

DOI: 10.37105/enex.2021.1.05

ENGINEERING EXPERT

RZECZOZNAWCA



Analiza wpływu kolejowych drgań komunikacyjnych na budynek mieszkalny – studium przypadku

Michał BUKAŁA² (ORCID ID: 0000-0002-4172-7754)

Andrzej CHYLA² (ORCID ID: 0000-0001-6647-2375)

Ryszard CHMIELEWSKI¹ (ORCID ID: 0000-0001-5662-9180)

Bartosz JANUSZEWSKI¹ (ORCID ID: 0000-0003-2846-3958)

Leopold KRUSZKA¹ (ORCID ID: 0000-0001-5129-2531)

Paweł OSTATEK² (ORCID ID: 0000-0002-1085-3985)

Kamil SOBCZYK¹ (ORCID ID: 0000-0002-5929-757X)

¹ Wojskowa Akademia Techniczna, Zakład Inżynierii i Infrastruktury Wojskowej, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Polska

² Svantek Sp. z o.o., ul. Strzygłowska 81, 04-872 Warszawa, Polska

Autor do korespondencji: bartosz.januszewski@wat.edu.pl

Streszczenie: W pracy przeprowadzono analizę szkodliwości drgań wywołanych przez ruch pociągów w rejonie stacji kolejowej Radzionków, które zostały przekazane przez podłoże gruntowe na sąsiadujący budynek mieszkalny. Drgania mechaniczne wywołane ruchem pociągów zostały ocenione zgodnie z wymaganiami zawartymi w polskiej normie PN-B-02170:2016-12 i zestawione z dopuszczalnymi wartościami normowymi. Przedstawiono również metodykę prowadzenia badania z uwzględnieniem opisu i lokalizacji punktu pomiarowego oraz charakterystyką wykorzystanej aparatury pomiarowej.

Słowa kluczowe: kolejowe drgania komunikacyjne, podłoże gruntowe, wpływ na budynek.

Oficjalną wersją publikacji jest wersja anglojęzyczna – posiada DOI. Niniejszy plik jest polskojęzyczną wersją.

Zacytuj ten artykuł w następujący sposób:

Bukała M et. al., Analysis of rail traffic vibrations' impact on a residential building. A case study, Engineering Expert, p. 35-49, No. 1, 2021, DOI: 10.37105/enex.2021.1.05

1. Wprowadzenie

Budynki mieszkalne usytuowane w pobliżu ciągów komunikacyjnych – kolejowych, czy też drogowych narażone są na oddziaływania dynamiczne wywołane ruchem pojazdów. Często zabudowania powstałe jeszcze przed II wojną światową znajdują się w małej odległości od ciągów komunikacyjnych. Taka lokalizacja obiektów budowlanych wynikała z niewielkiego natężenia ruchu oraz mniejszej szerokości dróg. Wraz z rozwojem transportu samochodowego i kolejowego w kraju i za granicą zagrożenie drganiami powstającymi podczas przemieszczania się dużych ładunków wzrosło na przełomie ostatnich lat.

Znajomość poziomu oddziaływania drgań na budynki już istniejące, a także na ludzi w nich przebywających ma bardzo duże znaczenie w procesie eksploatacyjnym. Wpływają bowiem one na stan techniczny budynku, koszty eksploatacji, jak również na zmniejszenie bezpieczeństwa i komfortu ludzi w nich przebywających.

Drgania gruntu przenoszone przez ośrodek gruntowy do środowiska miejskiego, takiego jak budynki, po przekroczeniu dopuszczalnych wartości będą miały tendencję do tworzenia deformacji

(Yuan et al., 2011), pęknięć na strukturach powierzchniowych oraz mogą powodować wibracje ścian i stropów (Connolly et al., 2016), (Yang et al., 2018). W analizach parametrów wibracji należy również pamiętać o wpływie drgań na ludzi przebywających w tych obiektach - osoby mieszkające w budynkach mogą być narażone na działanie dynamiczne pochodzące od prowadzonych robót podziemnych, ale również od czynników naziemnych oraz podziemnych stanowiących tło w częstotliwości o różnych zakresach (Vladimir et al., 2017). Coraz częściej w diagnostyce i projektowaniu budynków istnieje potrzeba uwzględnienia tych działań i weryfikacji spełniania wymagań budowlanych dla komfortu wibracyjnego osób przebywających w budynkach (Kawecki and Kowalska-Koczwar, 2011).

W celu właściwej oceny negatywnego wpływu szkodliwości drgań komunikacyjnych na budynki mieszkalne można wykorzystać jedną z wielu norm. Najczęściej w Polsce są stosowane normy:

- niemiecka DIN 4150-3 “Structural Vibration Part 3: Effects of vibration on structures (in German)”;
- polska PN-B-02170:2016-12 “Assessment of the harmfulness of vibrations transmitted through the ground onto buildings” (in Polish).

Polska norma pozwala na bardziej kompleksową ocenę sytuacji drganiowej obiektów budowlanych. Analiza przybliżona szkodliwości drgań opiera się na skali wpływów dynamicznych (SWD) w przypadku dwóch rodzajów budynków:

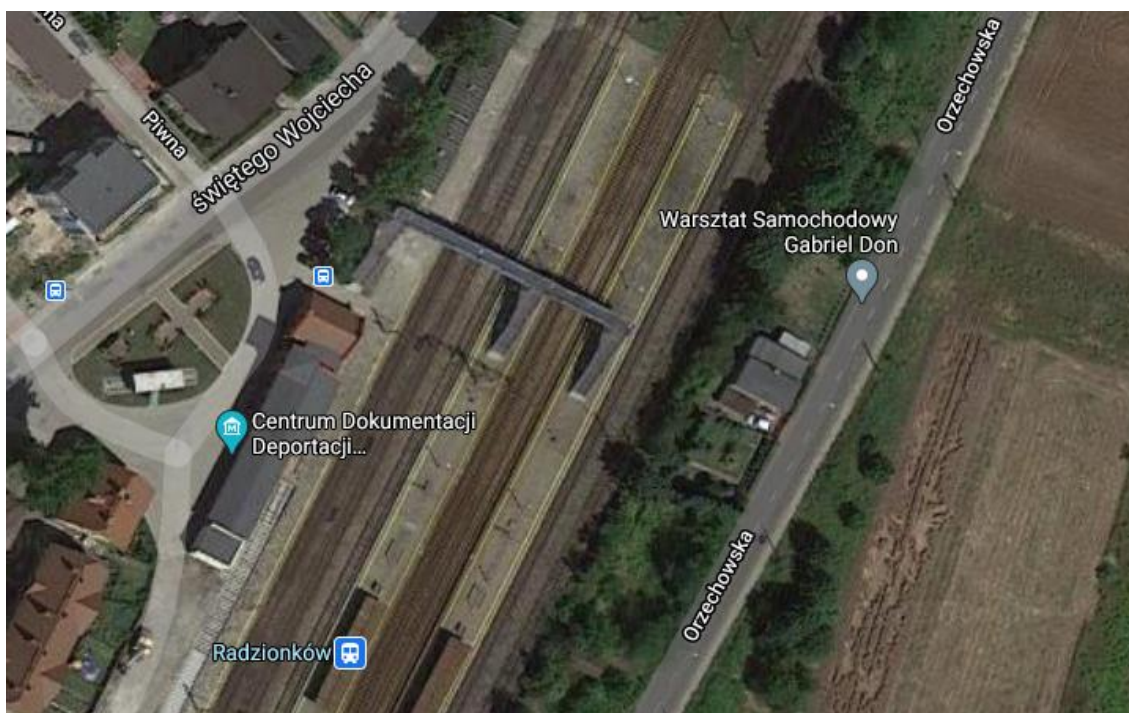
- SWD-I – małych budynków o zwartości planu i wysokość do dwóch kondygnacji wysokości;
- SWD-II – budynków o maksymalnej liczbie pięciu kondygnacji, których wysokość jest mniejsza od podwójnej szerokości jest odpowiednia.

