

Kryteria oceny wpływu drgań komunikacyjnych na budynki zabytkowe i ludzi w budynkach w ujęciu normowym



Prof. dr hab. inż. Janusz Kawecki, Politechnika Krakowska

1. Wprowadzenie

Stale wzrasta liczba źródeł drgań występujących poza budynkami i oddziałujących na budynki, wzrasta też intensywność tych drgań (por. [13]). Wszystko to przyczynia się do włączenia tego rodzaju oddziaływań do rozpatrywanych w projektowaniu i diagnostyce budynków oraz projektowaniu źródeł drgań zlokalizowanych w otoczeniu budynków. Zauważa się również wzrost wymagań użytkowników obiektów budowlanych w zakresie zapewnienia ochrony przed drganiami zarówno budynków, jak i ludzi przebywających w budynkach. Możliwie zobiektywizowane kryteria oceny tych wpływów dynamicznych ujmowane są w odpowiednich normach (por. np. [3, 6, 8, 20, 21]). Zalecenia w nich zawarte uzupełniają informacje zamieszczone w publikacjach, których autorzy informują o wynikach diagnoz oraz o wynikach weryfikacji prognoz opracowanych na podstawie odpowiedniej metodyki pomiarowo-interpretacyjnej. Do tych ostatnich informacji należy jednak podchodzić krytycznie. Zdarza się bowiem, że w konkretnych analizach projektowych albo diagnozach ich autorzy popełniają błędy i potem upowszechniają je w swych wystąpieniach konferencyjnych, a nawet w publikacjach. Błędy te wynikają najczęściej z braku odpowiedniego przygotowania w zakresie interpretacji sformułowań normowych lub braku dostatecznej wiedzy podstawowej z zakresu dynamiki w odniesieniu do budownictwa (por. np. [15]). Dlatego też warto dobre wzory postępowania w tym zakresie upowszechniać, zwłaszcza na środowiskowych zebraniach o charakterze naukowo-technicznym, do których zalicza się również Konferencję REW-INŻ. Taki jest właśnie cel niniejszego opracowania.

Oddziaływania dynamiczne na budynki i ludzi w budynkach analizuje się w zadaniach projektowania i diagnostyce. W zależności od stanu, w jakim podczas opracowywania diagnozy albo projektu znajduje się źródło drgań oraz obiekt odbierający drgania wyróżnia się pięć sytuacji. Opis tych sytuacji przedstawiony w niniejszym opracowaniu nawiązuje do klasyfikacji zaproponowanej w [10] i [13], którą tu podano w tabeli 1.

Ze względu na zagadnienia scharakteryzowane tytułem niniejszego opracowania zakres rozpatrywanych problemów jest zawężony. Spośród pięciu sytuacji projektowych i diagnostycznych podanych w tabeli 1 tylko trzy mogą odnosić się do budynków zabytkowych. Są to sytuacje: A, B i E. Najczęściej diagnoza dynamiczna dotyczy sytuacji A, kiedy to w ocenie diagnostycznej wykorzystuje się wyniki uzyskane podczas bezpośrednich pomiarów drgań i stosuje odpowiednie kryteria oceny. Sytuacja B zaliczana jest również do diagnoz, ale w ocenach wpływów dynamicznych uwzględnia się prognozowane wartości parametrów drgań. Sytuacja E z kolei dotyczy zagadnień objętych diagnozami opracowywanymi w celu dostarczenia uzasadnień merytorycznych przy formułowaniu rozstrzygnięć sądowych i arbitrażowych oczekiwanych przy rozpatrywaniu skarg użytkowników budynków na działalność odpowiedzialnych za źródła drgań.

Rozpatrując opis możliwych sytuacji przedstawionych w tabeli 1 należy zauważyć, iż „*obiektem*” może być budynek jako całość, urządzenie wrażliwe na drgania umieszczone w budynku oraz człowiek biernie odbierający drgania i przebywający w budynku. Odnosząc dalsze rozważania do budynków zabytkowych, warto zauważyć, że zawsze będą one dotyczyły budynków istniejących oraz ludzi i urządzeń w tych budynkach przebywających.

„*Źródłem drgań*” w odniesieniu do zagadnień ujętych w niniejszym opracowaniu mogą być przejazdy środków transportu po drogach kołowych i szynowych. W sytuacji istniejącej drogi (sytuacja A) analiza dynamiczna odnosi się do źródeł drgań generowanych podczas jej eksploatacji, tzn. przejazdów pojazdów danego rodzaju transportu. W analizie źródeł drgań w odniesieniu do projektowanej drogi (sytuacja B) może okazać się konieczne uwzględnienie oprócz prognozowanych warunków wynikających z eksploatacji drogi również wpływów dynamicznych generowanych podczas budowy tejże drogi (np. drgania wywołane pracą walców wibracyjnych, wibromotów [14]). I chociaż można przyjąć, że drgania generowane podczas

budowy drogi będą przeważnie występowały w stosunkowo krótkim czasie, a ich wystąpienie będzie wcześniej zapowiadane i nie będą one generowane w czasie przeznaczonym na odpoczynek ludzi przebywających w budynkach (na ogół wyklucza się prowadzenie takich prac w porze nocnej), to jednak może okazać się konieczne uwzględnienie tych źródeł drgań na budynki zabytkowe.

