

JANUSZ KAWECKI*, KRZYSZTOF STYPUŁA**

WPLYW DRGAŃ GENEROWANYCH PODCZAS ROBÓT DROGOWYCH NA ZABYTKOWE OBIEKTY BUDOWLANE (DIAGNOZA A POSTERIORI)

INFLUENCE OF VIBRATIONS GENERATED BY ROAD WORKS ON HISTORICAL STRUCTURES

Streszczenie

Wśród pięciu przypadków diagnostycznych, przypadek oznaczony jako E (tabela 1) należy do trudniejszych. Dotyczy on bowiem sytuacji, w których źródło drgań wystąpiło w przeszłości i nie jest możliwe jego działanie ponowne; obiekt zaś znajduje się w stanie uszkodzonym. Wykonanie zadania diagnozy wymaga wykorzystania danych zaczerpniętych z bazy wyników pomiarów. Na tej podstawie uzyskuje się spodziewane parametry drgań budowli poddanej w przeszłości działaniom dynamicznym od nieistniejącego już obecnie źródła drgań. W pracy podano wymagania ogólne oraz procedurę diagnozy a posteriori. Przedstawiono również przykład wykorzystywania tej procedury w praktyce.

Słowa kluczowe: diagnostyka dynamiczna, obiekt, źródło drgań

Abstract

Among the five diagnostics cases mentioned in table 1, the case denoted as „E” constitutes the more difficult ones. It concerns situations in which the vibration source occurred in the past and its reoccurrence is not possible; the object however, is damaged. For diagnoses use of experimental results data base is necessary. Basing on these data expected vibration parameters of the structure subjected to dynamic actions in the past from the no more existing vibration source general requirements and procedures of a posteriori diagnosis was presented. An example of application of this procedure in practice was also given.

Keywords: dynamic diagnosis, object, vibration source

* Prof., dr hab. inż. – Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska

** Dr hab. inż., prof. PK – Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska

1. Wstęp

W [1] podano ogólne zasady diagnostyki dynamicznej szerzej rozwijając postanowienia zawarte w normach [2, 3]. W zależności od stanu źródła drgań i obiektu odbierającego drgania generowane przez to źródło można wyróżnić kilka przypadków diagnostycznych i projektowych. Zestawiono je za [4] w tabeli 1.

T a b e l a 1

Przypadki diagnostyczne i projektowe

Oznaczenie przypadku	Stan		Określenie przypadku
	Źródło drgań	Obiekt odbierający drgania	
A	eksploatowane	zrealizowany	diagnoza
B	projektowane	zrealizowany	diagnoza z prognozą
C	eksploatowane	projektowany	projektowanie
D	projektowane	projektowany	projektowanie z prognozą
E	wystąpiło uprzednio (nie jest możliwe działanie ponowne)	zrealizowany (obecnie w stanie uszkodzenia)	diagnoza z prognozą (a posteriori)

Niniejsza praca dotyczy zadań opisanych przypadkiem E. Najczęściej są one przedmiotem opracowań diagnostycznych wykonywanych na potrzeby sądu albo postępowania arbitrażowego (por. np. [5]).

2. Podstawy prawne diagnostyki

Obowiązek ochrony przed drganiami wynika z dokumentów prawnych dotyczących obszaru budownictwa (por. zestawienia w [1, 6]).

Trzeba tu podkreślić przede wszystkim ustawę [7] z 1980 roku, na podstawie, której wydawane były rozporządzenia zawierające uściślenia odnośnie dopuszczalnych parametrów drgań oraz podejmowane działania organów administracji państwowej i samorządowej związane z ochroną ludzi i środowiska przed drganiami (por. np. [2, 3]). W 2001 r. przyjęta została ustawa „Prawo ochrony środowiska” [8]. Jej postanowienia uwzględniono w nowych rozporządzeniach (np. [9]). Szerzej treść dotyczącą ochrony przed drganiami skomentowano już wcześniej w [10]. Należy tu jeszcze przywołać odpowiednie dokumenty powstałe w Unii Europejskiej [11, 12].

