

# O zmianach w normie PN-B-02170 dotyczącej oceny wpływu drgań przekazywanych na budynki przez podłoże

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Stypuła, Politechnika Krakowska

## 1. Wprowadzenie

Po wprowadzeniu w naszym kraju eurokodów ustalono, że wszystkie normy sprzed 1993 roku powinny zostać wycofane lub znowelizowane. Dotyczy to także norm, które nie mają swojego odpowiednika w eurokodach. Jedną z nich była norma PN-B-02170:1985 (poprzednio PN-85/B-02170) „Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki”. Biorąc pod uwagę znaczenie tej normy w diagnostyce wpływu drgań podłoża na budynki, zespół pracowników Instytutu Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej podjął się nowelizacji wspomnianej normy. Zespół pracował w składzie<sup>1</sup>: prof. dr hab. inż. Janusz Kawecki (przewodniczący zespołu), prof. dr hab. inż. Krzysztof Stypuła (zastępca przewodniczącego), prof. dr hab. inż. Tadeusz Tatała, dr inż. Krzysztof Koziół, dr inż. Piotr Stecz. Znowelizowana norma o numerze ref. PN-B-02170:2016–12 weszła w życie w grudniu 2016 roku.

## 2. Zakres normy

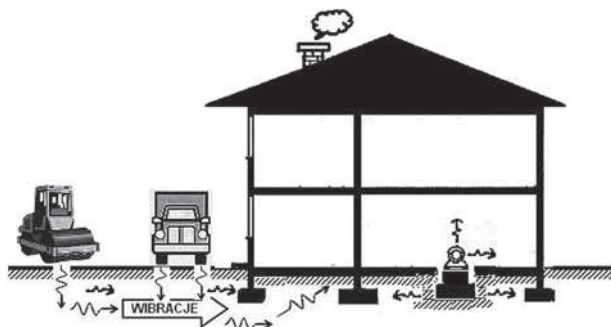
Norma PN-B-02170:2016–12 dotyczy wpływu na budynki drgań, wywołanych działalnością człowieka i przekazywanych przez podłoże na budynki (tzw. drgań parasejsmicznych). Źródła tych drgań mogą znajdować się w obrębie budynków (na oddzielnych fundamentach) albo poza nimi (rys. 1).

Zakres normy obejmuje:

- zasady oceny wpływu drgań przekazywanych przez podłoże na konstrukcję budynków,
- zasady oceny wpływu tych drgań na aparaturę wrażliwą na drgania umieszczoną w budynkach.

Ponadto podano wymagania dotyczące wykonywania pomiarów dynamicznych, których celem jest ocena wpływu drgań na budynki.

Wymagania zawarte w omawianej normie należy stosować zarówno w diagnostyce wpływu drgań pochodzących z eksploatowanych albo projektowanych źródeł drgań na istniejące budynki i urządzenia umieszczone w budynkach, jak



**Rys. 1.** Usytuowanie źródeł drgań przenoszonych przez podłoże (tzw. drgań parasejsmicznych) na zewnątrz i wewnątrz budynku

i w procesie projektowania budynków, które będą znajdować się w obszarze oddziaływania drgań pochodzących z eksploatowanych albo projektowanych źródeł drgań.

## 3. Zasadnicze zmiany wprowadzone w ramach nowelizacji

Zastępując normę PN-B-02170:1985 znowelizowaną wersją PN-B-02170:2016–12, wprowadzono następujące zmiany:

- uściślono kryteria pominięcia w obliczeniach wpływu drgań przekazywanych na budynki przez podłoże;
- wprowadzono metodę THA (*Time History Analysis*) jako podstawową metodę obliczeniową przy jednoczesnym dopuszczeniu metod uproszczonych i podaniu warunków ich stosowania;
- w ocenie wpływu drgań na konstrukcję budynków za pomocą skal SWD przyjęto przyspieszenia i prędkości drgań jako podstawowe wielkości opisujące ruch elementów konstrukcji (przemieszczeniowe wersje skal SWD-I i SWD-II zostały zastąpione wersjami w układzie prędkość-częstotliwość);
- uściśleniu uległ opis kryteriów oceny drgań przekazywanych na budynki za pomocą skal SWD;
- wprowadzono pojęcie wskaźnika odczuwalności drgań przez budynki (WODB);
- uściślono opis wymagań dotyczących pomiarów dynamicznych;
- usunięto załącznik zawierający zestawienie wzorów do obliczania przybliżonych wartości niektórych charakterystyk dynamicznych budynków.

