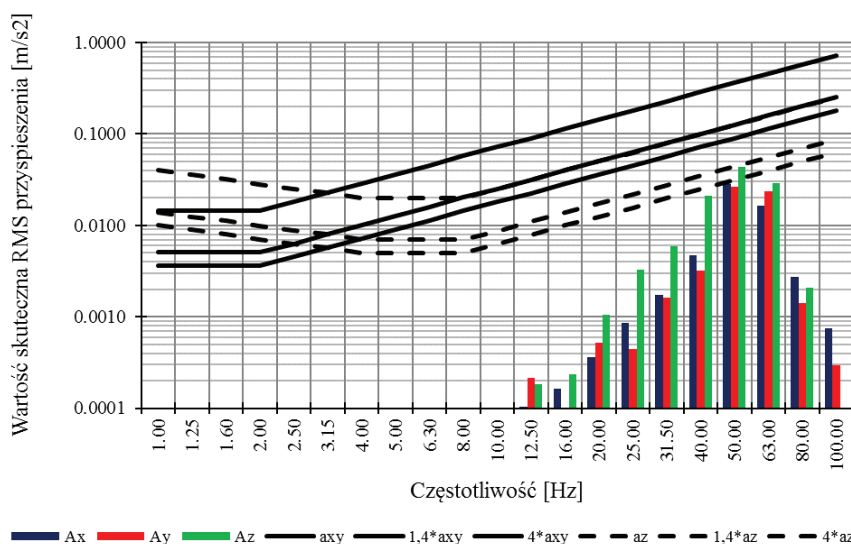


5. Wizualizacja modelu obliczeniowego budynku nastawni – wariant z wibroizolacją (przekrój poprzeczny)

- W pierwszym wariantcie wykonano obliczenia dla modelu bez wibroizolacji. Przyjęty w obliczeniach model geometryczny wraz z dyskretyzacją za pomocą elementów skończonych przedstawiono na rysunku 4.
 - W drugim wariantcie wprowadzono wibroizolację w postaci mat na całej powierzchni poziomej pod fundamentami (maty elastomerowe) oraz pionowo na elementach zagłębionych w gruncie (maty z wełny mineralnej) – por. rys. 5.
- W obliczeniach przyjęto normowe parametry materiałowe dla konstrukcji budynku oraz charakterystyki materiałów wibroizolacyjnych dostarczone przez ich producentów.



6. Lokalizacja węzła kontrolnego do symulacji wpływu drgań na ludzi i urządzenia w budynku



7. Symulacja wpływu drgań na ludzi w budynku nastawni bez wibroizolacji – (węzeł kontrolny) WODL > 1,0

Analiza wpływu drgań na ludzi i urządzenia w budynku bez wibroizolacji

Dla projektowanego budynku nastawni bez zastosowania wibroizolacji stwierdzono podczas analizy obliczeń przekroczenia wpływu drgań na ludzi. Obliczenia przeprowadzono dla węzła kontrolnego siatki elementów skończonych zlokalizowanego na posadzce żelbetowej w pomieszczeniu komputerowym (por. rysunek 6). Kolejno na rysunku 7 przedstawiono wybrane wyniki wpływu drgań na ludzi w budynku - obliczenia z wykorzystaniem modelu dynamicznego dla węzła kontrolnego.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że bez zastosowania wibroizolacji prognozowane wpływy drgań na ludzi osiągają wartości wskaźnika WODL > 1,0.

W projektowanym obiekcie przed zastosowaniem wibroizolacji stwierdzono także przekroczenia wpływu drgań na urządzenia (sprzęt komputerowy). Poniżej na rysunku 8 przedstawiono wybrane przebiegi prędkości drgań obliczone z wykorzystaniem modelu dynamicznego w pomieszczeniu komputerowym. Z przeprowadzonych analiz wynika, że bez zastosowania wibroizolacji prognozowane wpływy drgań na urządzenia przekra-

czają dopuszczalne wartości.