Ocenę wpływu drgań przeprowadzono na podstawie polskiej normy PN-B-02170: 2016-12, która opiera się na analizie zmian amplitudy przyspieszenia w funkcji częstotliwości. W normie intensywność analizowanych drgań podzielono na pięć stref szkodliwości:

- strefa I – drgania nieodczuwalne przez budynek;
- strefa II – drgania odczuwalne przez elementy wykończeniowe budynku (pierwsze rysy w wyprawach i tynkach) powodujące przyspieszone zużycie techniczne budynku, ale nieszkodliwe dla jego konstrukcji nośnej;
- strefa III – drgania szkodliwe dla konstrukcji nośnej budynku, powodujące miejscowe zarysowania i spękania elementów konstrukcyjno-budowlanych, łącznie z odpadaniem wypraw i tynków, osłabiające konstrukcję nośną, zmniejszające jej nośność oraz odporność na dalsze wpływy dynamiczne;
- strefa IV – drgania o dużej szkodliwości dla budynku, zagrażające bezpieczeństwu użytkowania przez ludzi, ponieważ powstają liczne spękania oraz miejscowe uszkodzenia, łącznie z procesem niszczenia przegród murowanych i innych pojedynczych elementów konstrukcyjno-budowlanych budynku, istnieje ryzyko spadania przedmiotów zawieszonych, odpadania fragmentów wypraw tynkarskich sufitów, a także wysuwania się belek stropowych z podparć itp.;
- strefa V – drgania powodujące stan zagrożenia katastrofą budowlaną budynku, budynek nie może być użytkowany.

2. Charakterystyka budynku

Ocenę wpływu kolejowych drgań komunikacyjnych na budynki przeprowadzono na przykładzie budynku mieszkalnego położonego w Radzionkowie – fot. 1. Jest to budynek o dwóch kondygnacjach nadziemnych i jednej podziemnej, o konstrukcji murowej, wzniesiony w 1934 r. W konstrukcji budynku występują spękania i ubytki tynków wewnętrznych i zewnętrznych – fot. 2 – 5. Źródłem drgań jest ruch pociągów po torach kolejowych w rejonie stacji kolejowej Radzionków, z których najbliższy jest oddalony od budynku o około 12 m. Pomiar „in situ” wykonano w okresie od 20.01.2021 r do 27.01.2021 r.



Fot. 1. Lokalizacja obiektu (źródło: <https://www.google.pl/maps>).



Fot. 2. Widoczne naprawiane pęknięcie tynku elewacyjnego rozpoczynające się od górnego naroża otworu okiennego.



Fot. 3. Widoczne włoskowate ukośne pęknięcie tynku elewacyjnego kończące się w miejscu mocowania lampy oświetleniowej.



Fot. 4. Widoczne pęknięcia tynku elewacyjnego w okolicach osłabienia ściany otworami okiennymi.



Fot. 5. Widoczne ukośne pęknięcie tynku elewacyjnego w okolicach osłabienia ściany otworami okiennymi.

3. Metodyka prowadzonych badań

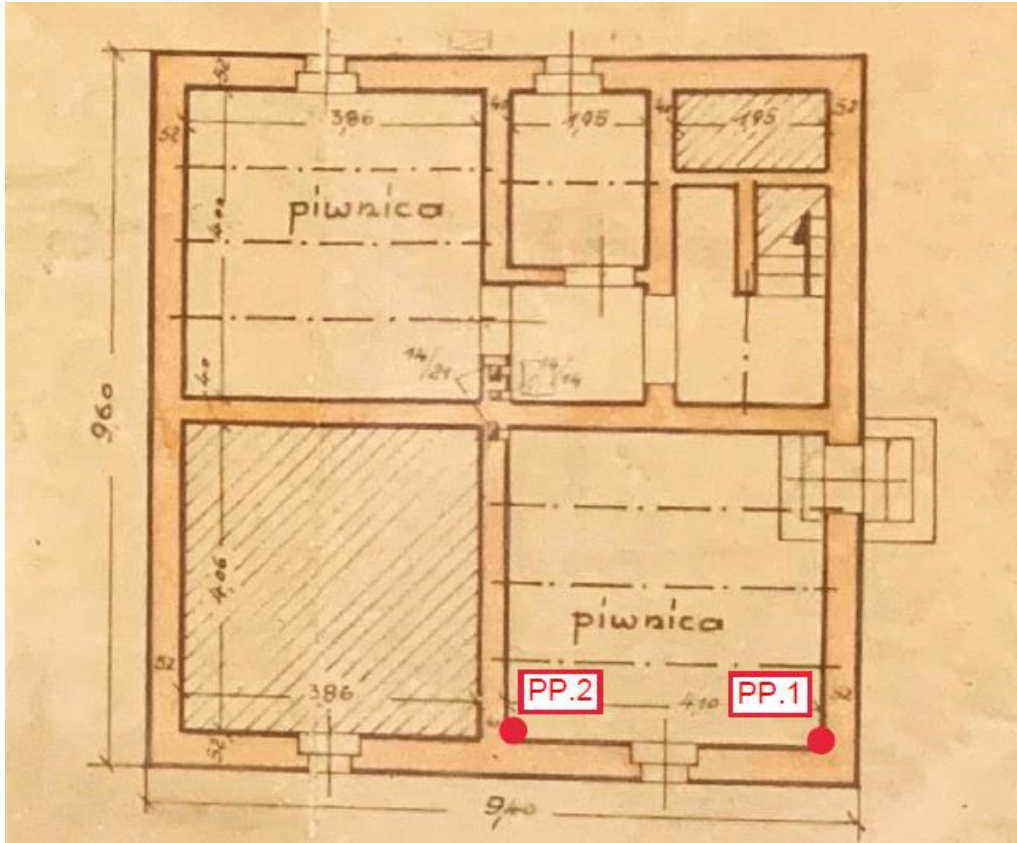
Opracowanie sporządzono o następujące akty prawne i materiały źródłowe:

- rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2017 poz. 2285),
- PN-B-02170:2016-12 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki,
- wizja lokalna przeprowadzona 14.01.2021 r,
- pomiary przeprowadzone od dnia 20.01.2021 r do dnia 27.01.2021 r,
- informacje i materiały dostarczone przez zleceniodawcę,

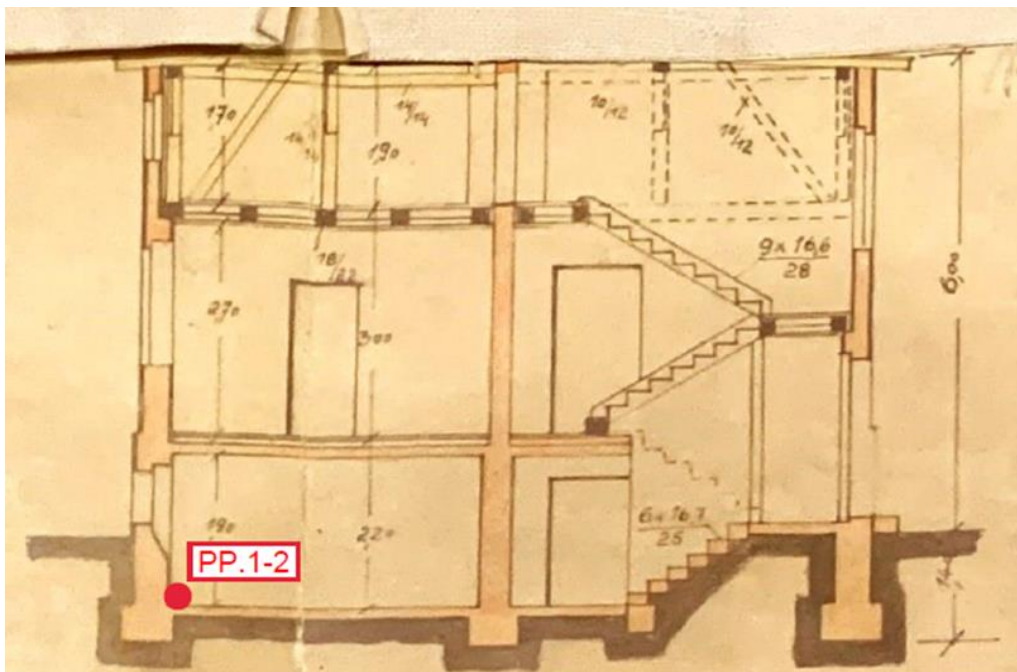
Ocenę wpływu drgań na budynki przeprowadzono według metody przybliżonej na podstawie normy PN-B-02170:2016-12. Analizowany budynek spełnia kryteria stosowalności skali SWD-I. Analizę intensywności przyspieszenia drgań przeprowadzono w pasmach tercjowych w zakresie 1 do 100 Hz.

Do analizy wykorzystano wibrogramy przyspieszenia drgań w funkcji czasu pozyskane z konstrukcji nośnej budynku w wybranych punktach pomiarowych względem dwóch wzajemnie prostopadłych osi X, Y. Rejestrację przeprowadzono w postaci sygnału cyfrowego z częstotliwością próbkowania 750 Hz, co zapewnia użyteczne pasmo częstotliwości 375 Hz. Z zarejestrowanego przebiegu po zastosowaniu filtracji dolnoprzepustowej o częstotliwości odcięcia 120 Hz wyodrębniono pojedyncze zdarzenia wibroakustyczne. Następnie określono czas trwania drgań zgodnie z wymogami normy PN-B-02170:2016-12. Dla każdego okresu drgań określono widmo wartości szczytowych.

Pomiary przeprowadzono w dwóch punktach pomiarowych PP.1 oraz PP.2 usytuowanych w przecięciu ścian konstrukcyjnych w poziomie posadzki kondygnacji podziemnej od strony źródła drgań – rys. 1 i 2.



Rys. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych – rzut kondygnacji podziemnej budynku.



Rys. 2. Lokalizacja punktów pomiarowych – przekrój przez budynek.

Osie pomiarowe zorientowano:

- Oś X (kanał CH1) – poziomo, równoległe do linii kolejowej;
- Oś Y (kanał CH3) – poziomo, prostopadle do linii kolejowej;
- Oś Z (kanał CH2) – pionowo.

Do pomiarów drgań wykorzystano następującą aparaturę:

- miernik poziomu dźwięku i drgań SVAN 958A nr 34581, współpracujący z przetwornikiem drgań SV 84 nr H0364, świadectwo wzorcowania 00016242/10/2020 z 2020-09-07;
- miernik poziomu dźwięku i drgań SVAN 958A nr 36683, współpracujący z przetwornikiem drgań SV84 nr C6143, świadectwo wzorcowania 00016244/10/2020 z 2020-09-07;
- kalibrator drgań mechanicznych SV111 nr 30596, świadectwo wzorcowania 628/06/2018 z 2018-08-22,
- oprogramowanie SVAN PC++,
- osprzęt i okablowanie.

Przetworniki drgań montowane były do konstrukcji budynku (do muru) za pomocą gipsu budowlanego.

4. Wyniki pomiarów

Przed przeprowadzeniem pomiarów dokonano sprawdzenia toru pomiarowego. Wyniki przedstawiono w tabeli 1:

Tabela 1. Wyniki sprawdzeń toru pomiarowego

Przyrząd pomiarowy	Sprawdzenie	Wynik sprawdzenia [m/s ²]			Wartość odniesienia [m/s ²]
		Ch1	Ch2	Ch3	
SVAN 958A nr 34581	Przed pomiarem	0,983	0,984	0,997	0,99
	Po pomiarze	0,983	0,984	0,997	
SVAN 958A nr 36683	Przed pomiarem	0,982	0,978	0,979	0,99
	Po pomiarze	0,982	0,978	0,979	

Pomiary prowadzono w zamkniętym pomieszczeniu na kondygnacji „-1” – rys. 1 i 2. Dostęp do pomieszczenia przez czas pomiaru był ograniczony w celu uniknięcia zakłóceń. Jedynym urządzeniem technicznym znajdującym się w pomieszczeniu był piec węglowy, którego funkcjonowanie nie wpływało na rejestrowane przebiegi. W poniższej tabeli 2 przedstawiono warunki środowiskowe rejestrowane w pomieszczeniu podczas pomiarów.

Tabela 2. Warunki pomiaru

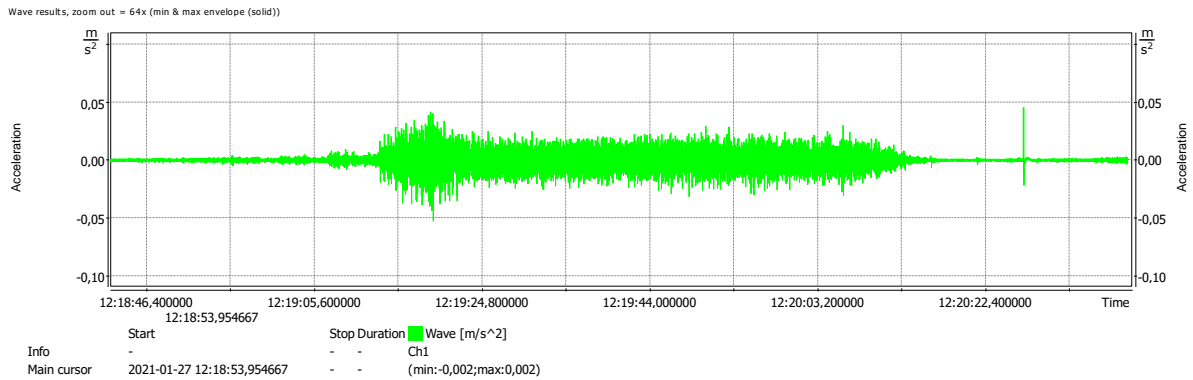
	Wartości maksymalne	Wartości minimalne	Wartości średnie
Temperatura otoczenia [°C]	22,1	15,2	21,5
Ciśnienie atmosferyczne [hPa]	972,5	956,7	963,8
Wilgotność względna [%]	51,3	31,7	34,3
Prędkość wiatru [m/s]	0,0	0,0	0,0
Uwagi:	-		

Podczas pomiarów dokonano rejestracji ciągłej sygnału wibroakustycznego, z którego wyodrębniono 477 zdarzeń wywołanych ruchem kolejowym (przejazdy, zatrzymania, odjazdy pociągów osobowych, towarowych, lokomotyw i pojazdów specjalnych) oraz pracami serwisowymi w rejonie stacji kolejowej Radzionków.

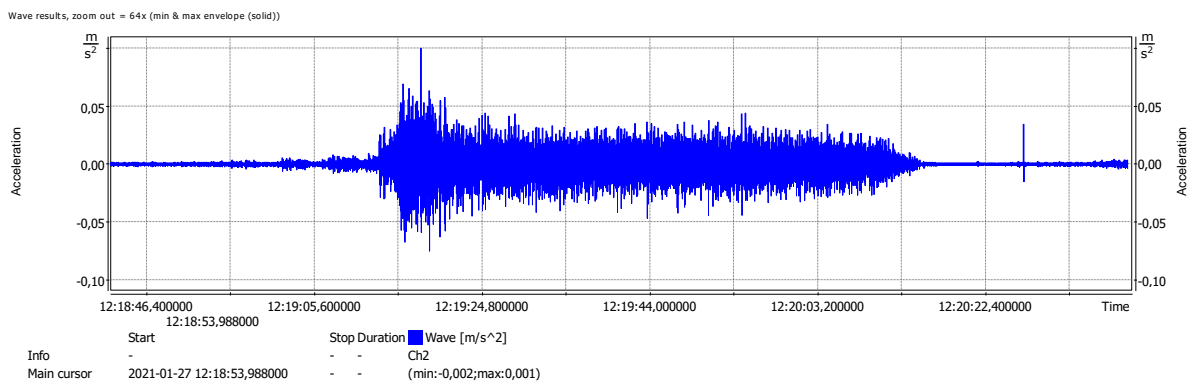
Do prezentacji wybrano 6 zdarzeń o najwyższej wartości współczynnika WODB. Poniższe wykresy na rys. 3 – 8 prezentują wibrogramy dla jednego z 6 ww. zdarzeń – tabl. 3. Wszystkie przedstawione zdarzenia były związane z przejazdami składów towarowych po najbliższym względem budynku torze – fot. 6.



Fot. 6. Stoplatka z rejestratora wideo 12:18:33 27.01.2021.

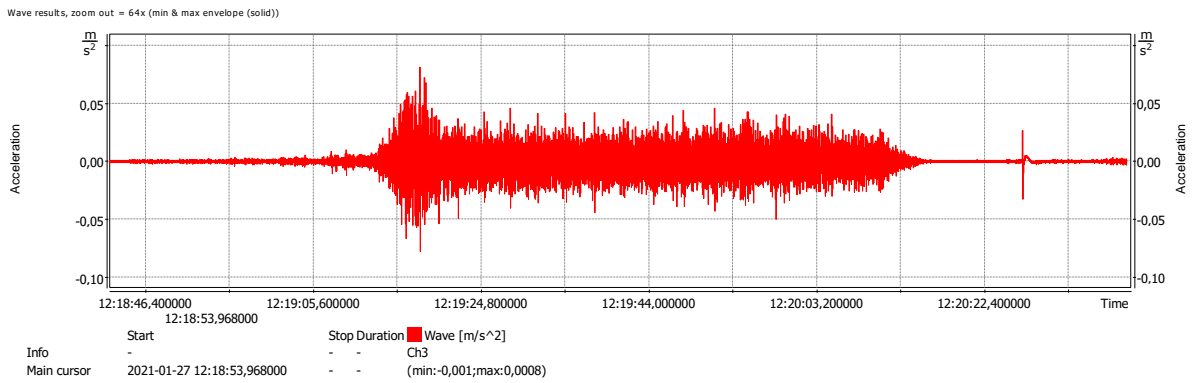


Rys. 3. Zarejestrowany wibrogram dla zdarzenia dnia 27.01.2021 o godzinie 12:18 – PP.1, óś X, kanał Ch1.

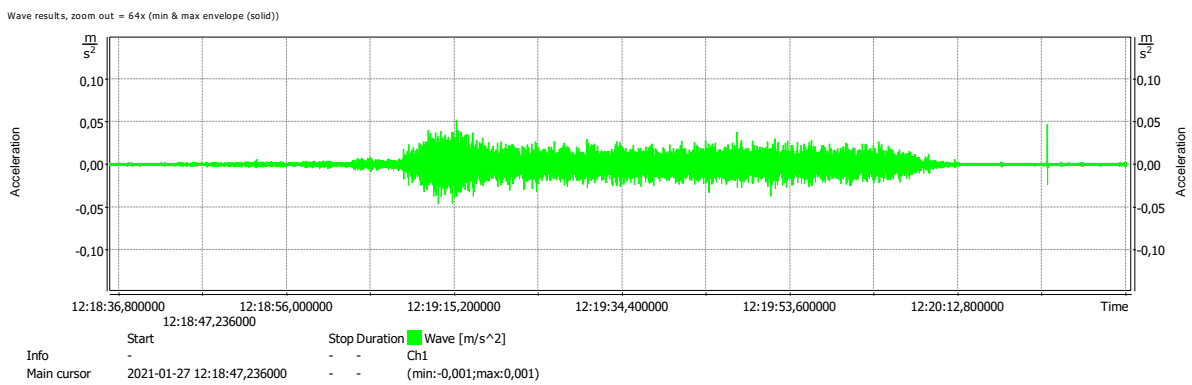


Rys. 4. Zarejestrowany wibrogram dla zdarzenia dnia 27.01.2021 o godzinie 12:18 – PP.1, óś Z, kanał Ch2.

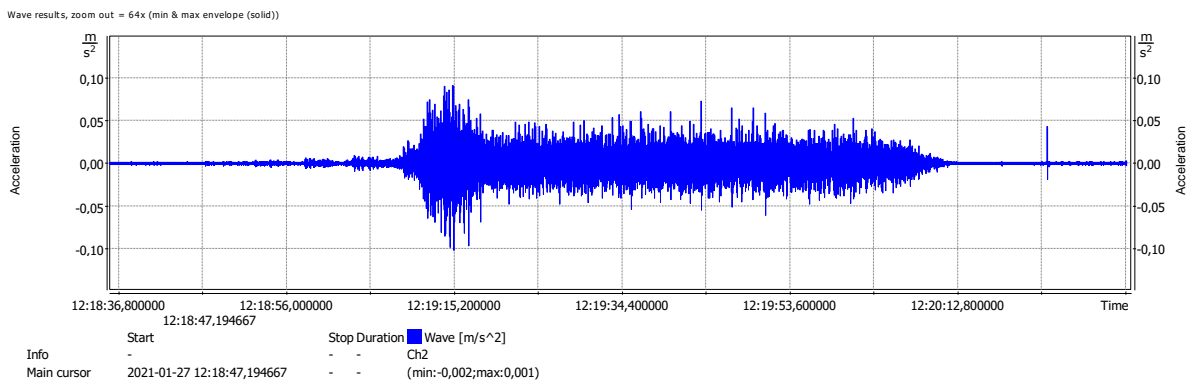
Analiza wpływu kolejowych drgań komunikacyjnych na budynek mieszkalny – studium przypadku



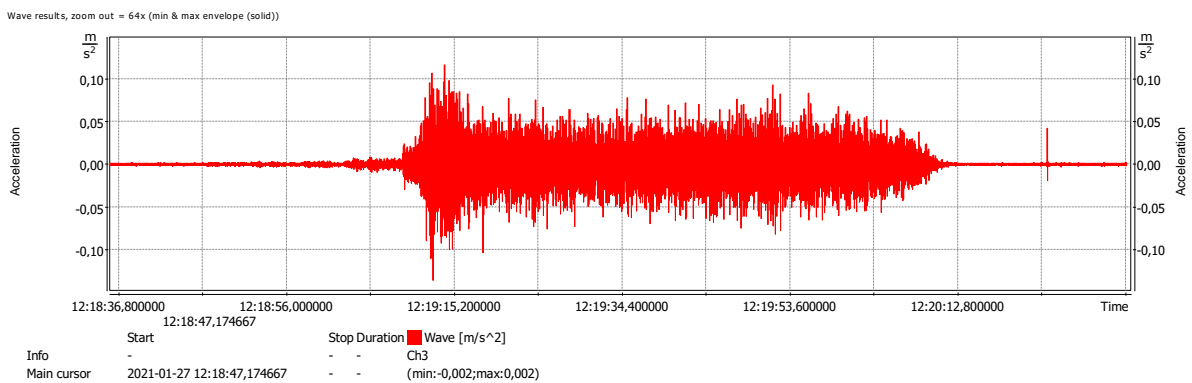
Rys. 5. Zarejestrowany wibrogram dla zdarzenia dnia 27.01.2021 o godzinie 12:18 – PP.1, oś Y, kanał Ch3.



Rys. 6. Zarejestrowany wibrogram dla zdarzenia dnia 27.01.2021 o godzinie 12:18 – PP.2, oś X, kanał Ch1.



Rys. 7. Zarejestrowany wibrogram dla zdarzenia dnia 27.01.2021 o godzinie 12:18 – PP.2, oś Z, kanał Ch2.



Rys. 8. Zarejestrowany wibrogram dla zdarzenia dnia 27.01.2021 o godzinie 12:18 – PP.2, oś Y, kanał Ch3.

Tabela 3. Wyniki pomiarów szkodliwości drgań przenoszonych przez podłoże na budynek

Punkt pomiarowy	Oś X		Oś Y	
	Czas zdarzenia	Wskaźnik odczuwalności drgań przez budynki WODB	Czas zdarzenia	Wskaźnik odczuwalności drgań przez budynki WODB
PP.1	2021-01-22 02:05:27,081	0,59	2021-01-22 02:05:25,861	0,97
PP.1	2021-01-22 16:15:40,485	0,41	2021-01-22 16:15:40,485	0,76
PP.1	2021-01-26 17:51:56,928	0,56	2021-01-26 17:51:55,094	0,77
PP.1	2021-01-27 01:12:37,180	0,89	2021-01-27 01:11:41,920	1,66
PP.1	2021-01-27 12:20:11,285	0,51	2021-01-27 12:20:12,418	0,93
PP.1	2021-01-27 19:51:10,483	0,52	2021-01-27 19:51:09,286	0,66
PP.2	2021-01-22 02:05:28,106	0,63	2021-01-22 02:05:25,857	1,09
PP.2	2021-01-22 16:16:19,306	0,52	2021-01-22 16:16:18,329	1,08
PP.2	2021-01-26 17:51:53,173	0,54	2021-01-26 17:51:51,896	1,04
PP.2	2021-01-27 01:12:35,491	0,74	2021-01-27 01:11:09,630	2,12
PP.2	2021-01-27 12:20:08,954	0,57	2021-01-27 12:20:09,342	1,61
PP.2	2021-01-27 19:51:06,698	0,49	2021-01-27 19:51:04,920	1,39

5. Analiza wyników

Dla stosowanej metodyki pomiarów przyspieszeń drgań oszacowana wartość poziomu niepewności rozszerzonej U_{95} wynosi 10,4%. Laboratorium Badawcze stwierdziło zgodność z wymaganiami zawartymi w normie PN-B-02170:2016-12 odnosząc wynik bezpośrednio do wymagań normatywnych bez uwzględniania niepewności pomiaru. Zastosowana zasada tzw. prostej akceptacji wiąże się z 50% poziomem ryzyka związanego z błędną akceptacją lub błędnym odrzuceniem uzyskanych wyników badań.