<sup>1</sup> Poprzednią wersję normy PN-85/B-02170 opracował zespół pracowników Instytutu Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej w składzie: prof. dr hab. inż. Roman Ciesielski (przewodniczący zespołu autorskiego), doc. dr hab. inż. Janusz Kawecki, doc. dr hab. inż. Edward Maciąg, mgr inż. Ryszard Masłowski, mgr inż. Mieczysław Pieronek, dr inż. Krzysztof Stypuła.

#### 4. Kryteria pominięcia w obliczeniach wpływu drgań przekazywanych na budynki przez podłoże

Utrzymano dotychczasowe kryterium, że w projektowaniu budynków można pominąć wpływ drgań przekazywanych przez podłoże, jeśli amplituda przyspieszeń składowych poziomych drgań podłoża w miejscu posadawienia budynku nie przekracza wartości  $0,05 \text{ m/s}^2$ . Kierując się tym kryterium, przyjęto, że w przypadku przeciętnych warunków geotechnicznych występujących na drodze propagacji od źródła drgań do budynku oraz płaskiego ukształtowania terenu można w obliczeniach projektowych budynku pominąć oddziaływanie drgań przekazywanych przez podłoże na budynek, jeżeli projektowany budynek będzie znajdował się w odległości większej niż:

- 25 m od osi toru kolejowego,
  - 15 m od osi toru tramwajowego albo od osi najbliższego pasa drogi kołowej I kategorii lub ulicy przelotowej,
  - 20 m od źródła drgań wywołanych pracami budowlanymi (wbijanie pali i ścianek szczelnych, wibromoty itp.),
  - 60 m od trasy poruszania się drogowych walców wibracyjnych.
- W przypadku innych źródeł drgań (np. prace strzałowe w kamieniołomach) można ten wpływ pominąć w odniesieniu do budynków projektowanych, usytuowanych poza obszarem tzw. strefy wpływu sejsmicznego.

W normie wyraźnie podkreślono, że podane warunki pominięcia wpływu na konstrukcję budynku drgań przekazywanych przez podłoże nie mogą być stosowane w opracowaniach diagnostycznych. Nie wolno ich zatem stosować w ocenie wpływu drgań na istniejące budynki. Przykładowo wbijanie w grunt pali Franki może w istniejących sąsiednich budynkach usytuowanych nawet do odległości ok. 60 m od wbijanego pala powodować rysy i inne uszkodzenia w zależności m.in. od konstrukcji budynku oraz jego stanu technicznego.