2. Metodyka pomiarowo-interpretacyjna oceny wpływu drgań komunikacyjnych na budynki zabytkowe

Ocenę wpływu drgań na istniejące budynki i ludzi w nich przebywających przeprowadza się w procedurze diagnostycznej (sytuacje A i B ujęte w tabeli 1). Jeśli źródło drgań jest eksploatowane, to informacje o poziomie drgań przekazywanych na fundament budynku (wymuszenie kinematyczne budynku) oraz występujących w wybranych miejscach budynku, w których umieszczone zostaną siły bezwładności obciążające konstrukcje budynku, a także w miejscach przekazywania drgań na człowieka przebywającego w budynku można uzyskać bezpośrednio jako wynik pomiarów dynamicznych. W sytuacji odpowiadającej diagnozie z prognozą (sytuacja B) informacje o poziomie drgań przydatne w ocenie ich wpływu na budynek i ludzi w budynku uzyskuje się przez połączenie obliczeń i pomiarów dynamicznych. I tak na podstawie pomiarów przeprowadzonych na istniejącym budynku podczas występowania innych niż projektowane źródła drgań można zweryfikować przyjęty model obliczeniowy budynku. Potem zaś ten zweryfikowany model budynku należy poddać działaniu prognozowanego wymuszenia kinematycznego. Prognozowane wymuszenie kinematyczne modelu budynku wywołane projektowanym źródłem drgań wyznacza się uwzględniając wyniki analizy wibrogramów pozyskanych w innych, podobnych przypadkach. Bardzo pomocna jest tu Baza Danych Pomiarowych (BDP), którą kształtuje autor opracowania, korzystając z wielu odpowiednio zebranych wyników wcześniejszych badań na obiektach w skali naturalnej. Podane tu uwagi ogólne można zestawić w pewne ciągi czynności, stanowiące procedury odpowiadające sytuacjom „A” i „B” z tabeli 1.

Tabela 1. Sytuacje diagnostyczne i projektowe (za [10, 13])

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

2.1. Źródło drgań jest eksploatowane

Przy zachowaniu pewnego poziomu ogólności można zestawić kolejne czynności w postępowaniu związanym z diagnozą wpływu drgań oddziaływających na budynek, na urządzenia wrażliwe na drgania oraz na ludzi przebywających w budynkach (por. [16]). Są to:

- zebranie danych o źródłach drgań, których oddziaływanie ma być oceniane,
- zebranie danych o drodze propagacji drgań ze źródła przez podłoże do miejsca ich odbioru przez obiekt odbierający drgania,
- zebranie danych o obiekcie odbierającym drgania (jeśli obiektem jest istniejący budynek, to potrzebne są informacje o jego konstrukcji, materiałach, stanie technicznym itp.; jeśli będzie to urządzenie wrażliwe na drgania, to informacje dotyczą miejsca jego lokalizacji, wymagań odnośnie do dopuszczalnych parametrów drgań podstawy; jeśli zaś obiektem odbierającym drgania są ludzie w budynku, to informacje dotyczą przeznaczenia pomieszczenia, w którym one przebywają),
- przyjęcie kryterium oceny wpływu drgań na budynki, na ludzi w budynkach oraz na urządzenia wrażliwe na drgania,
- pomiar drgań w miejscach odbioru ich przez obiekt narażony na drgania (jeśli diagnoza dotyczy drgań przekazywanych na budynek, to pomiar powinien dostarczyć co najmniej informacji o wymuszeniu kinematycznym budynku; jeśli diagnoza dotyczy wpływu drgań na urządzenia wrażliwe na drgania, a także na ludzi w budynku, to pomiar powinien dostarczyć informacji o parametrach drgań na konstrukcji budynku w miejscach przekazywania tych drgań na podstawę urządzenia i na ludzi w budynku),
- opracowanie wibrogramów w postaci odpowiadającej przyjętemu kryterium,
- podanie wyników oceny dotyczących wystąpienia związku skutkowo-przyczynowego między działaniem źródła drgań a naruszeniem wymagań w zakresie zapewnienia obiektowi objętemu diagnozą warunków określonych w kryterium oceny,
- w wypadku wykazania nadmiernych wpływów dynamicznych zaproponowanie środków technicznych prowadzących do redukcji drgań i wykazanie ich skuteczności (por. np. [19]).

2.2. Źródło drgań jest projektowane

Jeśli źródło drgań jest projektowane, to należy zestawienie czynności objętych metodyką pomiarowo-interpretacyjną zmodyfikować (por. [16]). W sytuacji B ważnym etapem diagnozy jest wyznaczanie spodziewanych (prognozowanych) parametrów wymuszenia kinematycznego budynku oraz przyjęcie modelu obliczeniowego budynku. Prognozowane parametry drgań wyznacza się korzystając z informacji o projektowanym źródle drgań i opisujących go parametrach oraz z informacji zawartych w BDP, z której wybiera się wiogramy odpowiadające warunkom przekazywania drgań na obiekt objęty diagnozą. Kształtowanie zaś modelu obliczeniowego budowli, który będzie poddany oddziaływaniu prognozowanego wymuszenia drgań, następuje najczęściej z zastosowaniem MES. W odniesieniu do budynków istniejących warto skorzystać z możliwości zweryfikowania przyjętego modelu obliczeniowego budynku. Można bowiem wykonując pomiar drgań budynku wywołanych innym, możliwym do zrealizowania źródłem drgań usytuowanym w pobliżu budynku (np. sterowany ruch pojazdów po istniejącej drodze) uzyskać informacje o przydatności przyjętego modelu obliczeniowego w rozwiązywaniu zadania diagnozy. Temu celowi służą m.in. pomiary określane jako badanie tzw. tła dynamicznego.

Czynności objęte metodyką pomiarowo-interpretacyjną dotyczące opisywanej tu sytuacji diagnostycznej (sytuacja B: diagnoza z prognozą) realizuje się w trzech etapach. Etap I. dotyczy weryfikacji modelu obliczeniowego budynku. Etap II. dotyczy oceny wpływu na: budynek/wrażliwe urządzenie/ludzie w budynku prognozowanych drgań wywołanych projektowanym źródłem. Etap III. dostarcza informacji o weryfikacji prognoz. Badania objęte III. etapem wykonuje się po rozpoczęciu eksploatacji źródła drgań. W [16] zestawiono kolejne czynności wykonywane w trzech etapach opisywanej procedury diagnostycznej.

3. Kryteria oceny wpływu drgań

3.1. Kryteria odnoszące się do budynków

Kryteria odnoszące się do budynków poddanych wpływom drgań przekazywanych przez podłoże mogą być ujęte bezpośrednio, w postaci zadanych wartości nieprzekraczalnych przemieszczeń lub naprężeń albo pośrednio – ujęte w odpowiednich skalach wpływów dynamicznych. W tym pierwszym ujęciu korzysta się z odpowiednich norm projektowania z uwzględnieniem wymagań podanych w normach opisujących działania parasejsmiczne. W diagnozie dynamicznej odnoszącej się do konstrukcji budynków najczęściej kryteria diagnostyczne wywodzi się z warunków wytrzymałości i sztywności.