Z dokumentów kształtujących układ prawny w zakresie wpływu drgań na środowisko wynika, że:

- użytkownik urządzeń wywołujących drgania ma obowiązek ograniczenia emisji wibracji stosując w tym celu środki, które mają zapewnić właściwe warunki eksploatacji obiektów znajdujących się w pobliżu oraz wymagane warunki komfortu w miejscach przebywania ludzi;
- inwestorzy nowych obiektów wznoszonych w zasięgu oddziaływań istniejących źródeł drgań są zobowiązani do stosowania środków technicznych eliminujących te oddziaływania, jeśli sklasyfikowano je jako szkodliwe;
- właściciele obiektów budowlanych narażonych na wpływy drgań mogą dochodzić swych praw w przypadku stwierdzenia niekorzystnych wpływów na budynki lub na ludzi w nich przebywających.

Szczegółowe wymagania odnośnie do dopuszczalnych uproszczeń w modelach obliczeniowych oraz kryteria oceny wpływów dynamicznych formułowane są w odpowiednich normach międzynarodowych i krajowych. Z norm międzynarodowych problematyka działań sejsmicznych na budowle uwzględniana jest w Eurokodzie 8 ([13]) a parasejsmicznych w normie ISO [11]. Oceny wpływów dynamicznych na budowle, urządzenia i ludzi przebywających w budynkach dotyczą w Polsce normy [2, 3, 15].

3. Procedura diagnostyczna

Przy zachowaniu pewnego poziomu ogólności zestawiono w [16] kolejne kroki w diagnostycznej procedurze dynamicznej budowli. Poniżej podano takie zestawienie odnoszące się do sytuacji E (por. tabela 1). Występują w tej procedurze:

- zebranie informacji źródłowych o budowli, zarówno w stanie przed wystąpieniem źródła drgań jak i po jego wystąpieniu;
- zebranie informacji o źródle drgań, któremu przypisuje się uszkodzenia występujące w budowli;
- zebranie informacji o drodze propagacji drgań od źródła drgań do budowli podczas występowania źródła drgań;
- wyznaczenie prognozowanych parametrów drgań fundamentu budowli podczas występowania w przeszłości źródła drgań;
- zastosowanie przyjętego kryterium oceny wpływu prognozowanych drgań na budowlę;
- porównanie wyników oceny na podstawie kryterium diagnostycznego ze stanem budowli po wystąpieniu źródła drgań;
- podanie odpowiedzi na pytanie: czy możliwy jest związek skutkowo-przyczynowy między działaniem w przeszłości źródła drgań a obecnymi uszkodzeniami budowli.

4. Drgania generowane podczas robót drogowych

Intensywny rozwój infrastruktury transportowej jest przyczyną zwiększenia oddziaływania dynamicznego na budowle usytuowane w sąsiedztwie szlaków komunikacyjnych. Wzrost działań dynamicznych wynika nie tylko z eksploatacji dróg (zwiększenie prędkości przejazdu i ciężarów pojazdów), ale również z prowadzenia robót drogowych związanych z ich budową albo przebudową. Podczas prac drogowych używane są już powszechnie różnego rodzaju maszyny, będące źródłem drgań propagujących się w podłożu. Są to w szczególności walce wibracyjne oraz maszyny używane do wibracyjnego wprowadzenia grodzic w grunt.

Wibracje bębna walca w znacznym stopniu przyspieszają zagęszczanie gruntu, podbudowy drogi i warstw nawierzchniowych. Jednocześnie mogą one niekorzystnie wpływać na znajdujące się w pobliżu obiekty budowlane (por. [17]).

Bywa również, iż wspomniane prace drogowe prowadzone są w bezpośrednim sąsiedztwie budowli zabytkowych. W takich przypadkach konieczna jest szczególna ostrożność w podejmowaniu decyzji dotyczących sposobu prowadzenia robót drogowych oraz doboru sprzętu używanego w czasie tych robót.

Trzeba tu przywołać art. 6 ustawy [8], z którego wyraźnie wynika obowiązek zasięgnięcia przed rozpoczęciem robót specjalistycznych opinii specjalistów. Zapisano tam bowiem, iż:

- „1. Kto podejmuje działalność mogącą negatywnie oddziaływać na środowisko, jest zobowiązany do zapobiegania temu oddziaływanu.
2. Kto podejmuje działalność, której negatywne oddziaływanie na środowisko nie jest jeszcze w pełni rozeznane, jest zobowiązany, kierując się przezornością podjąć wszelkie możliwe środki zapobiegawcze”.