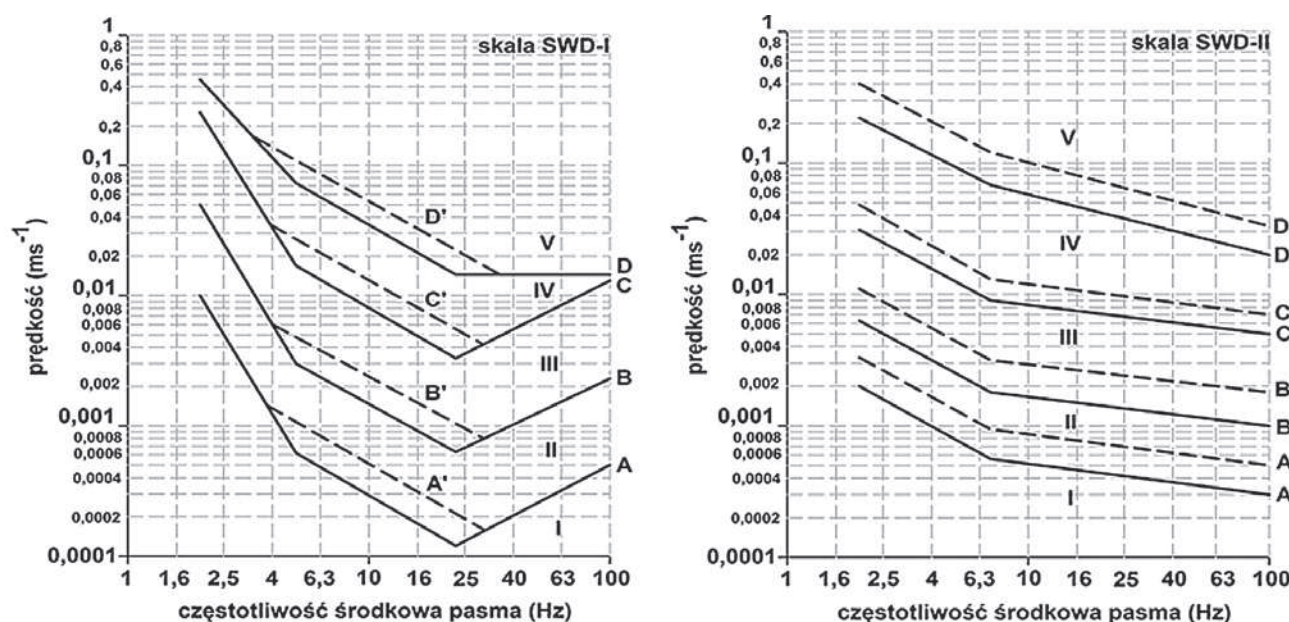
Na marginesie należy dodać, że również kardynalnym błędem jest stosowanie tego kryterium do oceny wpływu drgań na podstawie pomiaru drgań wykonanego na konstrukcji budynku, podczas gdy kryterium to odnosi się wyraźnie do drgań powierzchniowych gruntu w miejscu przyszłego posadowienia projektowanego budynku. Stosując kryterium ograniczenia drgań poziomych do  $0,05 \text{ m/s}^2$  w odniesieniu do drgań pomierzonych na budynku, zamiast na gruncie, pomija się wpływ interakcji dynamicznej grunt-budynek, a tym samym zawyża się to kryterium (czasami nawet o rząd wielkości).

#### 5. Przybliżone metody sprawdzania wpływu drgań na budynki – skale SWD

Zakres możliwości stosowania skal SWD poszerzono o budynki z wielkiej płyty. Jedną z istotnych zmian jest rezygnacja ze skal SWD-I i SWD-II w układzie współrzędnych częstotliwość – przemieszczenie drgań i wprowadzenie na to miejsce skal w układzie współrzędnych częstotliwość – prędkość drgań (rys. 2). Skale SWD w układzie współrzędnych częstotliwość – przyspieszenie drgań pozostały nadal (rys. 3). Zmieniono opisy strefy I, linii A i strefy II na następujące:

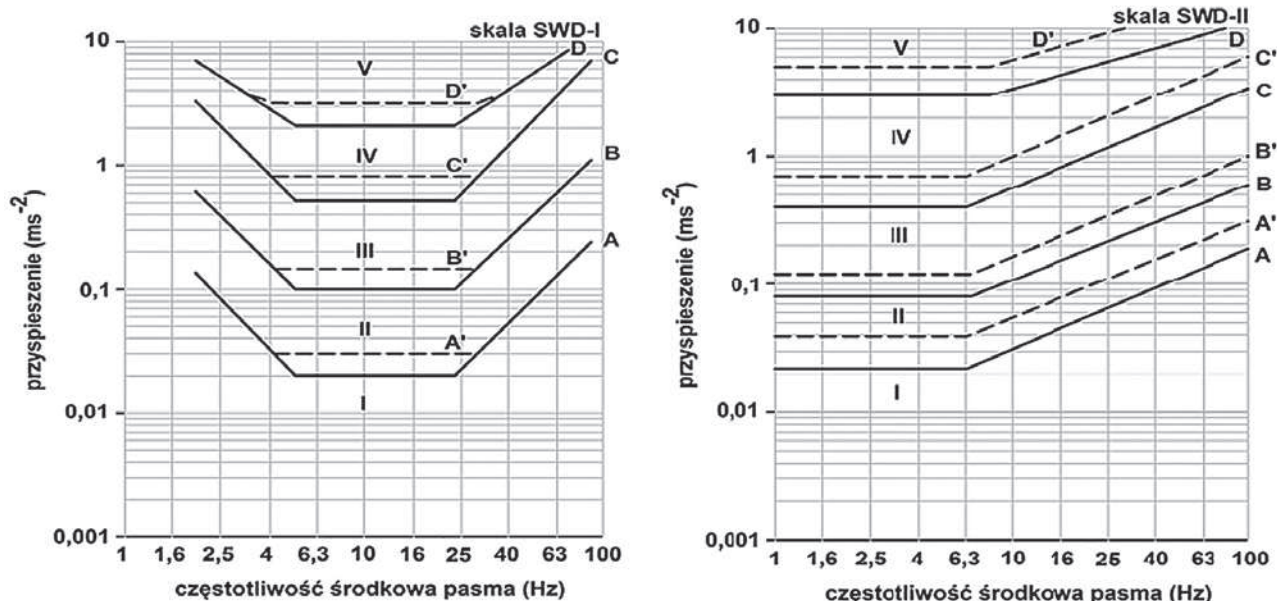
- strefa I – drgania pomijalne w ocenie wpływu drgań na budynek;
- linia A – dolna granica uwzględnienia wpływów dynamicznych na budynek; przy drganiach poniżej tej granicy można nie uwzględniać wpływów dynamicznych;
- strefa II – drgania nieszkodliwe dla konstrukcji; można jednak spodziewać się przyspieszonego zużycia budynku i pierwszych rys w wyprawach, tynkach, zarysowania w narożnikach ścian i w fasetach itp.

Zmienione określenia strefy I i linii A podkreślają praktyczną kwestię możliwości pominięcia wpływów dynamicznych. Natomiast zmiany w określeniu strefy II podyktowane zostały faktami wadliwej (a czasem wręcz „naciąganej”) interpretacji

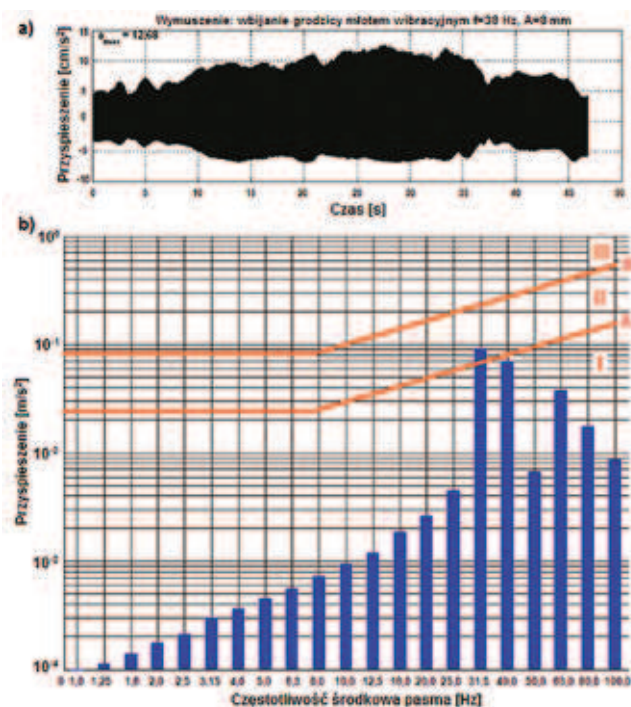


Rys. 2. Skale SWD-I i SWD-II podane we współrzędnych: częstotliwość środkowa pasma 1/3-oktawowego – maksymalna prędkość drgań w paśmie [3]





**Rys. 3.** Skale SWD-I i SWD-II podane we współrzędnych: częstotliwość środkowa pasma 1/3-oktawowego – maksymalne przyspieszenie drgań w paśmie [3]



