

dr hab. inż. Andrzej Ambroziak, prof. PG¹⁾
mgr inż. Maciej Malinowski¹⁾
dr inż. Anna Banaś¹⁾
dr inż. Arkadiusz Sitarski¹⁾

Ocena wpływu drgań przekazywanych na budynek przez agregat prądotwórczy

Evaluation of vibrations transmitted into the building by a power generator

DOI: 10.15199/33.2019.10.

Streszczenie. W artykule opisano zakres badań polowych niezbędnych do określenia poziomu drgań w budynku biurowo-usługowym podczas pracy agregatu prądotwórczego zlokalizowanego na dachu tego budynku. Dokonano oceny szkodliwości pomierzonych drgań na budynek i ludzi, którzy się w nim znajdują. Przedstawiono także krótki przegląd literatury dotyczącej oceny szkodliwości oddziaływań dynamicznych na budynki lub ludzi.
Słowa kluczowe: drgania; wpływ na budynek; wpływ na ludzi; agregat prądotwórczy.

Abstract. All necessary tests carried out to measure a level of dynamic vibrations in office-service building during working of power generator on building roof are described. The evaluation of the harmfulness of buildings vibrations and influence on humans in buildings is performed. In addition, a short literature review of dynamic vibrations assessment on building and people is presented.

Keywords: vibrations; influences on building; influences on people; power generator.

Jednym ze sposobów zapewnienia ciągłości dostaw energii elektrycznej na wypadek przerw w jej dostawie jest wyposażenie budynku w generatory prądu elektrycznego, które są lokalizowane np. na kondygnacji technicznej lub na dachu budynku. Producenci agregatów prądotwórczych deklarują, że 80 ÷ 85% wibracji generowanych przez te urządzenia odpowiednio wykonstruowane ulegą tłumieniu. Niewytłumiona część oddziaływań dynamicznych może wpływać niekorzystnie na budynek lub znajdujących się w nim ludzi. Tematyka ta jest chętnie podejmowana w pracach naukowych i inżynierskich. Kawecki i Stypuła [1] dokonali przeglądu wielu opracowań diagnostycznych oraz publikacji opisujących wyniki badań, a następnie zestawili najczęściej występujące błędy oceny wpływu drgań na budynki z wykorzystaniem skal SWD. Stypuła i Kozioł [9] przeprowadzili numeryczną analizę wpływu drgań od przejazdów metra na ludzi znajdujących się w ośmiokondygnacyjnym budynku. Szmygin i inni [10] opisują problematykę drgań stropów w budynkach przemysłowych o konstrukcji stalowej, w których zaprojektowali niezbędne modyfikacje w celu ograniczenia wpływu drgań. Ola-

sek i inni [5] badali konstrukcje schodów na stadionie pod ekstremalnymi obciążeniami statycznymi i dynamicznymi. Kawecki [2] opisuje kryteria oceny wpływu drgań komunikacyjnych na budynku zabytkowe i ludzi w budynkach. Major i Minda [4] przedstawili ocenę wpływu oddziaływań dynamicznych na konstrukcje budowlane oraz na ludzi znajdujących się wewnątrz budynku, a Kuźniar i Tatara [3] ocenę szkodliwości drgań pochodzenia górniczego w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym.

Projektowanie budowli, budynków i ich elementów z uwagi na mogące się pojawić oddziaływania dynamiczne jest ważnym i odpowiedzialnym zagadnieniem. W związku z tym, projektanci powinni z odpowiednio dużą starannością dokonywać oceny możliwości wystąpienia negatywnych oddziaływań dynamicznych. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [8] nakłada na inwestora i projektanta budynku o pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi obowiązek lokalizacji budynku poza zasięgiem uciążliwości i negatywnych oddziaływań, w tym poza zasięgiem hałasu i drgań – wibracji (§ 11.2 [8]). W związku z tym, wartość skutecznego przyspieszenia drgań $a_{rms}(f)$ w pasmach 1/3-oktawowych w analizo-

wanych kierunkach drgań powinna spełniać warunek określony w PN-B-02171 [7]:

$$a_{rms}(f) \leq a_1(f) \cdot n \quad (1)$$

gdzie:

$a_1(f)$ – wartość skuteczna przyspieszenia odpowiadająca progowi odczuwalności drgań przez człowieka w odniesieniu do pasma 1/3-oktawowego o częstotliwości środkowej f ;
 n – współczynnik uwzględniający wpływ na wymagany komfort wibracyjny charakteru i powtarzalności drgań, przeznaczenia pomieszczenia oraz pory dnia, w której człowiek przebywający w budynku narażony jest na oddziaływanie drgań.