Poniżej w tabeli 4 i 5 przedstawiono wartości największych przyspieszeń drgań zarejestrowanych w danym punkcie pomiarowym, w poszczególnych pasmach 1/3-oktawowych oraz wyznaczony wskaźnik odczuwalności drgań przez budynek (WODB) wraz z częstotliwością środkową pasma częstotliwości, w którym wystąpiła największa wartość stosunku maksymalnych wartości przyspieszenia drgań do wartości przyspieszenia odpowiadającego dolnej granicy uwzględnienia wpływów dynamicznych (fWODB).

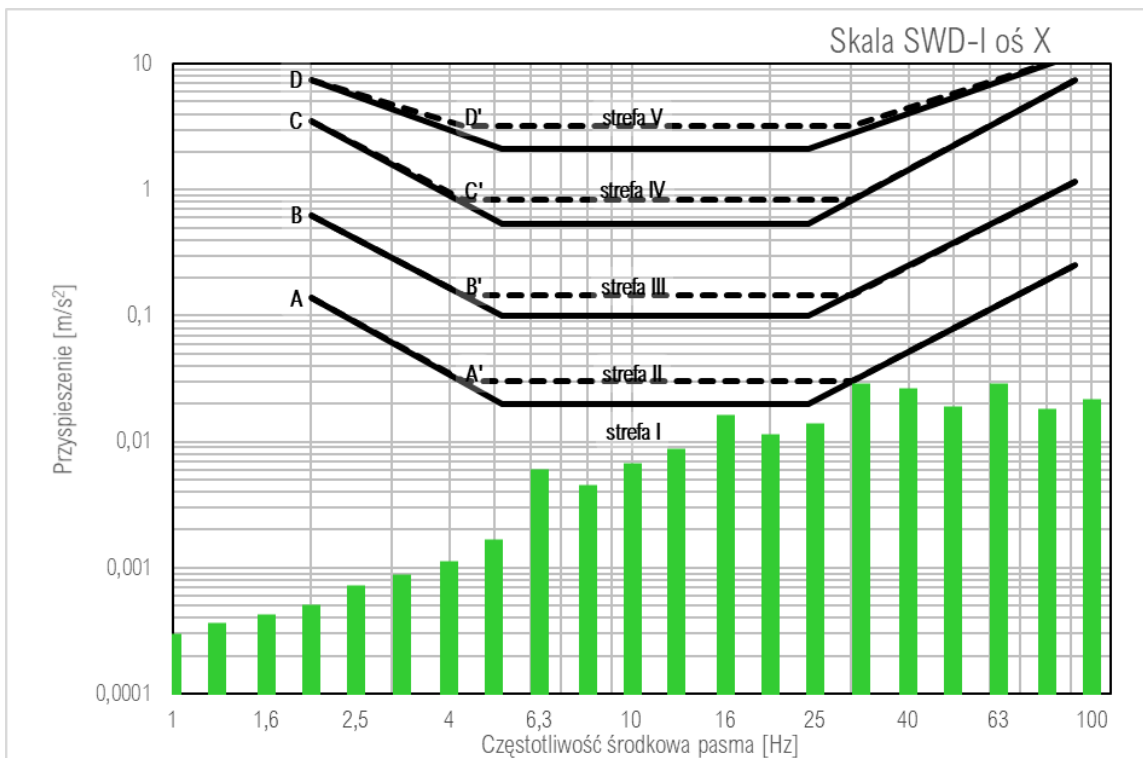
Tabela 4. Wyniki pomiarów drgań przekazywanych przez podłoże na budynek.

WYNIKI POMIARU – punkt pomiarowy PP.1			
f [Hz]	Szczytowa wartość przyspieszenia drgań a_{peak} [m/s ²]		
	X	Y	Z nie podlega ocenie
0,8	0,00091	0,00175	0,00011
1	0,00030	0,00082	0,00019
1,25	0,00036	0,00083	0,00026
1,6	0,00043	0,00085	0,00036
2	0,00051	0,00081	0,00042
2,5	0,00072	0,00082	0,00056
3,15	0,00088	0,00080	0,00067
4	0,00111	0,00093	0,00084
5	0,00167	0,00109	0,00187

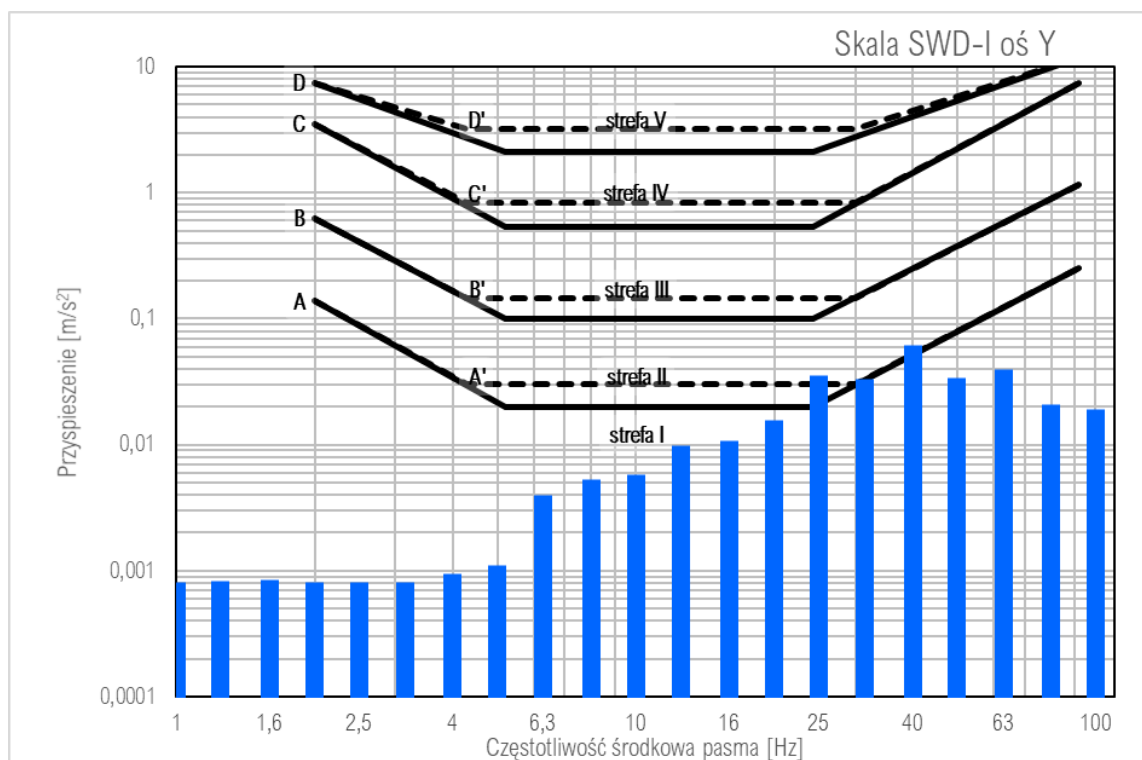
WYNIKI POMIARU – punkt pomiarowy PP.1			
f [Hz]	Szczytowa wartość przyspieszenia drgań a_{peak} [m/s ²]		
	X	Y	Z nie podlega ocenie
6,3	0,00607	0,00399	0,00332
8	0,00450	0,00533	0,00348
10	0,00681	0,00577	0,01048
12,5	0,00883	0,00977	0,01816
16	0,01627	0,01080	0,03069
20	0,01140	0,01570	0,03273
25	0,01388	0,03528	0,02907
31,5	0,02924	0,03315	0,01834
40	0,02679	0,06152	0,02475
50	0,01897	0,03346	0,03681
63	0,02928	0,03963	0,05164
80	0,01809	0,02080	0,05052
100	0,02170	0,01888	0,01884
WODB	0,89	1,66	1,64
f_{WODB} [Hz]	31,5	25,0	20,0

Przedstawione wyniki pomiaru obarczone są niepewnością rozszerzoną przy 95% poziomie ufności wynoszącą 10,4% dla współczynnika rozszerzenia $k=2$.