Biorąc powyższe pod uwagę planując roboty drogowe w bezpośrednim sąsiedztwie budowli, w szczególności zaś budowli zabytkowej należy przeprowadzić analizę możliwości zastosowania w tych robotach maszyn generujących drgania. Jeśli z takiej analizy wynika, iż prognozowany poziom drgań nie będzie szkodliwie oddziaływał na budowle, to można dopuścić stosowanie urządzeń wibracyjnych przy spełnieniu dwóch podstawowych wymagań:

- opracowania dokumentacji stanu technicznego budowli przed przystąpieniem do robót drogowych ze szczególnym zwróceniem uwagi na występujące zarysowania i inne uszkodzenia obiektu;
- przeprowadzenie pomiarów dynamicznych budowli podczas pierwszej fazy robót drogowych w celu zweryfikowania wyników wcześniejszych analiz.

Brak spełnienia tych wymagań przez przystępującego do robót drogowych może prowadzić do zgłoszenia roszczeń właściciela obiektu o jego naprawę oraz przypisanie wszelkich uszkodzeń występujących w obiekcie działaniu maszyn użytych podczas robót drogowych. Często takie roszczenia muszą rozpatrywać sądy, a przed biegłymi powołanymi do opracowania opinii diagnostycznych stają wówczas trudne zadania. Niewielu biegłych może sprostać tym zadaniom. Bywa więc, że niekompletne ich opracowania stają się podstawą wydania wyroków. Autorzy niniejszej pracy byli powoływani przez sądy, przed którymi wcześniej przez kilka lat prowadzone były sprawy tego rodzaju a opinie przywołanych biegłych były wzajemnie sprzeczne i nie zawierały niezbędnych obliczeń. Danymi przyjmowanymi w takich analizach dysponują bowiem instytucje, które prowadzą obszerne pomiary i na podstawie ich wyników kształtują bazy danych pomiarowych. Dopiero na podstawie takich danych można wiarygodnie prognozować parametry drgań wykorzystane w diagnozie a posteriori.

5. Przykład zastosowania procedury diagnostycznej z prognozą typu a posteriori

Mur kamienny z kamienia łamanego na zaprawie glinianej wykonany w XVIII wieku stanowi ogrodzenie terenu, na którym zlokalizowany jest drewniany budynek kościoła (siedziba Muzeum) oraz stary cmentarz przykościelny. Całość - wraz z murem wpisana jest do rejestru zabytków.

W bezpośrednim sąsiedztwie muru (rys. 1) przebiega ulica, której stan wymagał przeprowadzenia modernizacji włącznie z wymianą podbudowy.



Rys. 1. Widok muru od strony ulicy
(3 lata po przeprowadzeniu modernizacji ulicy)

Fig. 1. View of the wall from the side of the street (3 years after street modernization)



Rys. 2. Mur od strony zewn. w miejscu pęknięcia dylatacyjnego wywołanego rozrastaniem się drzewa

Fig. 2. Wall from the external side at the point of dilatation cracking caused by growing tree.

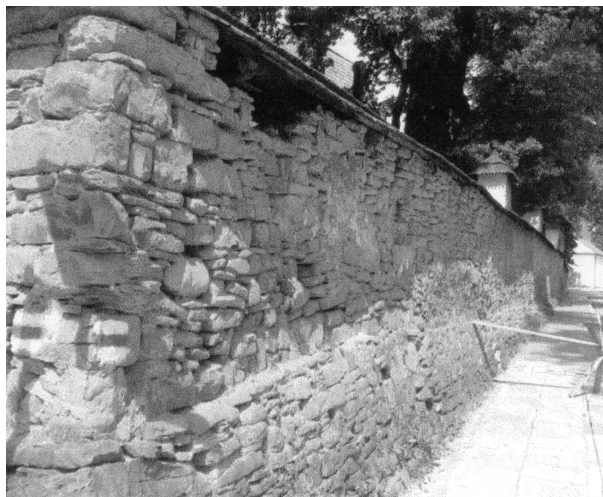
Przed czterema laty przystąpiono do robót drogowych. Wykonane prace związane z usunięciem starej jezdni i podbudowy wywołały protest użytkownika obiektu zabytkowego i włączenie się Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków, który po przeglądzie obiektu dopuścił do prowadzenia dalszych robót drogowych określając warunki realizacji tych prac. Zobowiązał on wykonawcę i inwestora robót drogowych do wykonania prac „w sposób nie zagrażający strukturze muru”, ograniczenia do niezbędnego minimum wymiany podbudowy pod nową nawierzchnię oraz systematycznego prowadzenia obserwacji muru „przez wykonawcę i przedstawiciela Muzeum”. Wyniki tych obserwacji miały mieć wpływ na kontynuowanie prac lub ich wstrzymanie.

