

dr inż. Krzysztof Robert Czech<sup>1)</sup>  
 prof. dr hab. inż. Czesław Miedziałowski<sup>1)\*</sup>  
 dr hab. inż. Tadeusz Chyży<sup>1)</sup>

# Wpływ poprawy stanu drogi na redukcję drgań w zabytkowym kompleksie budynków

DOI: 10.15199/33.2015.06.40

**P**otwierdzenie negatywnego wpływu drgań komunikacyjnych wymaga przeprowadzenia szczegółowych badań dynamicznych in situ z wykorzystaniem precyzyjnej, niskoczęstotliwościowej aparatury pomiarowej do rejestracji: przemieszczeń, prędkości lub przyspieszenia drgań oraz dokonania oceny wpływu drgań zgodnie z normami [1, 2] oraz szczegółowymi wytycznymi [3]. Takie prace przeprowadziliśmy w przypadku zabytkowego kompleksu budynków zlokalizowanych w Tykocinie wzdłuż drogi wojewódzkiej nr 671 o nawierzchni z nieregularnej kostki granitowej i brukowca. Oceny szkodliwości drgań drogowych przenoszonych drogą gruntową na budynki i ich mieszkańców, przeprowadzone dla dziesięciu wybranych budynków wykazały, że w przypadku większości z nich rejestrowano drgania, które zakwalifikowano do II strefy szkodliwości, a w przypadku dwóch budynków do III strefy szkodliwości. Konieczne więc było podjęcie odpowiednich działań mających na celu minimalizację negatywnych skutków drgań drogowych przenoszonych na pobliskie budynki, tym bardziej iż większość z nich zlokalizowana wzdłuż drogi wojewódzkiej nr 671, ze względu na unikalne walory historyczne i architektoniczne, była objęta ochroną konserwatora zabytków.

## Opis badań i zastosowanej aparatury pomiarowej

Do badań wytypowano 4 z 10 budynków, w przypadku których przed planowaną przebudową drogi wojewódzkiej nr 671 dokonano oceny wpływu drgań drogowych:

- budynek nr 1 – parterowy, nisko podpiwniczony, z użytkowym podda-

szem o ścianach nośnych murowanych z cegły ceramicznej, położony 7,85 m od krawędzi jezdni;

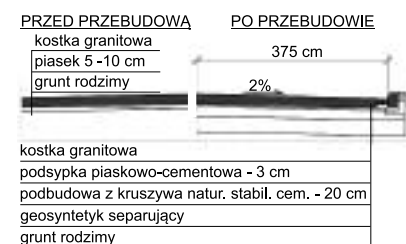
- budynek nr 2 – dwukondygnacyjny, częściowo podpiwniczony z poddaszem użytkowym, o ścianach nośnych murowanych z cegły ceramicznej pełnej, położony 3,07 m od krawędzi jezdni;

- budynek nr 3 – parterowy o ścianach nośnych murowanych z cegły ceramicznej pełnej, położony 2,78 m od krawędzi jezdni;

- budynek nr 4 – dwukondygnacyjny o ścianach nośnych murowanych z cegły (w starej części budynku) oraz z bloczków gazobetonowych (w części dobudowanej), położony 1,91 m od krawędzi jezdni.

W celu ograniczenia negatywnego oddziaływania drgań drogowych na badane budynki analizowano zmniejszenie drgań: w źródle, na drodze ich propagacji oraz w odbiornikach drgań, jakimi są budynki. Ze względu na charakter zabudowy i bardzo bliskie usytuowanie budynków względem drogi wykluczono możliwość zastosowania szczelin gruntowych lub podobnych rozwiązań bazujących na redukcji poziomu drgań na drodze ich propagacji. Stan większości budynków oraz fakt objęcia ich ochroną konserwatora zabytków znacznie ograniczył także możliwość zastosowania wibroizolacji biernej. Ze względu na bardzo wysoki jej koszt w układzie bezwładnościowo-sprężystym [4] oraz nieco mniejszy w tzw. systemie pływających płyt drogowych wykluczono również i takie rozwiązania. Konserwator zabytków nie wyraził też zgody na zmianę rodzaju nawierzchni np. na bitumiczną lub betonową. W związku z tym pozostała możliwość przebudowy konstrukcji drogi. Prace przeprowadzono w latach 2011 + 2012 i obejmowały wzmocnienie konstrukcji podbudowy oraz wyrównanie nawierzchni kostką granitową, któ-

ra wcześniej stanowiła nawierzchnię drogi (należał na to konserwator zabytków). Przekrój konstrukcji drogi przed przebudową i po remoncie pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Konstrukcja drogi przed i po remoncie