Wpływ drgań na urządzenia bardzo wrażliwe wg PN-85/B-02170 [5]:

Analiza drgań w kierunku „x”

$$V_{RMS}^x = 0,0001 \text{ m/s} = V_u = 0,0001 \text{ m/s}$$

warunek spełniony

Analiza drgań w kierunku „y”

$$V_{RMS}^y = 0,0001 \text{ m/s} = V_u = 0,0001 \text{ m/s}$$

warunek spełniony

Analiza drgań w kierunku „z”

$$V_{RMS}^z = 0,0002 \text{ m/s} > V_u = 0,0001 \text{ m/s}$$

warunek niespełniony

Analiza możliwości zastosowania wibroizolacji w budynku

Z uwagi na przekroczenie wpływu drgań na ludzi i urządzenia w budynku w niniejszym opracowaniu zaproponowano wprowadzenie wibroizolacji pod budynkiem. Jako kryterium skuteczności wibroizolacyjnej przyjęto obniżenie poziomu wpływu drgań na ludzi w budynku poniżej progu odczuwalności drgań oraz na urządzenia w budynku poniżej wartości granicznych określonych w normie PN-85/B-02170 [5].

Obliczenia wykonano dla różnych wariantów rozwiązań, przyjmując różne maty wibroizolacyjne, zmieniając ich grubości, jak i sztywności oraz właściwości tłumiące aż do uzyskania założonej skuteczności. Obliczenia przeprowadzono na przyjętym modelu MES, określając potrzebne parametry materiałów wibroizolacyjnych. Na podstawie tych ustaleń wykonawca odbył rozmowy handlowe w wyniku, których przyjęto rozwiązanie w postaci elastomerowej maty wibroizolacyjnej Sylomer SR 28 grubości 25 mm firmy Getzner pod budynkiem oraz maty wibroizolacyjnej z wełny mineralnej o grubości 50 mm firmy Rock Delta na ścianach bocznych. Poniżej na rysunku 9 przedstawiono wyniki oceny wpływu drgań na ludzi po zastosowaniu tego rozwiązania. Wyniki dotyczą analizy symulacyjnej w węźle kontrolnym modelu obliczeniowego.

W efekcie końcowym procesu doboru odpowiedniej wibroizolacji wskaźnik WODL zredukowano poniżej progu odczuwalności drgań (WODL < 1,0).

Na rysunku 10 znajdują się wybrane

przebiegi prędkości drgań obliczone z wykorzystaniem modelu dynamicznego dla pomieszczenia komputerowego, oraz zweryfikowany wynik wpływu drgań na urządzenia.

Obliczenia przeprowadzono przyjmując warunki graniczne jak dla urządzeń bardzo wrażliwych. Zastosowanie wibroizolacji spowodowało obniżenie wpływu drgań na urządzenia poniżej wartości granicznych.

Wpływ drgań na urządzenia bardzo wrażliwe wg PN-85/B-02170 [5]:

Analiza drgań w kierunku „x”

$$V_{RMS}^x = 0,0001 \text{ m/s} = V_u = 0,0001 \text{ m/s}$$

warunek spełniony

Analiza drgań w kierunku „y”

$$V_{RMS}^y = 0,0001 \text{ m/s} = V_u = 0,0001 \text{ m/s}$$

warunek spełniony

Analiza drgań w kierunku „z”