Kolejne protesty użytkownika obiektu, brak na nie reakcji wykonawcy i prowadzenie prac z udziałem ciężkiego sprzętu powodowały zaangażowanie policji i prokuratury. W końcowej fazie wykonania prac modernizacyjnych, w bezpośredniej bliskości muru o największej wysokości (rys. 3) nastąpiło wykruszenie zaprawy i wypadnięcie kilku kamieni w górnej części muru. Występowały również inne uszkodzenia muru (rys. 4).

Po zakończeniu prac modernizacyjnych na podstawie zgłoszenia do prokuratury podjęte zostały kolejne czynności śledcze w celu ustalenia czy istniał związek skutkowo-przyczynowy między uszkodzeniami muru a robotami drogowymi.

Wraz z upływem czasu od opisanych wydarzeń coraz trudniej było wiązać konkretne uszkodzenia muru z działaniem źródła drgań. W zależności od treści opinii rzeczoznawców następowało kolejno umarzanie i wznowianie śledztwa.

Dopiero po ponad 3 latach od wystąpienia zdarzenia opracowana została opinia podbudowana analizą obliczeniową. Najpierw uściślono opis głównego źródła drgań generowanych w podłożu podczas robót drogowych. Był to walec wibracyjny wyprodukowany przez firmę HAMM. Autorzy opinii dysponując stosunkowo obszerną bazą własnych danych pomiarowych, mogli wyznaczyć parametry drgań generowanych pracą tego walca z uwzględnieniem różnych warunków jego pracy.



Rys. 3. Uszkodzenie muru w jego najwyższej części (fot. archiwum)

Fig. 3. Wall damages in its highest parts



Rys. 4. Lokalne uszkodzenie muru po wykruszeniu zaprawy glinianej i wypadnięciu kamieni

Fig. 4. Local wall damages – losses of clay mortar and stones

Warto zauważyć, że występuje znaczący spadek amplitudy drgań w najbliższej odległości (między 1,0 a 7,0 m) od pracującego walca. Stąd też wynika duża wrażliwość budowli na jej odległość od pracujących walców, jeśli pracują one w niewielkiej odległości od budowli.

W pełnej analizie wpływu drgań gruntu na drgania budowli należy uwzględnić również redukcję tych drgań przy przejściu z podłoża na fundament budowli. Współczynnik redukcji drgań wynosi od 0,1 (przy większych wartościach przyspieszeń) do 0,3÷0,4 (przy małych wartościach przyspieszeń gruntu

oraz odległościach między walcem i budowlą większych od 30 m). Konieczne jest również w analizie wpływu drgań na budowlę uwzględnienie struktury częstotliwościowej tych drgań.

Jako kryterium oceny wpływu drgań na mur przyjęto parametry opisane skalami SWD, przy czym uwzględniono następujące spostrzeżenia:

- analizowany mur jest obiektem bardziej wrażliwym na drgania niż budynek murowany, którego dotyczą skale SWD (wynika to z: braku zeszywnień poprzecznych oraz braku stropów włączających do współpracy ściany budynku ze wszystkich kierunków);
- eksploatacja muru przed przystąpieniem do robót drogowych trwała już wiele lat, co miało wpływ na jego zwiększoną podatność na wpływy dynamiczne;
- wraz z przybliżeniem się trasy walca do muru (szczególnie w obszarze od 1,0 do 7,0 m) następował znaczny wzrost parametrów drgań przekazywanych na budowlę.

Na podstawie szczegółowej analizy, której tu już nie podaje się stwierdzono, że pracą walca wibracyjnego uznać należy za istotnie wpływającą na stan techniczny muru. Wpływ ten polegał na wykruszeniu zaprawy glinianej i wypadaniu niektórych kamieni tworzących mur.