Zgodnie z PN-B-02171, w budynkach biurowych, bez względu na porę dnia (dzień/noc), $n = 4$ w przypadku drgań występujących stale oraz krótkotrwale o powtarzalności zdarzeń większej niż 10/dobę oraz $n = 64$ w przypadku drgań krótkotrwałych o powtarzalności zdarzeń nieprzekraczających 10/dobę. Czas trwania uciążliwości od hałasu i drgań (wibracji) można podzielić na krótkotrwały (nie przekracza 3 min/dobę), długotrwały (przekracza 3 min/dobę, ale nie jest dłuższy niż 30 min) i stały (przekracza 30 min/dobę).

W ocenie szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynek zgodnie z wytycznymi PN-B-02170 [6], projektant może pominąć wpływ drgań przekazywanych przez podłoże na budynek w przypadku, gdy amplituda składowych poziomych drgań podłoża w miejscu posadowienia budynku nie

¹⁾ Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Ładowej i Środowiska

^{*}) Adres do korespondencji: ambrozan@pg.gda.pl

przekracza $0,05 \text{ m/s}^2$, jeżeli budynek znajduje się: w odległości większej niż 25 m od osi toru kolejowego; w odległości większej niż 15 m od osi tramwajowego albo drogi kołowej I kategorii lub ulicy przelotowej; w odległości większej niż 20 m od źródła drgań wywołanych pracami budowlanymi; w odległości większej niż 60 m od trasy poruszania się drogowych walców wibracyjnych.

Opis badań

Badania polowe przeprowadzono w sześciokondygnacyjnym budynku biurowo-usługowym (pięć kondygnacji nadziemnych oraz jedna podziemna) o konstrukcji żelbetowej monolitycznej, zlokalizowanym w Gdańsku. Celem badań było określenie poziomu drgań oraz ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez agregat pracujący na dachu budynku (fotografia). Zakres przeprowadzonych badań obejmował pomiar składowych pionowych i poziomych przyspieszenia konstrukcji budynku oraz ramy i fundamentu agregatu prądotwórczego zlokalizowanego na dachu budynku. Na podstawie uzyskanych wyników badań określono: przebieg czasowy składowych przyspieszenia budynku; częstotliwość drgań wzbudzonych – analiza FFT; ekstremalne wartości amplitud zarejestrowanych sygnałów przyspieszenia wg analizy terejowej (dla punktów pomiarowych na budynkach). Pomiary drgań prowadzono cyklicznie, w sposób ciągły podczas uruchamiania, pracy i zatrzymywania agregatu prądotwórczego. Przebieg zmienności przyspieszenia drgań budynku mierzono i rejestrowano za pomocą precyzyjnych akcelerometrów pojemnościowych MEMS (czułość akcelerometru: 20 V/g ; poziom szumu akcelerometru: $0,005 \text{ m/s}^2$; błąd akcelerometru: 1%) oraz specjalistycznej aparatury pomiarowej z komputerem z oprogramowaniem sterująco-rejestrującym. Pomiary prowadzono przy słabym zachmurzeniu i temperaturze otoczenia $9 \div 10^\circ\text{C}$. Niepewność rozszerzona toru pomiarowego w przypadku maksymalnego zarejestrowanego przyspieszenia $7,4629 \text{ m/s}^2$ wynosiła $0,3240 \text{ m/s}^2$, a dla $0,4165 \text{ m/s}^2 \div 0,0220 \text{ m/s}^2$ i została określona jako niepewność standardowa pomiaru pomnożona przez współ-



Widok na punkty (a) i stanowisko pomiarowe (b)
View of points position (a) and measuring stand (b)

czynnik rozszerzenia $k = 2$. W przypadku rozkładu normalnego jest to równoznaczne z poziomem ufności wynoszącym w przybliżeniu 95%.