R. Ciesielski (por. [5]) wykazał, że ocenę wpływu drgań parasejsmicznych można w odniesieniu do pewnych, wybranych klas budynków przedstawić w sposób

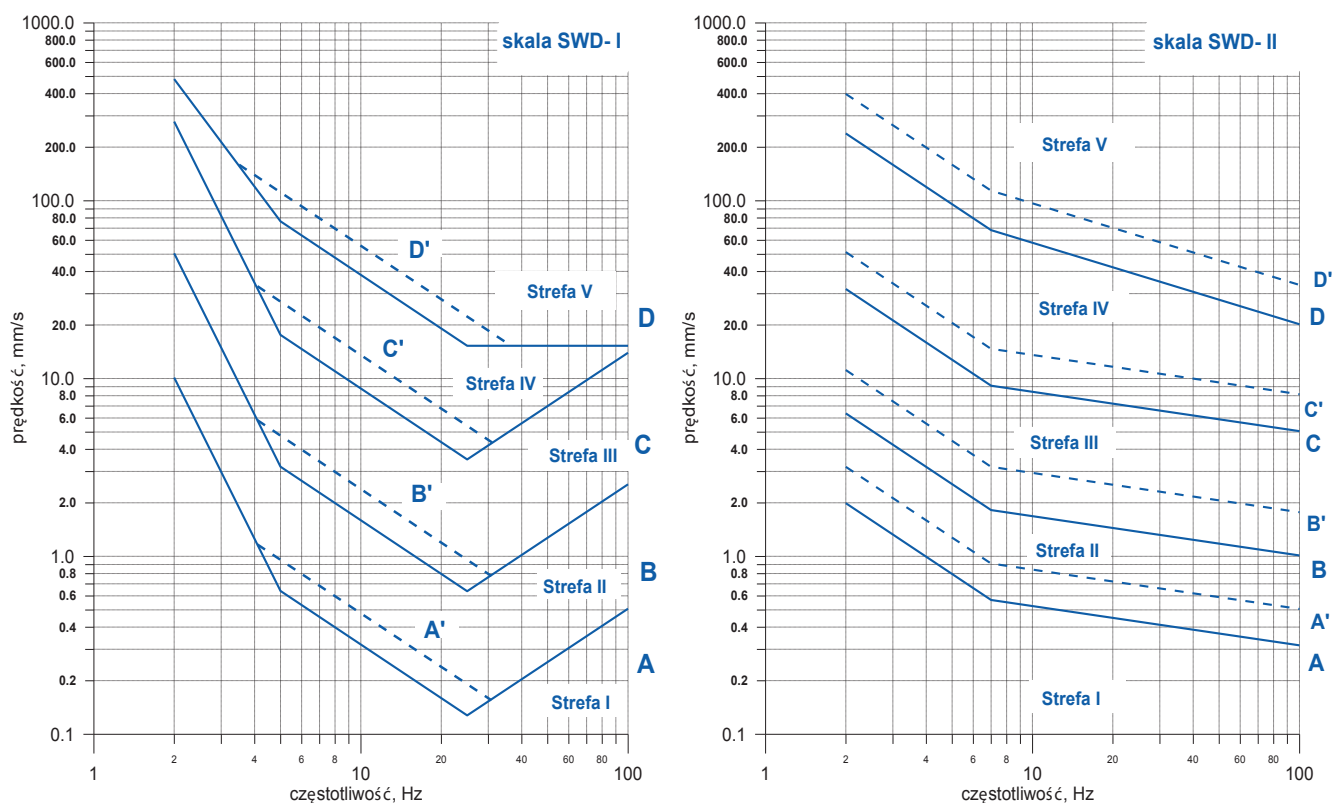
uproszczony, wiążąc ją z parametrami charakteryzującymi poziome drgania fundamentów tych budynków. W ten sposób zostały ukształtowane skale wpływów dynamicznych nazywane skalami SWD-I i SWD-II, które wprowadzone zostały do normy [20]. Szczegółowo opisano je m.in. w [5, 13, 16]. Tu na rysunku 1 (por. [2, 18]) podano skale te we współrzędnych: częstotliwość – maksymalne przyspieszenie drgań tzn. w ujęciu, które będzie wprowadzone do normy [20] w czasie jej nowelizacji. Skale SWD odnoszą się do dwóch, najczęściej spotykanych typów budynków niskich i średnio wysokich (do 5 kondygnacji nadziemnych włącznie), wykonanych z elementów murowych (przeznaczonych do ręcznego układania jak: cegła, pustaki itp.), wieloblokowych oraz wielopłytowych. I tak:

- skala SWD-I dotyczy budynków o kształcie zwartym o małych wymiarach zewnętrznych rzutu poziomego (nie powinny przekraczać 15 m), jedno- lub dwukondygnacyjnych i o wysokości nie przekraczającej żadnego z wymiarów rzutu poziomego;
- skala SWD-II dotyczy budynków nie wyższych niż pięć kondygnacji, których wysokość jest mniejsza od podwójnej najmniejszej szerokości budynku w rzucie poziomym oraz do budynków niskich (do dwóch kondygnacji), lecz nie spełniających warunków podanych dla skali SWD-I.

W odniesieniu do budynków zabytkowych skale te są szczególnie przydatne ze względu na to, iż większość takich budynków spełnia wymagania określające zakres stosowania skal SWD. Ocena zaś wpływu drgań przekazywanych z podłoża na te budynki jest stosunkowo prosta. Trzeba tu jednak podkreślić, iż uzyskanie wiarygodnych wyników oceny wymaga dostosowania się do zaleceń zapisanych w normie [20] odnośnie do metodyki pozyskiwania parametrów stosowanych w ocenie. Na podstawie rozpoznania autora niniejszego opracowania odnośnie do dotychczas wykonywanych diagnoz dynamicznych z wykorzystaniem skal SWD można stwierdzić, iż wiele z takich diagnoz obarczonych jest błędami. Wytknięto te błędy w kilku publikacjach i prezentacjach konferencyjnych, z których warto skorzystać (por. np. 13, 15]).