Można za uzasadnione przyjąć, iż drgania generowane pracą walca wywoływały drgania muru. W miejscach połączeń między kamieniami występowało lokalne osłabienie (np. wykruszenie spoiwa), które podczas kolejnych drgań powiększały się i powodowały wypadanie pojedynczych kamieni. Wypadnięcie niższego kamienia o większych gabarytach osłabiało oparcie kamienia mniejszego, położonego wyżej. Lokalne wypadnięcie mogło dotyczyć nawet kilku kamieni.

Mur w narożniku (rys. 3) jest wyraźnie wyższy i tym samym bardziej wrażliwy na działania dynamiczne.

6. Wnioski

Przedstawiony opis ogólny, uzupełniony przykładem szczegółowym dobrze uzasadnia konieczność wykonania starannej analizy wpływu planowanych robót drogowych na obiekty budowlane usytuowane w sąsiedztwie drogi.

Jeśli wśród obiektów odbierających drgania są budowle zaliczane do zabytków, to takie analizy powinny być przeprowadzone ze szczególną starannością. Dodatkowo podczas prowadzenia robót drogowych parametry drgań przekazywanych na budowlę powinny być pomierzone podczas spodziewanego występowania najniekorzystniejszego działania.

Praca walców wibracyjnych w odległości mniejszej niż 20 m od budynków i innych obiektów murowanych (szczególnie przy zagęszczeniu sztywniejszych warstw podbudowy drogi) może grozić uszkodzeniem tych obiektów. Z reguły więc tego typu prace powinny być prowadzone pod specjalistycznym nadzorem z wykorzystaniem pomiarów drgań.

L i t e r a t u r a

- [1] C i e s i e l s k i R., K a w e c k i J., M a c i ą g E., *Ocena wpływu wibracji na budowlę i ludzi w budynkach (diagnostyka dynamiczna)*, Wyd. ITB, W-wa 1993.
- [2] PN-85/B-02170: Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże.
- [3] PN-88/B-02171: Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.
- [4] K a w e c k i J., *Diagnostyka drgań komunikacyjnych na budynki i ludzi w budynkach*, Transport Miejski i Regionalny, Nr 11, 2006.
- [5] C i e s i e l s k i R., F r a d e r a A., K a w e c k i J., *Przypadki oceny a posteriori wpływów parasejsmicznych na budowlę*, Konf. N-T: Awarie Budowlane, Szczecin- Międzyzdroje, 1995, s.633-640.
- [6] E n g e l Z., *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*, PWN, W-wa 1993.
- [7] Ustawa o ochronie i kształtowaniu środowiska z dnia 31.01.1980 (Dz. Ustaw Nr 3 z 11.02.1980, poz. 6 z późn. zm.).
- [8] Ustawa: Prawo ochrony środowiska z dnia 27.04.2001 (Dz. U. Nr 62 z 2001 r., poz. 627),

- [9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75, poz. 690).
- [10] Instrukcja ITB Nr 348/98: Diagnostyka dynamiczna i zabezpieczenie istniejących budynków mieszkalnych przed szkodliwym działaniem drgań na właściwości użytkowe budynków [Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E.], ITB, W-wa 1998.
- [11] Dyrektywa Rady 97/11/WE z dnia 03.03.1997 r. zmieniająca dyrektywę 85/337/EWG w sprawie oceny wpływu wywieranego przez niektóre publiczne i prywatne przedsięwzięcia na środowisko.
- [12] Dyrektywa 2001/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27.06.2001 r. w sprawie oceny wpływu niektórych planów i programów na środowisko.
- [13] PN-EN 1998-3: Eurokod 8: Projektowanie konstrukcji poddanych oddziaływaniom sejsmicznym, część 3: Ocena i rewaloryzacja budynków.
- [14] ISO 10137: Bases for design of structures- Serviceability of buildings against vibration.
- [15] PN-80/B-03040: Fundamenty i konstrukcje wsporcze pod maszyny.
- [16] Kawecki J., *Perspektywy rozwoju diagnostyki budowli*, Inżynieria i Budownictwo, Nr 9, 1998, s.477-481.
- [17] Stypuła K., Świder R., *Wpływ drgań wywołanych pracą drogowych walców wibracyjnych na budynki*, Drogownictwo, Nr 1, 2006, s.14-18.