Pomiary przyspieszeń drgań prowadzono za pomocą układu pomiarowego złożonego z rejestratora drgań KSD-400 z wbudowaną 16-bitową kartą przetwornika A/D NI USB-6210 i wzmacniaczami pomiarowymi współpracującymi z niskoczęstotliwościowymi piezoelektrycznymi czujnikami przyspieszeń. Punkty pomiarowe umieszczono na fundamentach budynków na wysokości przyległego terenu od strony źródła drgań, na stropach w środku ich rozpiętości oraz przed budynkami. W każdym punkcie pomiarowym przyspieszenia drgań rejestrowano w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach: pionowym z oraz w płaszczyźnie poziomej w kierunku osi  $x$  – równoległym i  $y$  – prostopadłym do osi drogi i jednocześnie prostopadłym do osi  $z$ . Ocenę wpływu drgań na analizowane budynki prowadzono, wykorzystując dane zarejestrowane na fundamentach budynków.

Wpływ drgań przenoszonych przez podłoże na budynki można określić w sposób dokładny, np. wykorzystując MES lub w przypadku niektórych typów budynków w sposób przybliżony, używając skal wpływów dynamicznych (SWD) zgodnie z PN-85/B-02170 [2]. W przypadku analizowanych budynków oceny szkodliwości drgań doko-

<sup>1)</sup> Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

<sup>\*</sup>) Autor do korespondencji:  
 e-mail: c.miedzialowski@pb.edu.pl

nano, wykorzystując skalę SWD. W celu zaklasyfikowania drgań do jednej z pięciu stref szkodliwości (I, II, III, IV i V) należało przeprowadzić filtrację dolnoprzepustową sygnału przy górnej częstotliwości odcięcia równej 100 Hz, a następnie wykonać analizę tercjową, tzn. analizę w pasmach 1/3-oktawowych dla składowych poziomych przyspieszeń drgań zarejestrowanych na fundamentach rozpatrywanych budynków w poziomie otaczającego terenu.

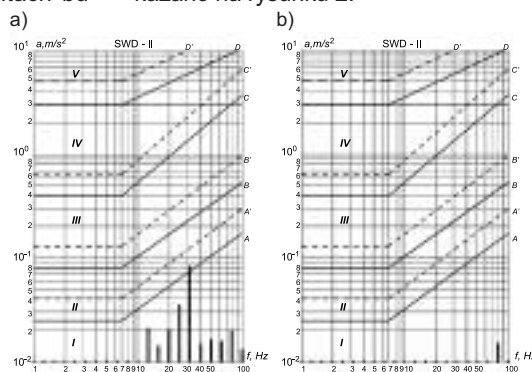
### Analiza wyników badań

Źródłem drgań były wymuszenia kinematyczne generowane przejazdami pojazdów testowych: trójosiowego samochodu ciężarowego o masie całkowitej 10 t (wraz z ładunkiem) i pięcioosiowego samochodu ciężarowego o masie całkowitej 40 t. Pojazdy testowe poruszały się w obu kierunkach drogi z prędkością dostosowaną do warunków ruchu w mieście, tj.: ok. 20, 30 i 40 km/h, analogicznie jak podczas pomiarów prowadzonych przed przebudową drogi wojewódzkiej nr 671. Porównując amplitudy przyspieszeń drgań, należy stwierdzić, że niezależnie od budynku, największe wartości rejestrowane były w trakcie przejazdu pięcioosiowego samochodu ciężarowego o masie całkowitej 40 t – przy prędkości 40 km/h pasem jezdni bliższym budynków (przejazd w prawo). Drgania rejestrowane w analizowanych budynkach przed przebudową drogi charakteryzowały się znaczną intensywnością i klasyfikowały do II strefy szkodliwości (tzn. *drgań odczuwalnych przez budynek, ale nieszkodliwych dla konstrukcji – następuje tylko przyspieszone zużycie budynku i pierwsze rysy w wyprawach, tynkach itp.* [2]) w przypadku: budynku nr 1 (przy przejazdach w obie strony samochodu ciężarowego o masie całkowitej 40 t oraz jednokrotnie w trakcie przejazdu samochodu ciężarowego o masie całkowitej 10 t pasem jezdni bliższym budynku) oraz budynku nr 4 (przy przejeździe samochodu ciężarowego o masie całkowitej 40 t pasem jezdni bliższym budynku w kierunku x). W przypadku budynków nr 2 i 3 (podlegających ocenie wg skali SWD-II) drgania pozostawały w I strefie szkodliwości. Po przebudowie drogi, poprawa stanu technicznego przyczyniła się do: od ponad dwukrotnego