Na podstawie wartości amplitud przyspieszeń (w normie [20] podano też zapisy tych skal odnoszące się do amplitud przemieszczeń) oraz odpowiadających im częstotliwości drgań poziomych budynku pomierzonych na ścianie budynku w poziomie terenu lub na fundamencie można zakwalifikować wpływ drgań na budynek do jednej z pięciu stref szkodliwości:

- strefa I – drgania nieodczuwalne przez budynek,
- strefa II – drgania odczuwalne przez budynek, ale nieszkodliwe dla jego konstrukcji, powstają rysy na tynkach i uszkodzenia elementów architektonicznych,
- strefa III – drgania szkodliwe dla budynku, powodują lokalne zarysowania i spękania elementów konstrukcyjnych,
- strefa IV – drgania o dużej szkodliwości dla budynku,



Rys. 1. Skale SWD przedstawione we współrzędnych: częstotliwość – maksymalna prędkość drgań (por.[2, 18])

stanowiące zagrożenie bezpieczeństwa ludzi;

- strefa V – drgania powodujące awarię budynku przez walenie się murów, spadanie stropów itp., budynek nie może być użytkowany.

Granice stref podano w dwóch wariantach oznaczonych linią ciągłą lub przerywaną. Linia ciągła dotyczy drgań długotrwałych działających na budynki stare lub uszkodzone albo posadowione na słabym podłożu. Linia przerywana odnosi się do drgań krótkotrwałych działających na budynki w bardzo dobrym stanie technicznym, posadowione na sztywnym podłożu.

3.2. Kryteria odnoszące się do ludzi w budynkach

Kryteria stosowane w ocenie wpływu drgań na ludzi przebywających w budynkach zawarte są w normie [21]. Norma określa dopuszczalne wartości parametrów drgań mechanicznych zapewniające wymagany komfort w różnych warunkach przebywania ludzi w pomieszczeniach mieszkalnych, biurach, warsztatach pracy oraz w pomieszczeniach o przeznaczeniu specjalnym (np. szpitale, precyzyjne laboratoria itp.). Ocenie podlegają drgania w paśmie od 1 do 80 Hz.

W [13] wykazano, iż najwięcej informacji o zapewnieniu komfortu wibracyjnego osobom w budynkach dostarcza przyjęcie jako parametru oceny drgań przekazywanych na człowieka widma wartości skutecznej

(RMS) przyspieszenia (lub prędkości) drgań w pasmach 1/3 oktaowych. Wartości parametrów drgań przekazywanych na człowieka można wyznaczyć na podstawie pomiarów przeprowadzonych w miejscu odbioru drgań (sytuacja A według tablicy 1). Można je również wyznaczyć na podstawie obliczenia przeprowadzonego w odniesieniu do modelu budynku poddanego prognozowanemu wymuszeniu kinematycznemu (sytuacja B według tej samej tablicy). Wartości parametrów otrzymane z pomiarów albo obliczeń porównuje się z wartościami zapewniającymi wymagany komfort. Przy wyznaczaniu tych wartości uwzględnia się wpływ wielu czynników. Za najważniejsze z nich uznano w normie [21] (podobnie jak w innych normach międzynarodowych i krajowych [3, 6, 8]):

- przeznaczenie pomieszczenia w budynku,
- porę występowania drgań,
- charakter drgań i ich powtarzalność,
- kierunek działania drgań i pozycję ciała człowieka podczas odbioru drgań.

Przeznaczenie pomieszczenia, pora występowania drgań oraz charakter drgań i ich powtarzalność wpływają na wartość współczynnika „n” określonego w tablicy 5 zamieszczonej w normie [21]. Kierunek działania drgań w nawiązaniu do pozycji ciała człowieka podczas odbioru drgań wpływa na wybór linii wiążących wartości przyspieszeń z częstotliwościami drgań.

3.3. Kryteria dotyczące aparatury wrażliwej na drgania

Najczęściej producenci urządzeń wrażliwych na drgania podają warunki w zakresie wibracji zapewniające prawidłową eksploatację urządzeń i maszyn instalowanych w budynkach. W przypadku działań wibracyjnych podawane są maksymalne parametry drgań podstawy, na której instalowane jest urządzenie. Parametry te określa się, podając np. nieprzekraczalną wartość przyspieszenia (prędkości) drgań oraz związany z nią przedział częstotliwości.

W przypadku braku takich informacji w zbiorze danych przekazanych przez producenta urządzenia można zastosować kryterium oceny wprowadzone do normy [20], aby prędkość drgań podstawy urządzenia nie przekraczała 0,0001 m/s.

4. Nowelizacja norm [20, 21]

Normy [20, 21] stosowane są z powodzeniem od prawie 30 lat w ocenie wpływu drgań na budynki i ludzie w nich przebywający. Ostatnio przystąpiono do ich nowelizacji. Poniższy opis nawiązuje do [18]. Prace nad nowelizacją normy [20] zbliżają się do końcowej fazy tzn. do przygotowania projektu, który będzie poddany ankietyzacji. Już obecnie można poinformować o przygotowanych kilku istotnych zmianach, które przy okazji nowelizacji normy [20] zostaną do niej wprowadzone.

Jako podstawową metodę obliczeniową wprowadzi się metodę analizy czasowej (*Time History Analysis*) przy jednoczesnym zapewnieniu możliwości stosowania metod uproszczonych (np. metoda spektrum odpowiedzi) z jednoczesnym podaniem warunków ich stosowania. Przyjmując jako podstawowy przestrzenny model obliczeniowy konstrukcji budynku (ukształtowany z wykorzystaniem MES), zachowane zostaną w opisie normowym modele uproszczone. Takie przyjęcie uwidoczni się przede wszystkim w treści rozdziałów 2 (charakterystyki wymuszenia i drgań budynku) i 3 (metody wyznaczania sił bezwładności).

Do istotnych zmian w nowelizowanej normie zaliczyć należy przyjęcie przyspieszenia i prędkości drgań jako podstawowych wielkości występujących w kryteriach oceny wpływu drgań na budynki. W normie będą występowały odniesienia i odwołania do prędkości i przyspieszeń drgań. Zmieni się z tego powodu również opis podany w rozdziale 5, który dotyczy przybliżonych sposobów sprawdzenia wpływów dynamicznych na budynki. Skale wpływów dynamicznych (SWD-I i SWD-II) podane będą w układach współrzędnych: częstotliwość – przyspieszenie drgań oraz częstotliwość – prędkość drgań.

Ważnym elementem nowelizacji będzie uściślenie zapisów dotyczących stosowania kryteriów oceny wpływów drgań na budynki w przypadku stosowania skal SWD. Autorzy nowelizowanego dokumentu dysponują wiedzą na temat najczęściej popełnianych błędów przez opracowujących diagnozy dynamiczne (por. np. [13,

15]) z zastosowaniem skal SWD. W celu uniknięcia sytuacji prowadzących do błędnych interpretacji wyników pomiarów zapisy metodyki pomiarowo-interpretacyjnej będą jednoznacznie wskazywały na konieczność wykonywania analizy w pasmach 1/3-oktawowych i wyznaczania w każdym z pasm wartości maksymalnej wielkości mierzonej. Zastosowanie normy [20] w ocenach diagnostycznych wymaga uściślenia określeń dotyczących drgań krótkotrwałych, długotrwałych i występujących stale. Uściślenia te wiążą się z pojęciem czasu trwania drgań. Te zagadnienia również zostaną w projekcie nowelizacji podjęte.

Do ważnych informacji zapisanych w normie [20] należą te, które określają warunki możliwości pominięcia w analizach wpływów dynamicznych na budynki, przekazywanych z podłoża. Zostanie w normie wyraźnie określone, iż kryteria pominięcia tych wpływów odnoszą się jedynie do sytuacji projektowych. Opracowywane diagnozy dynamiczne nie mogą odwoływać się do tych kryteriów. Autorzy diagnoz bowiem dysponują danymi pomiarowymi, które uwzględniają parametry istotnie wpływające na poziom drgań przekazywanych na otoczenie źródła drgań. Ogólne zapisy normowe o możliwości pominięcia oddziaływań dynamicznych odnoszą się bowiem do warunków średnich i mogą różnić się od występujących w sytuacji objętej danym opracowaniem diagnostycznym.

W odniesieniu do normy [21] zrealizowano już wiele prac przygotowawczych związanych z nowelizacją. Stosunkowo obszerny zbiór informacji o kryteriach oceny wpływu drgań na ludzi w budynkach i praktycznym zastosowaniu tych kryteriów zebrano podczas realizacji tematu PT1.7 występującego w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka realizowanym przez Politechnikę Krakowską. Wiele z tych informacji zamieszczono w [13] oraz innych publikacjach będących rezultatem realizacji tego programu badawczego.

Oddzielnym zagadnieniem, również analizowanym w badaniach realizowanych w programie POIG, były metody redukcji drgań w celu zapewnienia niezbędnego komfortu wibracyjnego osobom przebywającym w budynkach. W zależności od stanu źródła drgań i obiektu można zalecić stosowanie różnych środków technicznych w źródle drgań, na drodze ich propagacji oraz w odbiorniku drgań. Wykonanie odpowiednich obliczeń (symulacji) opisanych np. w [19] umożliwi wybranie najkorzystniejszego (ze względu np. na koszty, wykonawstwo, zastosowane materiały itp.) środka technicznego o działaniu antywibracyjnym.

Przy opisywaniu zakresu nowelizacji norm [20, 21] trzeba podkreślić również występowanie nowego parametru opisu wpływu drgań na budynki i na ludzi w budynkach. I tak w odniesieniu do budynków objętych skalami SWD parametrem tym jest wskaźnik *WODB*, a w odniesieniu do wpływu drgań na ludzi – *WODL*. W kryterium oceny zapewnienia ludziom wymaganego komfortu wibracyjnego występuje widmo drgań w pasmach 1/3-oktawowych.

Ocena za pomocą tak opisanego kryterium wykazuje pewne wady, jeśli konieczne staje się porównywanie wyników pomiarów albo obliczeń uzyskanych przy wystąpieniu różnych źródeł drgań albo odnoszących się do wielu budynków usytuowanych wzdłuż tras komunikacyjnych. Wykazano (por. [13, 16]), iż można najważniejsze informacje niezbędne przy tego rodzaju porównaniach wyrazić za pomocą wskaźnika *WODL*. Wyraża on stosunek największej wartości RMS przyspieszenia/prędkości wyznaczonej w wyniku analizy wibrogramu uzyskanego z pomiaru albo obliczania do wartości RMS przyspieszenia/prędkości odpowiadającej progowi odczuwalności drgań w tym samym paśmie częstotliwości. Wartość wskaźnika *WODL* podaje się wraz z informacją o częstotliwości środkowej pasma $\frac{1}{3}$ -oktawowego, w którym wyznacza się *WODL*. Tak więc dwie liczby: *WODL* i f zawierają istotne informacje o wyniku analizy wibrogramu. Jest to wartość upowszechnienia i dlatego trzeba rozważyć, czy wprowadzić ten parametr do nowelizowanej normy [21]. Odpowiednikiem tego wskaźnika w odniesieniu do budynków, do których stosuje się skale SWD jest wskaźnik *WODB*. Wyraża on stosunek największej wartości maksymalnej przyspieszenia/prędkości wyznaczonej w wyniku analizy wibrogramu uzyskanego z pomiaru albo obliczenia modelu do wartości maksymalnej przyspieszenia/prędkości odpowiadającej najniższej położonej linii (A) odpowiadającej I. strefie szkodliwości drgań w tym samym paśmie częstotliwości.

5. Przykład praktycznego zastosowania

Coraz częściej podczas budowy albo przebudowy nawierzchni tramwajowej wprowadza się w jej konstrukcję wibroizolację. Ma ona doprowadzić do obniżenia poziomu drgań przekazywanych na budynki zlokalizowane w sąsiedztwie trasy przejazdu tramwajów oraz na ludzi przebywających w tych budynkach. Szczególnie istotne jest to w odniesieniu do tras przebiegających w sąsiedztwie budynków zabytkowych. Dobranie elementów wchodzących w skład układu wibroizolacyjnego powinno następować na podstawie odpowiednich obliczeń symulacyjnych (por. np. [12, 19]). Podstawowym celem takich obliczeń jest wykazanie, iż przyjęta konstrukcja i parametry wibroizolacji umożliwią uzyskanie niezbędnej redukcji drgań generowanych podczas przejazdów tramwajów.

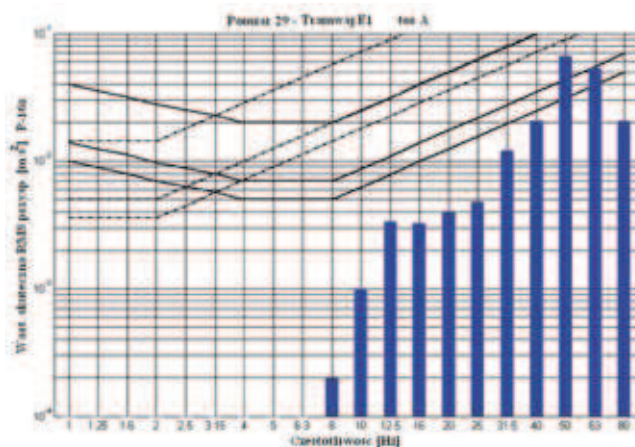
Przykład przedstawiony w [12] dobrze uzasadnia podane wyżej stwierdzenia. Przedstawiono w nim wyniki pomiarów drgań budynku zabytkowego zlokalizowanego w sąsiedztwie modernizowanej linii tramwajowej. Pomiar drgań w budynku wykonano przed i po modernizacji nawierzchni szynowej. Zastosowano w nawierzchni wibroizolację bez odpowiednich obliczeń symulacyjnych. Na podstawie analizy wyników pomiarów i ich oceny przeprowadzonej z zastosowaniem opisanych wyżej kryteriów stwierdzono, że modernizacja toru tramwajowego spowodowała znaczące zmniejszenie wpływów

dynamicznych wywołanych przejazdami tramwajów typu NTG6. To spostrzeżenie dotyczy zarówno wpływu drgań na badany budynek, jak i na ludzi w tym budynku przebywające (poziom drgań nie przekracza wartości progowej odczuwalności drgań przez ludzi).

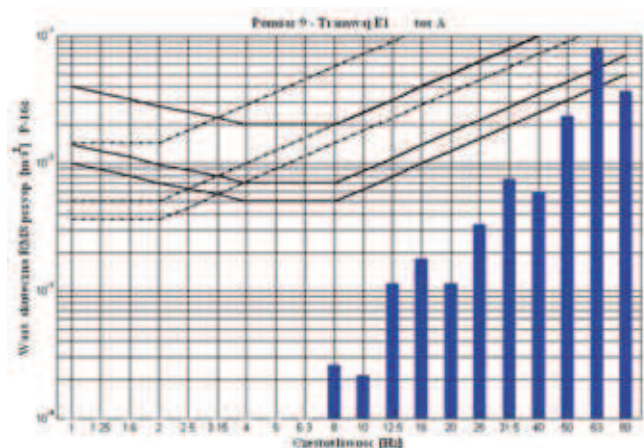
Wyraźnie inne są wyniki analizy skuteczności zastosowanej wibroizolacji w odniesieniu do drgań generowanych przejazdami tramwajów typu E1. Efekt zastosowanej wibroizolacji w pasmach o częstotliwościach środkowych 63 Hz i 80 Hz nie jest zauważalny, a w tych właśnie pasmach występują największe wartości przyspieszeń. Maksymalne wartości szczytowe przyspieszeń drgań poziomych sytuują się w II strefie skali SWD-II, i to stosunkowo blisko linii odpowiadającej dolnej granicy strefy III. Są to drgania odczuwalne przez konstrukcję budynku, a w przypadku obiektów zabytkowych traktuje się je nawet jako szkodliwe dla takich obiektów.

Rysunki 2 i 3 są dobrą ilustracją podanych spostrzeżeń odnoszących się do przejazdów tramwajów typu E1. Inne wyniki pomiarów zamieszczone są w [12] i stanowią pełniejsze uzasadnienie zaleceń wskazujących na konieczność wykonywania obliczeń symulacyjnych przed zastosowaniem projektowanego rozwiązania wibroizolacyjnego w projektowanej albo modernizowanej konstrukcji drogi. W rozważanym przypadku zastosowano w modernizowanym torze maty dobrej jakości, renomowanego producenta uzyskując dobrą skuteczność wibroizolacji w odniesieniu do jednego typu używanych na tej linii tramwajów. Podczas postulowanych obliczeń symulacyjnych można było w taki sposób dobrać parametry maty (np. grubość, sztywność itp.), aby osiągnąć również podobną skuteczność w odniesieniu do drgań generowanych podczas przejazdów obydwu typów kursujących na tej linii tramwajów.

W [12] przedstawienie wyników diagnoz odnoszących się do konkretnego obiektu zabytkowego posłużyło również do zwrócenia uwagi na pewne problemy prawne i metodologiczne. Warto je przywołać również w niniejszym referacie przedstawianym na konferencji poświęconej



Rys. 2. Najniekorzystniejsze wyniki analizy wpływu na ludzi drgań pionowych (Z) posadzki parteru generowanych przejazdem tramwaju E1 przed zastosowaniem wibroizolacji



Rys. 3. Najniekorzystniejsze wyniki analiz wpływu na ludzi drgań pionowych (Z) posadzki parteru generowanych przez jazdem tramwaju E1 po zastosowaniu wibroizolacji

problemom inżynieryjno-technicznym rozwiązywanym przy modernizacji zespołów zabytkowych.

6. Podsumowanie

Niniejsze opracowanie należy traktować jako zasygnalizowanie problemu, który pojawia się okazji budowy i modernizacji dróg w sąsiedztwie zabudowy zabytkowej. Uwzględnienie wpływu na zabudowę zabytkową drgań generowanych przejazdami pojazdów po tych drogach staje się niezbędne do zapewnienia budynkom zabytkowym i osobom w nich przebywającym odpowiednich (tzn. nie przyspieszających degradacji tych budynków i nie naruszających wymagania odnośnie do komfortu wibracyjnego) warunków eksploatacji.

Współcześnie dysponujemy już prawie od 30 lat odpowiednimi metodami oceny wpływu istniejących i prognozowanych źródeł drgań komunikacyjnych na zabytkową zabudowę. Wykonano już wiele opracowań diagnostycznych korzystając z zaleceń zapisanych w normach [20,21]. Dobrym uzupełnieniem zapisów normowych są wskazówki i przykłady zamieszczone w pracach [5, 7, 13, 16] wraz z trzema pozostałymi rozdziałami ostatniej z wymienionych monografii.

Przykład przywołany za [12] w niniejszym opracowaniu jest dobrym uzasadnieniem konieczności wykonywania analiz symulacyjnych, których rezultatem jest wyznaczenie prognozowanego efektu zmiany konstrukcji drogi podczas jej modernizacji i zastosowaniu wibroizolacji w nowej konstrukcji drogi. Okazuje się jednak, że takie symulacje należą do rzadkości. A jeśli nawet inwestor rozumiejąc wagę problemu, żądałby wykonania takich analiz, to wygrywający przetarg na projekt i budowę lub modernizację drogi (np. linii tramwajowej) z reguły stara się obniżyć koszty przez rezygnację z tej części pracy. Podstawowym argumentem przedstawianym przez wykonawcę jest twierdzenie, iż nie ma on obowiązku wykonywania tych obliczeń, gdyż nie są one

zapisane w raporcie lub ocenie oddziaływania na środowisko oraz w decyzji środowiskowej. Ogólne zaś zapisy w [28] tu nie wystarczą. Wiadomo zaś, że przy sporządzaniu raportu lub oceny oddziaływania na środowisko wpływ drgań jest najczęściej pomijany. Dwie są główne przyczyny takiego stanu. W rozporządzeniach określających zawartości tych opracowań ocena wpływu wibracji na budynki i ludzi nie jest wymieniona tak wyraźnie jak np. ocena wpływu hałasu. A ponadto wiedza o wpływie wibracji na środowisko nie jest – nawet wśród ekspertów od ochrony środowiska – tak powszechna, jak w przypadku wpływu hałasu. Trzeba też zauważyć, że najczęściej w celu uniknięcia żmudnych uzgodnień środowiskowych inwestor zamiast przebudowy toru zgłasza jego remont, dzięki czemu – zgodnie z przepisami – nie jest zobowiązany do wykonania analiz oddziaływania inwestycji na środowisko. Wszystko to powoduje, że projektanci nawierzchni drogowych (a tramwajowych w szczególności) powielają w kolejnych miejscach konstrukcje wibroizolacji zastosowane w innym miejscu albo opisane przez producentów wibroizolacji. Wiadomo jednak, że skuteczność zastosowanego rozwiązania jest m.in. zależna od typów pojazdów (ściślej: od struktury częstotliwościowej drgań generowanych podczas przejazdów tych pojazdów), od lokalnych warunków geotechnicznych oraz od cech dynamicznych konstrukcji budynku odbierającego drgania. Zdarzają się więc sytuacje, że przyjęta w taki sposób konstrukcja wibroizolacji nie tylko nie doprowadza do redukcji drgań, ale nawet może spowodować zwiększenie wpływu tych drgań w stosunku do sytuacji przed modernizacją.

Dobrym przykładem rozwiązania tego rodzaju problemów jest Uchwała [26] Rady Miasta Stołecznego Warszawy w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego Regionu Dworca Południowego. Podano tam bowiem zobowiązanie dotyczące uwzględnienia wpływu działań dynamicznych generowanych przejazdami pociągów metra na istniejącą i projektowaną zabudowę w otoczeniu tunelu metra.

Nie przedstawiając tu już innych przykładów, trzeba jednak przywołać opisy diagnoz dynamicznych odnoszących się do wpływu drgań komunikacyjnych na obiekty zabytkowe (por. np. [14, 19, 24] oraz [9] w nawiązaniu do [4, 22, 26] a także przykłady podane w [5, 7, 13]) i czytelnika do tych opisów skierować.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Adamczyk J., Targosz J., Ochrona przed drganiami wywołanymi przez transport samochodowy, Seria: Problemy Inżynierii Mechanicznej i Robotyki; Monografie AGH, Kraków, 2000
- [2] Biessikirski A., Ocena oddziaływania intensywności drgań parasejsmicznych na obiekty budowlane przy użyciu skal wpływów dynamicznych, Przegląd Górniczy, nr 6/2014
- [3] BS 6472-1:2008, Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings, Part 1: Vibration sources other than blasting, 2008, British Standard
- [4] Ciesielski R., Kawecki J., Pieronek M., Zięba A., Opinia w sprawie osłony przeciwwstrząsowej kościoła św. Mikołaja w Krakowie położonego w pobliżu linii kolejowej Kraków-Medyka; Politechnika Krakowska, Instytut

Mechaniki Budowli, sierpień 1972

[5] Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E., Ocena wpływów dynamicznych na budynki i ludzi w budynkach (diagnostyka dynamiczna), Wyd. ITB, Warszawa, 1993

[6] DIN 4150-2, Structural vibration, Part 2: Human exposure to vibration in buildings, 1999, German Standard

[7] Instrukcja Nr 348/98: Diagnostyka dynamiczna i zabezpieczenia istniejących budynków mieszkalnych przed szkodliwym działaniem drgań na właściwości użytkowe budynków. (autorzy: Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E.), Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 1998

[8] ISO 10137: Bases for design of structures – serviceability of buildings and walkways against vibration, 2007

[9] Karczmarczyk S., Kawecki J., Kozioł K., Stypuła K., Diagnostyka zabytkowego kościoła z uwzględnieniem wpływu drgań komunikacyjnych; Czasopismo Techniczne, z. 19, Seria: Budownictwo, z. 3-B, Kraków 2011, s. 153–161

[10] Kawecki J., Diagnostyka wpływu drgań komunikacyjnych na budynki i ludzi w budynkach, Transport Miejski i Regionalny, 2006, nr 11, s. 17–27

[11] Kawecki J., Stypuła K., Minimalizacja wpływów dynamicznych komunikacji szynowej na budynki i ludzi w budynkach, Problemy Naukowo-Badawcze Budownictwa, tom VI: Badawczo-Projektowe Zagadnienia w Budownictwie, Wyd. Politechniki Białostockiej, PAN Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, 2008, s. 65–74

[12] Kawecki J., Stecz P., Stypuła K., O konieczności wykonywania obliczeń symulacyjnych wibroizolacji w torze tramwajowym, Czasopismo Techniczne, z. 19, rok 108, Seria: Budownictwo, z. 3-B, Kraków 2011, s. 163–173

[13] Kawecki J., Stypuła K., Zapewnienie komfortu wibracyjnego ludziom w budynkach narażonych na oddziaływania komunikacyjne, Politechnika Krakowska, Kraków 2013.

[14] Kawecki J., Stypuła K., Wpływ drgań generowanych podczas robót drogowych na zabytkowe obiekty budowlane (diagnoza a posteriori), Konferencja Naukowo-Techniczna REW-INŻ., Kraków 2008

[15] Kawecki J., Stypuła K., Błędy w prognozowaniu i diagnostyce wpływów dynamicznych na budynki; Czasopismo Techniczne, seria: Mechanika, 1-M, 2008, s. 127–136

[16] Kawecki J., Metody oceny wpływu oddziaływań parasejsmicznych na obiekty budowlane i ludzi w budynkach, [w.:] Oddziaływania parasejsmiczne przekazywane na obiekty budowlane, (red. Kawecki J.), Kraków 2014, s. 9–52

[17] Kawecki J., Kowalska-Koczwara A.; Analysis of influence of vibrations on humans in buildings in standards approach; Archives of Civil Engineering, LVIII, 2, 2012, s. 223–239.

[18] Kawecki J., Nowelizacja norm dotyczących wpływu drgań na budynki i ludzi w budynkach, Inżynieria i Budownictwo, nr 9/2014, s. 492–495

[19] Kozioł K., Stypuła K., Obliczenia symulacyjne w projektowaniu wibroizolacji nawierzchni szynowych. Wybrane przykłady zastosowań, DROGI Łądowe – Powietrzne – Wodne, Nr 10/2010 (29), s. 95–109

[20] PN-85/B-02170, Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki

[21] PN-88/B-02171, Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach

[22] Rojkowska H., Niewalda W., Dokumentacja z badań historyczno-architektonicznych dla kościoła św. Mikołaja przy ul. Kopernika 9 w Krakowie, Kraków 1995–1997

[23] Stypuła K., Drgania wywołane eksploatacją miejskiego transportu szynowego – Badania i zapobieganie, Transport Miejski i Regionalny, Nr 10, 2006, s. 2–11

[24] Stypuła K., Wybrane aspekty uwzględniania wpływu drgań kolejowych na budynki i ludzi w budynkach w przypadku inwestycji kolejowych, IV Konferencja naukowo-techniczna: Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym, INFRASZYN'2011, Zakopane 6–8 kwietnia 2011 r., s. 211–225

[25] Stypuła K., Wpływ drgań komunikacyjnych na budynki i przebywających w nich ludzi. Materiały Budowlane nr 3, 2009, s. 120–131

[26] Stypuła K. (kierownik zespołu autorskiego), Specjalistyczna ekspertyza konstrukcyjna z wykonaniem pomiarów drgań i dynamicznej analizy komputerowej oraz badań geotechnicznych podłoża gruntowego obiektu kościoła św. Mikołaja przy ul. Kopernika 9 w Krakowie, Politechnika Krakowska, Instytut Mechaniki Budowli, listopad 2009

[27] Uchwała Nr LXXVII/2422/2006 Rady Miasta Stołecznego Warszawy z dnia 22 czerwca 2006 r. w sprawie uchwalenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego regionu tzw. Dworca Południowego, Dziennik Urzędowy Województwa Mazowieckiego Nr 146, poz. 4800

[28] Ustawa Prawo ochrony środowiska z dnia 27.04.2001 r. (Dz.U. z 2001 r., Nr 62, poz. 627)

Referat przedstawiono na X Jubileuszowej Konferencji Naukowo-Technicznej Inżynieryjne Problemy Odnowy Staromiejskich Zespołów Zabytkowych REW-INŻ.2015. Kolejne artykuły z logo Konferencji ukażą się w następujących numerach Przeglądu Budowlanego.

XIV Sympozjum „Wpływy sejsmiczne i parasejsmiczne na budowlę”

Kraków 19-20 listopada 2015 r.

CEL SYMPOZJUM

Celem Sympozjum jest przedstawienie aktualnego stanu wiedzy z zakresu inżynierii sejsmicznej i parasejsmicznej, prezentacja najnowszych prac z tej dziedziny (w tym wyników badań polskich) oraz problemów normalizacji.

KOMITET NAUKOWY

Przewodniczący: prof. dr hab. inż. Tadeusz Tatara

Członkowie: dr hab. inż. Danuta Bryja, prof. dr hab. inż. Andrzej Cholewicki, prof. dr hab. inż. Józef Dubiński, prof. dr hab. inż. Joanna Dulińska, prof. dr hab. inż. Robert Jankowski, prof. dr hab. inż. Janusz Kawecki, prof. dr hab. inż. Piotr Konderla, mgr inż. Mirosław Koziura, prof. dr hab. inż. Jan Kubica, prof. dr hab. inż. Krystyna Kuźniar, dr hab. inż. Arkadiusz Kwiecień, prof. dr hab. inż. Edward Maciąg, dr hab. inż. Grzegorz Mutke, dr hab. inż. Rajmund Oruba, prof. dr hab. inż. Krzysztof Stypuła, prof. dr hab. inż. Zbigniew Zembaty, prof. dr hab. inż. Leonard Ziemiański

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący: prof. dr hab. inż. Krzysztof Stypuła

Sekretarz: dr inż. Alicja Kowalska-Koczwara

Z-ca sekretarza: dr inż. Krzysztof Kozioł

Członkowie: dr inż. Piotr Kuboń, dr inż. Filip Pachla, mgr inż. Paweł Boroń, mgr inż. Izabela J. Murzyn, mgr Milena Ryszka, mgr Grażyna Cholewa

ADRES KOMITETU ORGANIZACYJNEGO

Instytut Mechaniki Budowli
Politechniki Krakowskiej
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
z dopiskiem „Symposium”
tel./fax (012) 628-20-51
e-mail: sympozjum-wsip@pk.edu.pl
www.sympozjum-wsip.pk.edu.pl