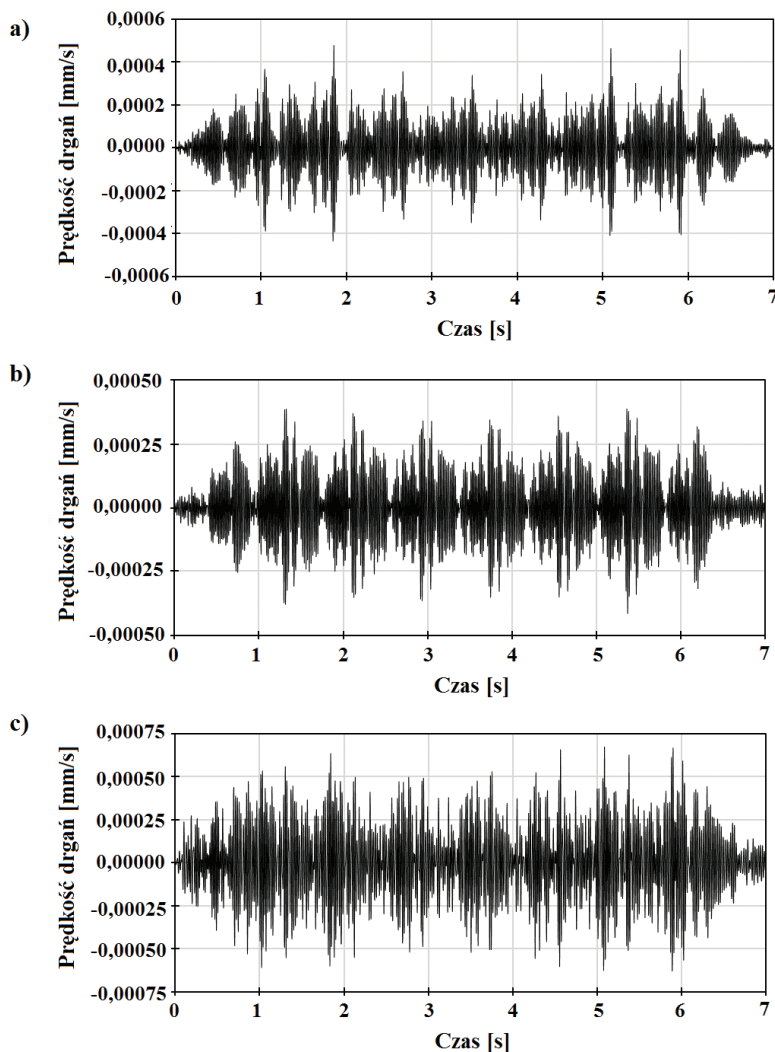
$$V_{RMS}^z = 0,0001 \text{ m/s} = V_u = 0,0001 \text{ m/s}$$

warunek spełniony

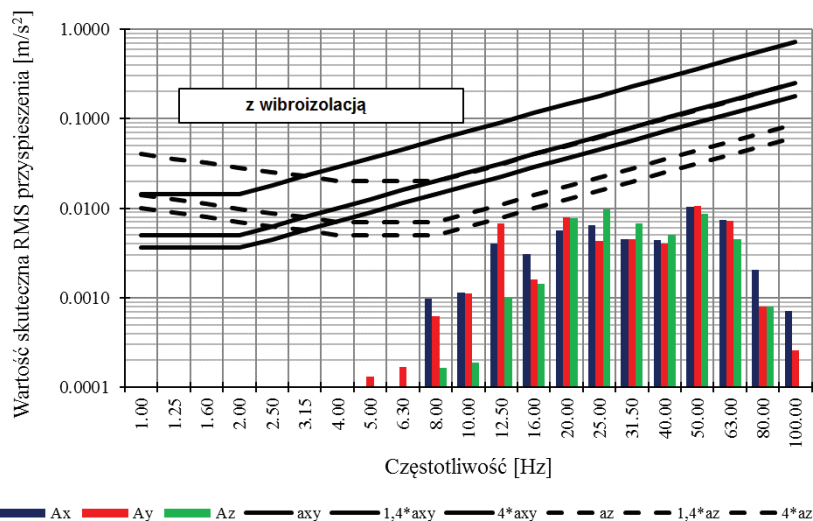
Analiza wpływu drgań na konstrukcję budynku