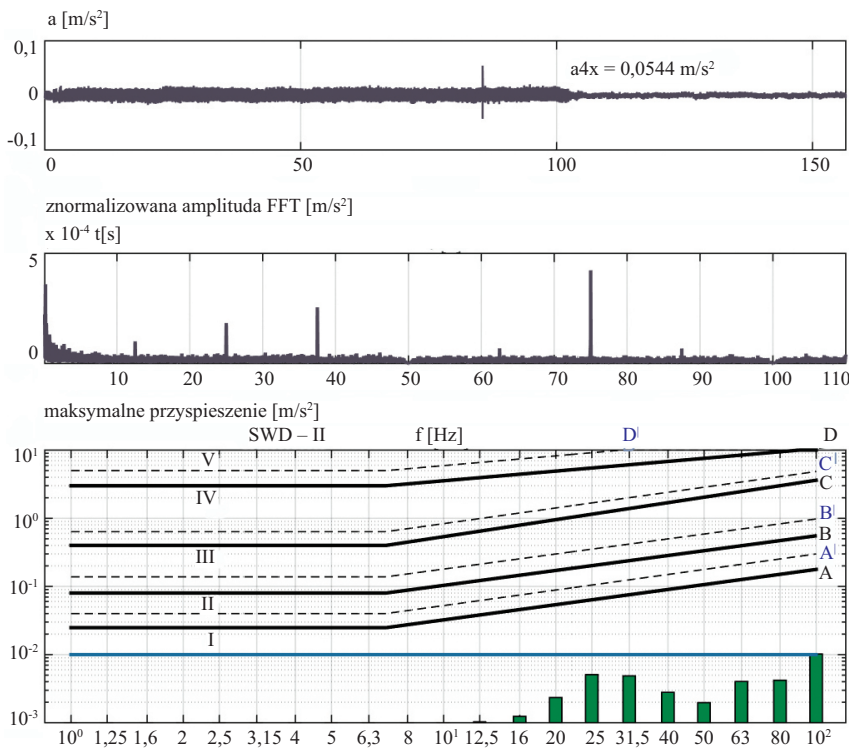
Każdy cykl pomiarowy rozpoczynał się na wyraźny sygnał kierującego badaniami. Pomiar rozpoczął się bezpośrednio przed przekazaniem sygnału drogą radiową do operatora agregatu, a kończył po $20 \div 30 \text{ s}$ od momentu całkowitego zatrzymania się urządzenia.

Ocena szkodliwości drgań

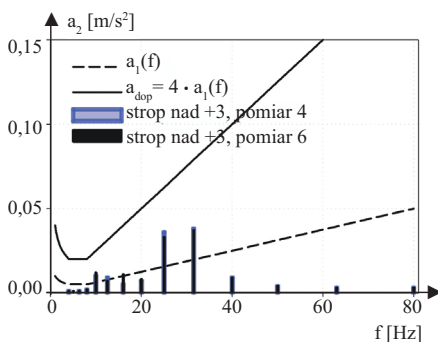
Skutki wpływów dynamicznych na przedmiotowy budynek, wynikających z pracy agregatu prądotwórczego, określono na podstawie skali SWD-II (budynki o wysokości do pięciu kondygnacji) wg PN-B-02170. Przykładowy wykres przebiegu składowych przyspieszenia oraz szybkiej transformaty Fouriera (częstotliwości drgań wzbudzonych) zaprezentowano na rysunku 1. Analizę wpływu drgań przekazywanych na badany budynek wykonano metodą przybliżoną wg skali wpływów dynamicznych SWD-II (linie ciągłe wg PN-B-02170). Punkt 6.2. tej normy mówi, że: w ocenie z zastosowaniem skali SWD należy stosować wibrogramy składowych poziomych drgań, tj. w kierunkach x i y . Zgodnie z wymaganiami PN-B-02170 zarejestrowane sygnały poddano analizie, tj. filtrowaniu w pasmach terejowych (1/3 oktawowych)

w zakresie częstotliwości $0 \div 100 \text{ Hz}$. W przypadku każdej tercji częstotliwości – wyznaczono ekstremalne wartości składowych poziomych przyspieszenia drgań i porównano z wartościami skali SWD. Zarejestrowany przebieg analizy terejowej (wartości ekstremalne amplitud drgań i przyspieszenia w poszczególnych pasmach częstotliwości) w przypadku każdego punktu pomiarowego naniesiono na odpowiednią krzywą skali SWD (rysunek 1). Ekstremalne wartości poziomych amplitud składowych przyspieszenia drgań budynku (w pasmach 1/3 oktawowych) – z wyjątkiem składowej poziomej poprzecznej przyspieszeń słupa wewnętrznego pomiędzy kondygnacjami 3 i 4 – zawierały się w I strefie szkodliwości drgań, a więc były to drgania nieodczuwalne przez budynek. W drganiach poziomych poprzecznych słupa wewnętrznego pomiędzy kondygnacjami 3 i 4 zarejestrowano amplitudy (w pasmach 1/3-oktawowych) w II strefie szkodliwości drgań, co oznacza, że były to drgania odczuwalne, ale nie-szkodliwe dla budynku.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów drgań budynek podczas pracy agregatu prądotwórczego zlokalizowanego na dachu dokonano także oceny wpływu tych drgań na ludzi zgodnie z PN-B-02171. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe porównanie pomierzonych wartości przyspieszenia drgań



Rys. 1. Składowa pozioma przyspieszenia słupka żelbetowego
Fig. 1. Horizontal component of concrete column acceleration



Rys. 2. Wyniki oceny wpływu drgań pionowych na ludzi
Fig. 2. Results of the vertical vibrations assessment on people

ze skutecznymi przyspieszeniami drgań w pasmach 1/3-oktawowych na kierunku pionowym drgań. Wartości skuteczne przyspieszenia drgań pionowych i poziomych $a_{rms}(f)$ w pasmach 1/3-oktawowych spełniają warunek określony

w PN-B-02171 ($a_{rms}(f) \leq a_1(f) \cdot 4$) w przypadku drgań występujących w pomieszczeniach biurowych stale oraz krótkotrwale o powtarzalności zdarzeń większej niż 10 w ciągu doby.

Uruchomienie agregatu prądotwórczego następuje w przypadku braku zasilania z sieci energetycznej. Jego ciągła praca nie powoduje przekroczenia dopuszczalnego przyspieszenia drgań pionowych i poziomych. Wynika z tego, że pomierzone wartości drgań zapewniają ludziom niezbędny komfort wibracyjny.

Podsumowanie

Wyniki badań i ocena oddziaływań dynamicznych na budynek i ludzi znajdujących się w nim podczas pracy agregatu prądotwórczego potwierdzają poprawność przyjętych założeń projekto-

wych (lokalizacji agregatu prądotwórczego na dachu budynku biurowo-usługowego). Pomierzone wartości przyspieszenia drgań pionowych i poziomych nie oddziałują niekorzystnie na konstrukcję budynku oraz zapewniają znajdującym się w nim ludziom niezbędny komfort wibracyjny.

Literatura

[1] Kawecki Janusz, Krzysztof Stypuła. 2007. *Błędy w diagnozach dotyczących oceny wpływów dynamicznych na budynki*. XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane: 267 – 274.

[2] Kawecki Janusz. 2015. „Kryteria oceny wpływu drgań komunikacyjnych na budynki zabytkowe i ludzi w budynkach w ujęciu normowym”. *Przebieg Budowlany* (11): 43 – 50.

[3] Kuźniar Krystyna, Tadeusz Tatar. 2017. „Drgania pochodzenia górniczego gruntu i fundamentu budynku w ocenie ich szkodliwości”. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk* 94: 5 – 14.

[4] Major Maciej, Izabela Minda. 2016. „Drgania i oddziaływania dynamiczne na budynki i budowle”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Budownictwo* Z. 22 (172): 223 – 327. DOI: 10.17512/znb.2016.1.22.

[5] Olasek Piotr, Artur Sakowski, Paweł Nurtek. 2013. *Badania pod ekstremalnymi obciążeniami statycznymi i dynamicznymi konstrukcji schodów na stadionie*. XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane: 267 – 274.

[6] PN-B-02170:2016-12+Ap1:2017-10 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłogę na budynki.

[7] PN-B-02171:2017-06 Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.

[8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2015 poz. 1422 wraz z późniejszymi zmianami).

[9] Stypuła Krzysztof, Krzysztof Kozioł. 2007. „Numeryczna analiza wpływu na ludzi drgań stropów budynku od przejazdów metra”. *Czasopismo Techniczne* (2-B): 99 – 106.

[10] Szmygin Bolesław, Jerzy Podgórski, Jarosław Bęc, Piotr Wielgos, Tomasz Nowicki. 2008. „Rozwiązanie problemu nadmiernych drgań stropów budynku przemysłowego o konstrukcji stalowej”. *Budownictwo i Architektura* (3): 63 – 70.

Przyjęto do druku: 13.08.2019 r.

Artykuły sponsorowane i reklamy publikowane w miesięczniku „Materiały Budowlane” znajdują się w otwartym dostępie na stronie www.materiałybudowlane.info.pl