Poniższe wykresy na rys. 9 i 10 prezentują największe wartości szczytowe przyspieszeń drgań w odniesieniu do skali SWD-I.



Rys 9. Wyniki pomiaru przyspieszeń drgań w osi X skali SWD-I budynku – punkt pomiarowy PP.1.



Rys. 10. Wyniki pomiaru przyspieszeń drgań w osi Y skala SWD-I przy ul. Orzechowskiej 66 – punkt pomiarowy PP.1.

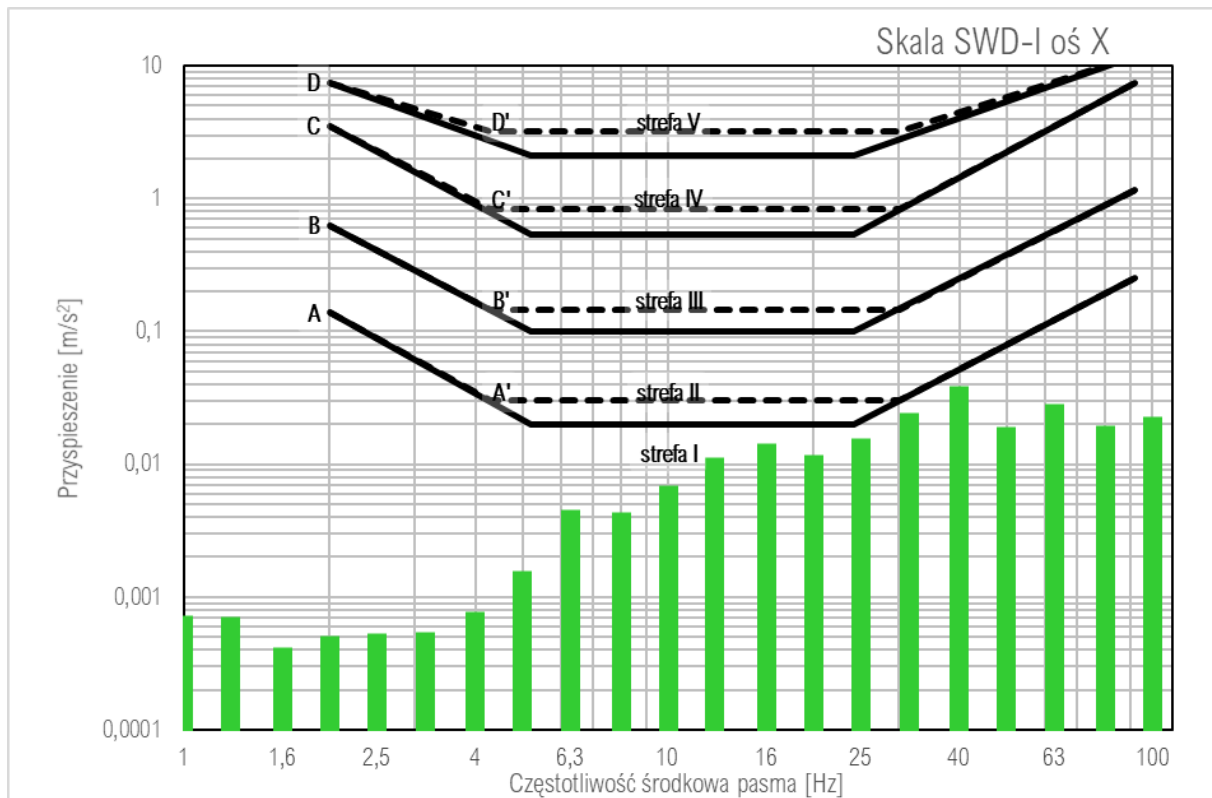
Tabela 5. Wyniki pomiarów drgań przekazywanych przez podłoże na budynek.

WYNIKI POMIARU – punkt pomiarowy PP.2			
f [Hz]	Szczytowa wartość przyspieszenia drgań a_{peak} [m/s ²]		
	X	Y	Z nie podlega ocenie
0,8	0,00060	0,00475	0,00714
1	0,00073	0,00531	0,00955
1,25	0,00071	0,00533	0,00882
1,6	0,00041	0,00168	0,00320
2	0,00051	0,00119	0,00311
2,5	0,00054	0,00113	0,00310
3,15	0,00054	0,00114	0,00303
4	0,00078	0,00121	0,00289
5	0,00156	0,00139	0,00333
6,3	0,00453	0,00368	0,00351
8	0,00434	0,00421	0,00366
10	0,00682	0,00557	0,00919
12,5	0,01125	0,00832	0,01626
16	0,01442	0,01233	0,02864
20	0,01172	0,01979	0,04310
25	0,01570	0,04513	0,04858
31,5	0,02427	0,05715	0,02812
40	0,03846	0,09162	0,03400
50	0,01919	0,05534	0,04683

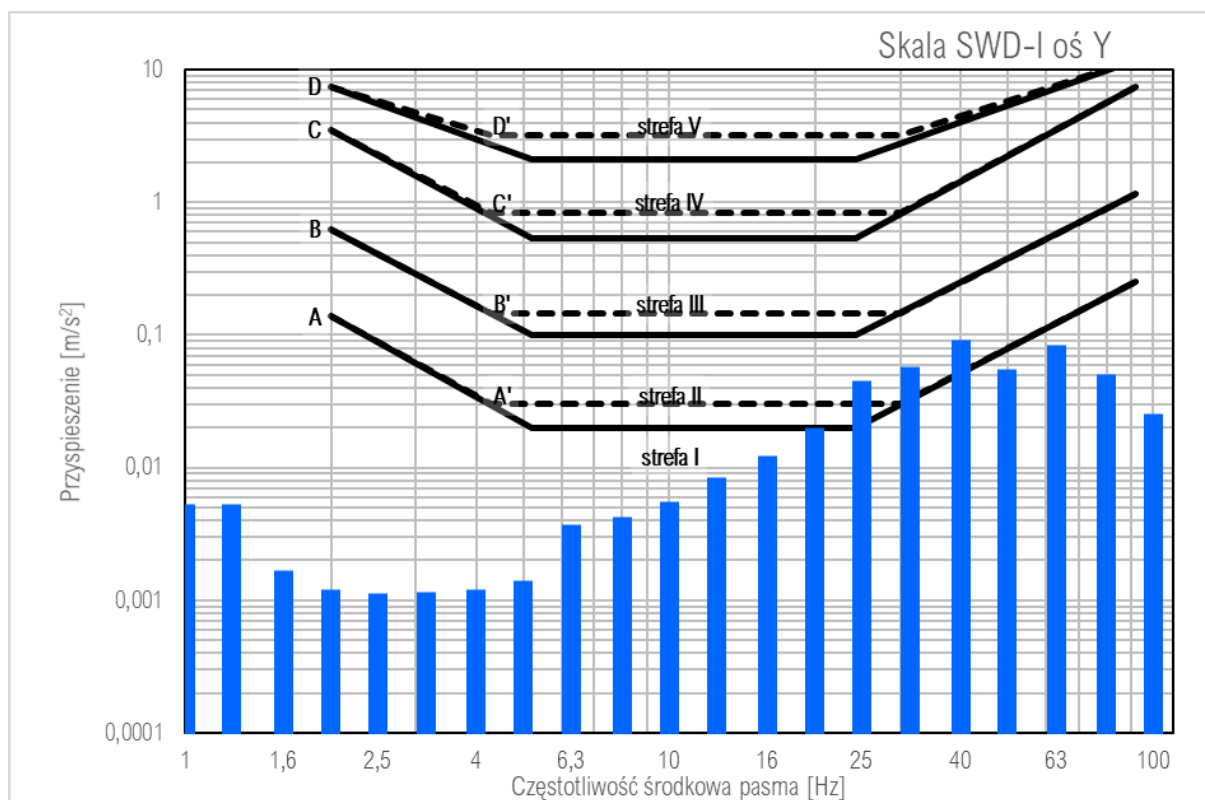
WYNIKI POMIARU – punkt pomiarowy PP.2			
f [Hz]	Szczytowa wartość przyspieszenia drgań a_{peak} [m/s ²]		
	X	Y	Z nie podlega ocenie
63	0,02854	0,08395	0,03972
80	0,01928	0,04989	0,04406
100	0,02249	0,02532	0,02413
WODB	0,74	2,12	2,28
f_{WODB} [Hz]	40,0	25,0	25,0

Przedstawione wyniki pomiaru obarczone są niepewnością rozszerzoną przy 95% poziomie ufności wynoszącą 10,4% dla współczynnika rozszerzenia $k = 2$.

Poniższe wykresy na rys. 11 i 12 prezentują największe wartości szczytowe przyspieszeń drgań w odniesieniu do skali SWD-I.



Rys. 11. Wyniki pomiaru przyspieszeń drgań w osi X skali SWD-I budynku – punkt pomiarowy PP.2.



Rys. 12. Wyniki pomiaru przyspieszeń drgań w osi Y skali SWD-I – punkt pomiarowy PP.2.

Po przeprowadzeniu analizy stwierdzono, że wartości przyspieszeń drgań zawierają się w strefie II skali SWD-I.

6. Wnioski

Przeprowadzone pomiary i analiza wykazały, że wartości przyspieszeń drgań zarejestrowane w budynku zawierają się w strefie II skali SWD-I zgodnie z Polską Normą PN-B-02170:2016-12 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki – drgania nieszkodliwe dla konstrukcji; można jednak spodziewać się przyspieszonego zużycia przedmiotowego budynku i pierwszych rys w wyprawach, tynkach, zarysowania w narożnikach ścian i w fasetach itp. Ze względu na długotrwałe oddziaływanie drgań na rozpatrywany budynek wspomniane w normie objawy w postaci rys na tynkach i wyprawach już się pojawiły.

Literatura

- [1] Connolly, D. P., Marecki, G. P., Kouroussis, G., Thalassinakis, I. and Woodward, P. K. (2016). The growth of railway ground vibration problems – a review. *Science of the Total Environment*, 568, 1276–1282.
- [2] German standard. DIN 4150-3. Structural Vibration Part 3: Effects of vibration on structures (in German).
- [3] Hashad, A. (2015). Additional stresses on buildings induced by vibration effects. *Water Science*, Volume 29 (2): 134–145.
- [4] Kawecki, J. and Kowalska-Koczwara, A. (2011). Analysis of vibration influence on people in buildings in standards approach. *Conference: Ravage of the Planet III*, Volume: 148.
- [5] Polish standard. PN-B-02170: 2016-12. Assessment of the harmfulness of vibrations transmitted through the ground onto buildings (in Polish).

- [6] Profaska M., Góra M. (2013), Vibration emissions test from the communication route – a case study. *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji*, z. 3 (5): 154–167.
- [7] Adamczyk J., Targosz J. (2000). *Ochrona przed drganiami wywołanymi przez transport samochodowy*, AGH Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki. Monografia nr 2.
- [8] Kawecki J., Stypuła K.: *Zapewnienie komfortu wibracyjnego ludziom w budynkach narażonych na oddziaływania komunikacyjne*. Wydawnictwo PK, Kraków 2013.
- [9] Stypuła K., Kozioł K. (2019). Stosowanie pomiarów drgań i obliczeń symulacyjnych w ramach ochrony sąsiedniej zabudowy przed drganiami kolejowymi. *Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP, Oddział w Krakowie*. Nr 2(119).
- [10] Ciesielski R., Maciąg E. (1990). *Drgania drogowe i ich wpływ na budynki*. Publishing House WKiŁ, 248.
- [11] Kawecki J., Stecz P., Stypuła K.: Influence of chosen traffic-road parameters on the shape of the acceleration response spectrum of transport vibration, *Proc. 2nd Intern. Conf. on Dyn. of Civil Eng. and Transport Structures and Wind Eng.*, Żilina 2003, 238-241.
- [12] Kawecki J., Szypuła K.: *Metodyka pomiarowo-interpretacyjna wyznaczania modelu budynku przydatnego w ocenie wpływów drgań parasejsmicznych na ludzi*, *Czasopismo Techniczne B*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007, 39-46.
- [13] Korentz J., Marciniowski J.: *Analiza numeryczna drgań parasejsmicznych budynku mieszkalnego z uwzględnieniem właściwości sprężystych podłoża*, *Czasopismo Techniczne B*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007, 75-82.
- [14] PN-87/B02171, *Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach*.
- [15] *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 września 1980 w sprawie ochrony środowiska przed drganiem i hałasem*, Dz. U. Nr 24 z dnia 5 listopada 1980 r. poz. 90.