Dla przyjętych wymuszeń kinematycznych wykonano obliczenia na przyjętym modelu budynku z wibroizolacją w celu określenia wpływu drgań na konstrukcję. Na tej podstawie uzyskano maksymalne wartości naprężeń zastępczych wg HMM (tj. wg hipotezy wyężeniowej Hubera-Misesa-Hencky'ego) we wszystkich elementach konstrukcyjnych i porównano je do wytrzymałości tych elementów. Jako kryterium oceny wpływu na konstrukcję budynku przyjęto, że jeżeli ekstremalny udział naprężeń zastępczych wywołanych wymuszeniem kinematycznym jest mniejszy niż 5% wytrzymałości materiału, to taki wpływ na konstrukcję budynku uważa się za pomijalny.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że w modelu z wprowadzoną wibroizolacją w żadnym z analizowanych wymuszeń kinematycznych maksymalna wartość naprężeń HMM nie przekroczyła 5%. W najgorszym przypadku wartość tych naprężeń w elementach konstrukcyjnych wynosi 3,4% wartości wytrzymałości materiału. Na podstawie obliczeń symulacyjnych wpływu drgań na budynek stwierdza się, że w odnie-



8. Prędkość drgań na posadzce w pomieszczeniu komputerowym – (a) kierunek x, (b) kierunek y, (c) kierunek z

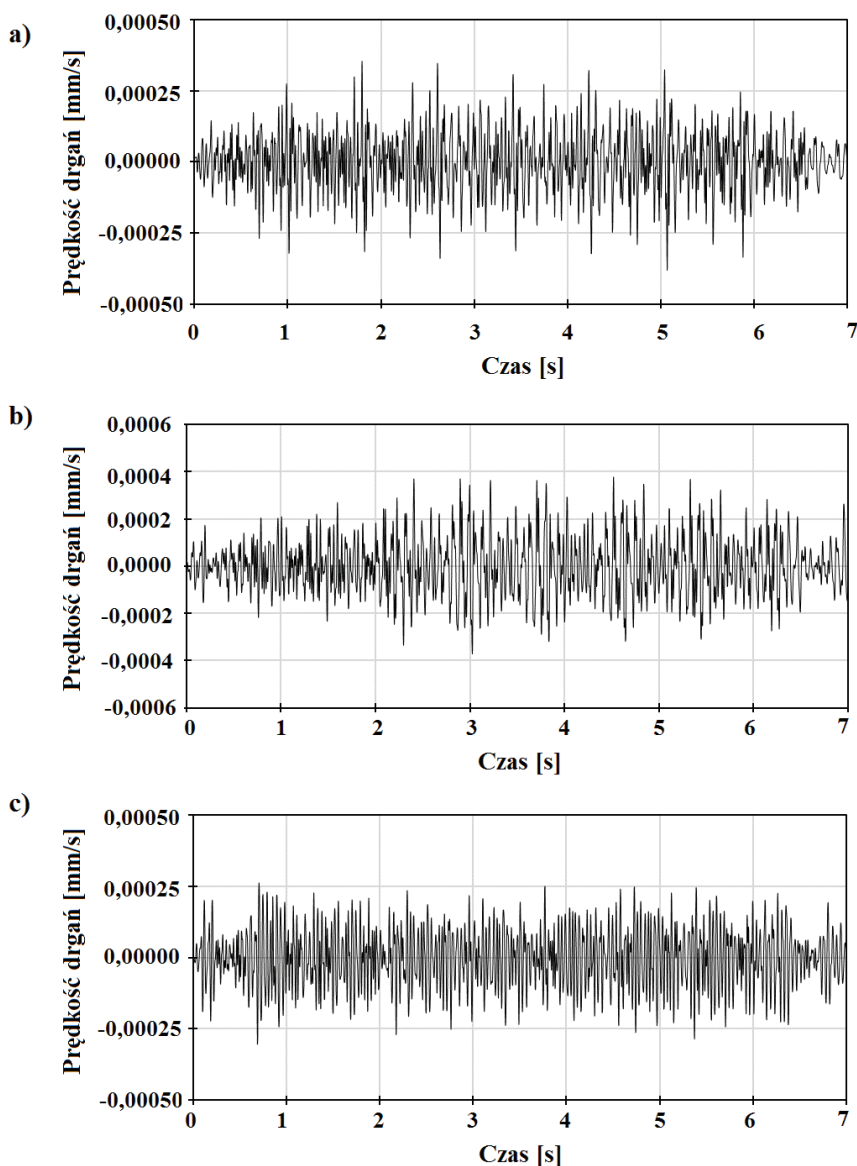


9. Symulacja wpływu drgań na ludzi w budynku nastawni z matą wibroizolacyjną – (węzeł kontrolny)

sieniu do wszystkich rozpatrywanych przypadków działań dynamicznych prognozowane drgania są nieodczuwalne przez konstrukcję budynku (nieuszkodliwe). Przedstawiono trzy zdjęcia (11, 12, 13) z realizacji nastawni dotyczącej wykonania wibroizolacji.

Wnioski

Analizy zaprezentowane w powyższej pracy dotyczyły zastępczego rozwiązania zabezpieczenia budynku nastawni przed negatywnym wpływem drgań generowanych eksploatacją linii



10. Prędkość drgań na posadzce w pomieszczeniu komputerowym po zastosowaniu wibroizolacji – (a) kierunek x, (b) kierunek y, (c) kierunek z



11. Betonowanie podkładu pod maty wibroizolacyjne (zdjęcie udostępnione przez PORR Polska Construction S.A.)

kolejowej. Świadomość generalnego wykonawcy tj. firmy PORR Polska

Construction S.A. oraz doświadczenie w realizacji podobnych inwestycji

były podstawą do zlecenia badań terenowych, ich analizy oraz wykonania optymalizacji projektu wibroizolacji. Pozwoliły one w istotny sposób skrócić czas wyłączenia torów z eksploatacji w okresie wykonywanych robót, przy równorzędnym, a nawet lepszym od pierwotnego projektu, zabezpieczeniu budynku nowej nastawni przed drganiami. Nie do pominięcia pozostaje również aspekt ekonomiczny nowej koncepcji wibroizolacji uzyskano bowiem obniżenie kosztów wynikające zarówno ze zmniejszenia ilości niezbędnych materiałów wibroizolacyjnych jak i ze wspomnianego skrócenia czasu wykonywania prac torowych. Szeroka gama profesjonalnych rozwiązań wibroizolacyjnych istniejących na rynku pozwoliła dobrać optymalne rozwiązanie do konkretnej sytuacji. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Kawecki J., Stypuła K. Zapewnienie komfortu wibracyjnego ludziom w budynkach narażonych na oddziaływanie komunikacyjne. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 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 Konf. Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Wisła 2009, t. II, str. 395-420
- [4] Stypuła K. Nowoczesne wibroizolacje. Builder, Nr 10, październik 2009, s. 66-70.
- [5] PN-85/B-02170. Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.
- [6] PN-88/B-02171. Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.
- [7] Ustawa „Prawo ochrony środowiska” z dnia 27 kwietnia 2001 (Dz. U. z 2001, Nr 62, poz. 627).



12. Elastomerowe maty wibroizolacyjne ułożone pod budynkiem (zdjęcie udostępnione przez PORR Polska Construction S.A)



13. Maty wibroizolacyjne z wełny mineralnej (firmy Rock Delta) ułożone na styku ścian bocznych z gruntem (zdjęcie udostępnione przez PORR Polska Construction S.A.)

[8] Ustawa o dostępie do informacji o środowisku i jego ochronie oraz o ocenach oddziaływania na środowisko” z dnia 9 listopada 2000 (Dz.U. z 2000 r. Nr 109, poz. 1157).

[9] Ustawa o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie” z dnia 13 kwietnia 2007 (Dz.U. z 2007 r., Nr 75, poz. 493).

[10] Ustawa „Prawo budowlane” z dnia 7 lipca 1994 r. (Dz.U. z 1994 r., Nr 89, poz. 414).

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