(2,4 x – budynek nr 4) do prawie sześciokrotnego (5,9 x – budynek nr 3) obniżenia amplitud przyspieszeń drgań rejestrowanych na fundamentach budynków w kierunku pionowym z oraz od blisko trzykrotnego (2,9 x – budynek nr 3, kierunek x) do ponad sześciokrotnego (6,5 x – budynek nr 2, kierunek x) obniżenia wartości amplitud przyspieszeń drgań rejestrowanych w płaszczyźnie poziomej. Składowe pionowe przyspieszenia drgań zarejestrowanych na fundamentach są bardzo małe, gdyż stanowią nie więcej niż 0,5% całkowitego obciążenia budynku w kierunku pionowym (maksymalna zarejestrowana w budynku nr 4 amplituda przyspieszeń drgań po przebudowie wyniosła  $0,051 \text{ m/s}^2$  – w stosunku do  $0,275 \text{ m/s}^2$  – zarejestrowanej w budynku nr 3 przed przebudową). Składowe poziome przyspieszenia drgań zarejestrowanych na fundamentach w poziomie otaczającego terenu (w płaszczyźnie poziomej w kierunkach x i y) i wywołanych różnymi kombinacjami przejazdów pojazdów testowych przebudowaną drogą również są bardzo małe i nie przekraczają  $0,044 \text{ m/s}^2$  (budynek nr 3 – przejazd w bezpośrednim sąsiedztwie budynku pięcioosiowego samochodu ciężarowego o masie całkowitej 40 t z prędkością 36 km/h).

Szczegółowe analizy przeprowadzone dla wszystkich zarejestrowanych akcelorogramów po przebudowie drogi wykazały, że w żadnym z pasm 1/3-oktawowych w zakresie częstotliwości od 0,5 Hz do 100 Hz nie dochodzi do przekroczenia wartości  $2 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2$ , która znajduje się poniżej linii granicznej A skal wpływów dynamicznych SWD [2] (rysunek 2) – co oznacza, że zarówno w przypadku budynku nr 1 (podlegającego ocenie wg skali SWD-I) jak i budynków nr: 2, 3 i 4 (ocenianych wg skali SWD-II) zarejestrowane drgania, niezależnie od zastosowanej skali wpływów, pozostają w obrębie I strefy szkodliwości (tzn. *drgań nieodczuwalnych przez budynek* [2]). Przykłady najbardziej intensywnych rozkładów tercjowych przyspieszeń drgań z naniesionymi liniami granicznymi odgradzającymi poszczególne strefy szkodliwości drgań, wg [2],

uzyskane odpowiednio przed i po przebudowie drogi wojewódzkiej nr 671 pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Najbardziej niekorzystne rozkłady tercjowe przyspieszeń drgań zarejestrowanych w trakcie przejazdu samochodu ciężarowego o masie całkowitej 40 t w bezpośrednim sąsiedztwie budynku nr 4 przed (a) i po przeprowadzonej przebudowie drogi (b)

### Wnioski

Przebudowa drogi (rysunek 1) przyczyniła się do:

- co najmniej dwuipółkrotnej (maksymalnie prawie sześciokrotnej) redukcji  $U_g$  amplitud przyspieszeń drgań w kierunku pionowym oraz do co najmniej dwuipółkrotnej (maksymalnie do sześciokrotnej) redukcji drgań w przypadku przyspieszeń drgań rejestrowanych w płaszczyźnie poziomej;

- uzyskania pożądanej redukcji poziomu drgań do stanu poniżej progu odczuwalności drgań przez budynki (strefa I skal SWD I/III – tzn. strefa drgań nieodczuwalnych przez budynki).

Potwierdzono, że utrzymanie nawierzchni dróg w bardzo dobrym stanie technicznym jest jednym z najmniej kosztownych i jednocześnie jednym z bardziej skutecznych sposobów minimalizacji niekorzystnych oddziaływań dynamicznych generowanych i propagowanych do otoczenia z drogowych ciągów komunikacyjnych.

### Literatura

- [1] PN-88/B-02171 – Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.
- [2] PN-85/B-02170 – Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.
- [3] Instrukcja 348/98. Diagnostyka dynamiczna i zabezpieczenia istniejących budynków mieszkalnych przed szkodliwym działaniem drgań na właściwości użytkowe budynków. ITB, Warszawa 1998.
- [4] Vibration Isolation Systems. GERB Schwingungsisolierungen GmbH & Co KG. Germany 2000.

Otrzymano 30.04.2014 r.