**Rys. 4.** Wibrogram przyspieszeń drgań budynku (a) i ocena wpływu tych drgań na budynek (b) za pomocą skali SWD-II, w tym przypadku wskaźnik WODB o wartości ok. 1,29 uzyskano w paśmie o częstotliwości środkowej 31,5 Hz

poprzedniego zapisu, który brzmiał: „strefa II – drgania odczuwalne przez budynek, ale nieszkodliwe dla konstrukcji; następuje tylko przyspieszone zużycie budynku i pierwsze rysy w wyprawach i tynkach itp.”. Zdarzało się nazbyt często, że eksperci interpretując drgania w strefie II, poprzestawali w ekspertyzach na zacytowaniu pierwszej części określenia, tj. „strefa II – drgania odczuwalne przez budynek, ale nieszkodliwe dla konstrukcji”, stwarzając wrażenie, że drgania te nie powodują żadnych uszkodzeń. Obecny zapis podkreśla, że drgania sklasyfikowane

w strefie II mogą powodować przyspieszone zużycie budynku i powstawanie uszkodzeń niekonstrukcyjnych.

## 6. WODB – wskaźnik odczuwalności drgań przez budynki

Do normy zostało wprowadzone pojęcie wskaźnika WODB (Wskaźnik Odczuwalności Drgań przez Budynki) zdefiniowanego następująco: największa spośród wyznaczonych w poszczególnych pasmach 1/3-oktawowych wartości stosunku maksymalnych wartości prędkości lub przyspieszenia drgań wyznaczonych w wyniku analizy wibrogramu w pasmach 1/3-oktawowych do wartości prędkości albo przyspieszenia odpowiadającej dolnej granicy uwzględnienia wpływów dynamicznych na budynki objęte skalami SWD w tym samym paśmie częstotliwości. Ideę tego wskaźnika przedstawiono na rysunku 4. Aby nie zgubić informacji w dziedzinie częstotliwości, należy podawać wartość wskaźnika WODB łącznie z wartością częstotliwości środkowej pasma 1/3-oktawowego, w którym ten stosunek wyznaczono.

Wskaźnik WODB informuje o tym, jak odległe są parametry drgań występujących w budynku od najniższej linii granicznej (linia A) tj. dolnej granicy uwzględnienia wpływów dynamicznych na budynek A ( $WODB \leq 1$ ) albo ilokrotnie granica ta została przekroczona ( $WODB > 1$ ). Wskaźnik ten jest szczególnie przydatny przy porównywaniu ocen odnoszących się do wielu budynków.

## 7. Uściślenie opisu wymagań dotyczących pomiarów dynamicznych

W normie zamieszczono Załącznik A, zatytułowany „Wymagania dotyczące pomiarów drgań”. Zawiera on m.in. przedziały wartości mierzonych parametrów drgań:

- częstotliwość: od 0,5 Hz do 100 Hz ( $\pm 5\%$ ),



**Rys. 5.** Zasady rozmieszczenia punktów pomiarowych i składowe mierzonych drgań ( $x, y, z$ ): a) przy wyznaczaniu poziomych sił bezwładności na poszczególnych kondygnacjach na podstawie pomiaru przyspieszeń, b) przy wyznaczaniu parametrów wymuszenia kinematycznego na istniejącym budynku, c) przy stosowaniu skal SWD do oceny wpływu drgań na konstrukcję budynku

- prędkość: od  $10^{-4} \text{ ms}^{-1}$  do  $1 \text{ ms}^{-1}$ ,
- przyspieszenie: od  $10^{-3} \text{ ms}^{-2}$  do  $10 \text{ ms}^{-2}$ .

Czujniki należy mocować bezpośrednio do konstrukcji budynku w sztywnych węzłach konstrukcji, od strony źródła drgań. Podano także zasady, jakimi należy się kierować rozmieszczając punkty pomiarowe [3]:

- jeżeli zmierzone parametry drgań będą służyć do wyznaczenia poziomych sił bezwładności działających na budynek, to punkty pomiarowe ( $x, y$ ) umieszcza się w poziomach stropów (rys. 5a),
- w przypadku, gdy pomiar stanowi podstawę do oceny wymuszenia kinematycznego na budynek istniejący, to punkt pomiarowy (pomiar drgań w trzech kierunkach:  $x, y, z$ ) umieszcza się od strony źródła drgań w sztywnym węzle konstrukcji (na przecięciu ścian nośnych w dwóch kierunkach) znajdującym się na fundamencie budynku (punkt 1 na rysunku 5b) albo w sztywnym węzle na ścianie kondygnacji podziemnej budynku w poziomie otaczającego terenu (punkt 2 na rysunku 5b),
- w przypadku, gdy pomiar stanowi podstawę do oceny wymuszenia kinematycznego na budynek projektowany, należy przyjąć punkt pomiarowy (pomiar drgań w trzech kierunkach:  $x, y, z$ ) na gruncie w miejscu przewidzianego usytuowania budynku i ustabilizować go za pomocą krzyżaka zagłębionego w gruncie,
- w celu przybliżonej oceny prowadzonej z wykorzystaniem skal SWD punkt pomiarowy (pomiar w dwóch kierunkach poziomych:  $x, y$ ) umieszcza się od strony źródła drgań, w sztywnym węzle konstrukcji (na przecięciu ścian nośnych w dwóch kierunkach) znajdującym się na fundamencie budynku (punkt 1 na rysunku 5c) albo w sztywnym węzle na ścianie kondygnacji podziemnej w poziomie otaczającego terenu (punkt 2 na rysunku 5c).

## 8. Podsumowanie

Wśród najczęściej popełnianych błędów w diagnostyce wpływu drgań na konstrukcję budynków, można wymienić poniższe. Pomiar drgań źle dobraną aparaturą:

- o niewłaściwym zakresie pomiarowym wielkości mierzonej (za małym lub za dużym),

- o niewłaściwym zakresie pomiarowym w dziedzinie częstotliwości (np. o zakresie do pomiarów akustycznych, tj. do ok. 16 000 do 20 000 Hz),
  - o niewłaściwej (zbyt małej) czułości – w normie PN-B-02170:2016–12 podano, że w przypadku akcelerometrów ich czułość nie powinna być mniejsza niż 1 V/g, przy zalecanej czułości 10 V/g, natomiast w przypadku geofonów ich czułość nie powinna być mniejsza niż 15 V/ms<sup>-1</sup>,
  - aparaturą do pomiarów akustycznych z wbudowanymi filtrami RMS, która podaje wartości skuteczne wielkości mierzonej zamiast wartości szczytowych (maksymalnych),
  - aparaturą, która nie pozwala na rejestrację i późniejszy wybór odcinków wibrogramu do analizy zgodnie z normą.
- Pomiar drgań w niewłaściwych miejscach:

- mocowanie czujnika w miejscu niezwiązany z konstrukcją: odparzone tynki, warstwa ocieplenia, parapety okien, oddylatowane od budynku ganki i wiatrołapy itd.,
- pomiar w miejscu „zerowym” postaci drgań konstrukcji budynku,
- w miejscach niezgodnych z podanymi w normie zasadami rozmieszczenia punktów pomiarowych itd.

Niewłaściwe stosowanie skal SWD:

- zastosowanie skal SWD do oceny wpływu drgań na konstrukcję nie podlegającą ocenie tymi skalami (np. do monolitycznych konstrukcji żelbetowych, do konstrukcji stalowych, szkieletowych, do budynków wysokich itd.),
- zastosowanie skal SWD do oceny wpływu drgań pionowych na konstrukcję budynku.

Bardziej szczegółowy opis i dalsze przykłady błędów popełnianych w diagnostyce wpływu drgań na budynki i na ludzi w budynkach można znaleźć w pracach [1] i [2].

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Kawecki J., Stypuła K., Błędy w prognozowaniu i diagnostyce wpływów dynamicznych na budynki, Czasopismo Techniczne, z. 1- M/2008, zeszyt 1/2008 (rok 105), Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2008, str. 127–136
- [2] Kawecki J., Stypuła K., Jeszcze raz o błędach w diagnozach dotyczących oceny wpływów dynamicznych na budynki oraz ludzi w budynkach. Awarie Budowlane: zapobieganie, diagnostyka, naprawy, rekonstrukcje: XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna, Szczecin-Międzyzdroje, 21–24 maja 2013, str. 243–250
- [3] PN-B-02170:2016–12. Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki