

Janusz Kawecki, Krzysztof Stypuła

Badanie wpływu zastosowania mat wibroizolacyjnych w konstrukcji toru kolejowego na poziom drgań emitowanych do otoczenia

Inwestycjom kolejowym związanym z budową nowych lub modernizacją istniejących linii kolejowych (a także dworców kolejowych) stawiane są wymagania w zakresie ochrony środowiska. Wśród tych wymagań istotne znaczenie ma postulat zmniejszenia emisji drgań kolejowych do otoczenia. W pobliżu toru kolejowego mogą bowiem znajdować się i podlegać wpływowi drgań: budowle, budynki oraz ludzie przebywający w tych budynkach. Jednym ze sposobów zmniejszenia emisji drgań kolejowych do otoczenia jest stosowanie podtłuczniowych mat wibroizolacyjnych [1].

Skuteczność wibroizolacyjna takich rozwiązań zależy od parametrów charakteryzujących materiały wibroizolacyjne zastosowane w konstrukcji drogi kolejowej. Źle dobrana wibroizolacja może nie tylko być nieskuteczną, ale może nawet powodować zwiększenie emisji drgań w porównaniu z rozwiązaniem bez wibroizolacji. Stąd, nie tylko inwestorzy i wykonawcy takich rozwiązań, ale także producenci mat wibroizolacyjnych powinni być zainteresowani metodami prognozowania oraz wynikami badań skuteczności stosowanych rozwiązań wibroizolacyjnych, w których występują produkowane przez nich materiały. Warto, więc o procedurach badawczych, stosowanych kryteriach oceny i wynikach nowych badań informować w publikacjach.

W 2009 r., realizując modernizację toru kolejowego w Legionowie pod Warszawą (rys. 1), przewidziano zastosowanie wykonanych z wełny mineralnej mat wibroizolacyjnych podtłuczniowych typu Rock Ballast RB3515 grubości 5 cm (rys. 2).

Ocenę skuteczności zastosowania tej maty firma Rockwool zleciła Instytutowi Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej.

Badano emisję drgań kolejowych w bezpośrednim otoczeniu toru kolejowego w dwóch sytuacjach pomiarowych: przed ułożeniem maty i po jej zastosowaniu w konstrukcji drogi kolejowej. Pomiar drgań wykonało, wchodzące w skład Instytutu, Laboratorium Badania Odształceń i Drgań Budowli, legitymujące się akredytacją Polskiego Centrum Akredytacji (AB846) potwierdzającą przygotowanie do wykonywania tego typu badań na obszarze Unii Europejskiej.

Metodyka badań

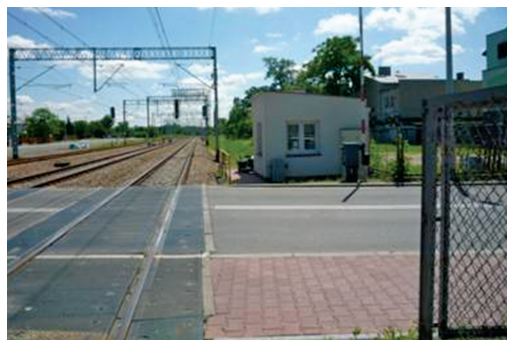
Badania dotyczyły drgań wywołanych przejazdami pociągów po torze przeznaczonym do modernizacji (tor oznaczony jako tor nr 2). Mierzono trzy składowe przyspieszeń drgań: dwie składowe poziome x i y oraz składową pionową z . Kierunek x przyjęto prostopadłe do osi torów kolejowych (jest to kierunek propagacji drgań od toru do budynku), natomiast składowa y jest równoległa do osi torów. Pomiar przeprowadzono z zastosowaniem akcelerometrów firmy PCB typu 393B12 (punkty pomiarowe w budynkach; czujniki jednoosiowe o czułości 10 V/g) i typu 356B18 (punkty pomiarowe na gruncie; czujniki trójosiowe o czułości 1 V/g) oraz systemu pomiarowego LMS SCADAS Mobile. Oznaczenia x , y , z przy numerach czujników (akcelerometrów) odpowiadają składowej drgań mierzonej przez dany czujnik.

Wykonano pomiary przyspieszeń drgań w dwóch budynkach. Były to:

- budynek usługowo-mieszkalny (rys. 3), położony w odległości ok. 26,2 m od osi toru nr 2 (rys. 4);
- budynek dróżnika (rys. 5), znajdujący się w odległości ok. 8,2 m od osi toru nr 2 (rys. 6).

Są to obiekty jednokondygnacyjne, niepodpiwniczone, o tradycyjnej konstrukcji murowanej.

W każdym z badanych obiektów umieszczono trzy czujniki na konstrukcji ściany zewnętrznej (w poziomie terenu, od strony drogi kolejowej), w celu uzyskania informacji o wymuszeniu kinematycznym budynku oraz parametrów stosowanych w ocenie wpływu drgań na budynek (czujniki P-01x, P-02y, P-03z i czujniki P-21x, P-22y, P-23z). Ponadto w każdym z budynków umieszczono po jednym czujniku na posadzce parteru, w celu uzyskania danych do oceny wpływu drgań pionowych na ludzi znajdujących się w budynkach (czujniki P-04z i P-14z). Wykonano rów-



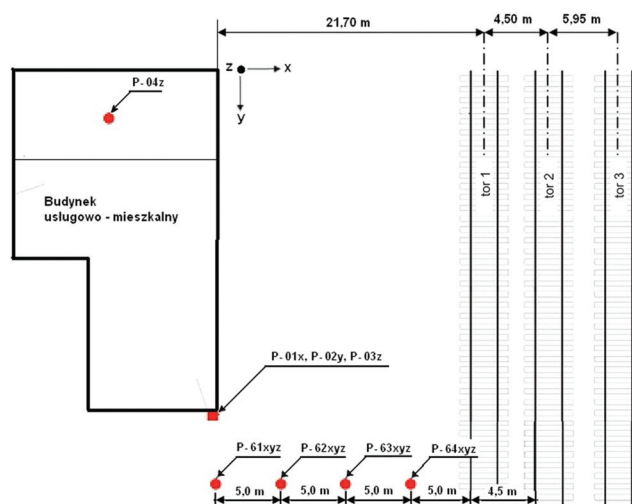
Rys. 1. Widok linii kolejowej z budynkiem dróżnika



Rys. 2. Układanie podtłuczniowej maty z wełny mineralnej typu Rock Ballast



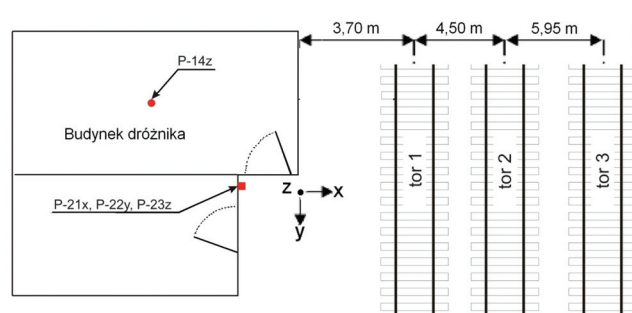
Rys. 3. Budynek usługowo-mieszkalny



Rys. 4. Lokalizacja budynku usługowo-mieszkalnego w stosunku do torów i usytuowanie punktów pomiarowych w tym budynku i na gruncie



Rys. 5. Budynek dróżnika



Rys. 6. Lokalizacja budynku dróżnika w stosunku do torów i usytuowanie punktów pomiarowych w tym budynku

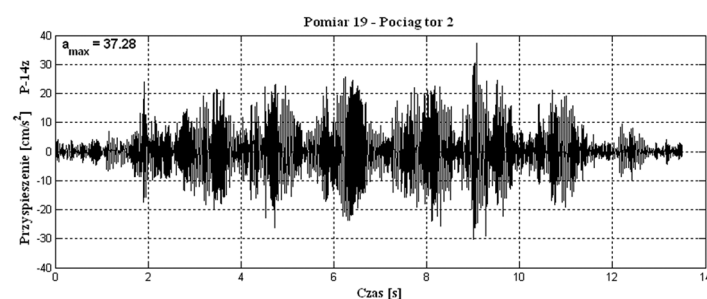
niez pomiaru przyspieszeń drgań powierzchniowych gruntu w odległościach 9,5, 14,5, 19,5 oraz 24,5 m od skrajnej szyny toru nr 2 (rys. 4) w celu wyznaczenia propagacji drgań w gruncie. Akcelerometry trójosiowe oznaczone odpowiednio: P- 61xyz, P- 62xyz, P- 63xyz i P- 64xyz (rys. 4) mocowano do gruntu za pomocą specjalnych krzyżaków.

Pomiary drgań wykonano w tych samych punktach pomiarowych dwukrotnie: w marcu 2009 r., tzn. przed modernizacją toru (tor bez wibroizolacji) i w czerwcu 2010 r., tzn. po zastosowaniu w konstrukcji toru nr 2 mat wibroizolacyjnych podtluczniowych typu Rock Ballast RB3515, grubości 5 cm, wykonanych z wełny mineralnej.

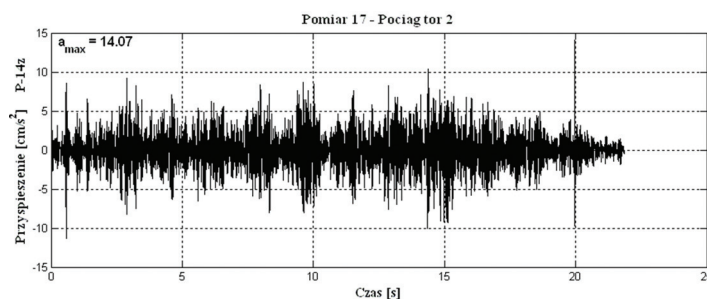
W artykule przedstawiono syntetycznie wyniki pomiarów drgań w obydwu budynkach wraz z oceną wpływu drgań na konstrukcję budynków oraz na ludzi w nich przebywających, a także informacje o propagacji drgań powierzchniowych w gruncie.

Wyniki pomiarów

Przykładowe przebiegi czasowe (akcelerogramy) najniekorzystniejszych przyspieszeń drgań pionowych posadzki w budynku dróżnika zarejestrowanych przed i po zastosowaniu maty wibroizolacyjnej w torze nr 2 przedstawiono na rysunkach 7 i 8.



Rys. 7. Przebieg czasowy przyspieszeń składowej pionowej drgań posadzki w budynku dróżnika zarejestrowany podczas przejazdu pociągu po torze nr 2 przed zastosowaniem maty



Rys. 8. Przebieg czasowy przyspieszeń składowej pionowej drgań posadzki w budynku dróżnika zarejestrowany podczas przejazdu pociągu po torze nr 2 po zastosowaniu maty

W odniesieniu do każdego zarejestrowanego akcelerogramu określono maksymalną wartość szczytową przyspieszenia drgań. W tabelach 1–4 podano maksymalne wartości szczytowe przyspieszenia drgań zarejestrowanych w obydwu budynkach, w tych samych punktach pomiarowych przed zastosowaniem maty wibroizolacyjnej w torze nr 2 (tabela 1 i 2) i po jej zastosowaniu (tabela 3 i 4).

W tabelach 5 i 6 podano maksymalne wartości szczytowe przyspieszenia drgań zarejestrowanych na gruncie odpowiednio przed i po zastosowaniu wibroizolacyjnej maty podtluczniowej.

Widoczna jest znaczna redukcja maksymalnych wartości amplitud przyspieszeń drgań w budynkach i na gruncie po zastosowaniu maty wibroizolacyjnej. Redukcję drgań powierzchniowych gruntu w punkcie oddalonym 9,5 m od skrajnej szyny toru 2 ilustrują zamieszczone przykładowo przebiegi czasowe przyspieszeń drgań zarejestrowane w tym punkcie podczas pomiaru 12 przed

Tabela 1

Maksymalne wartości przyspieszeń drgań wywołanych przejazdami pociągów po torze nr 2 zarejestrowane w budynku usługowo-mieszkalnym przed zastosowaniem maty wibroizolacyjnej

Nazwa pomiaru	Konstrukcja			Posadzka
	P-01x	P-02y	P-03z	P-04z
[cm/s ²]				
Pomiar 03 – pociąg tor 2	5,2	6,8	4,3	15,7
Pomiar 05 – pociąg tor 2	2,9	5,2	4,3	17,7
Pomiar 09 – pociąg tor 2	1,2	1,7	2,1	5,0
Pomiar 10 – pociąg tor 2	6,7	10,7	6,8	15,4
Pomiar 11 – pociąg tor 2	4,1	5,2	5,9	17,3
Pomiar 12 – pociąg tor 2	3,4	5,4	5,3	16,1
Pomiar 13 – pociąg tor 2	5,2	5,7	6,0	21,5
Pomiar 14 – pociąg tor 2	2,8	3,5	5,7	14,3

Tabela 2

Maksymalne wartości przyspieszeń drgań wywołanych przejazdami pociągów po torze nr 2 zarejestrowane w budynku dróżnika przed zastosowaniem maty wibroizolacyjnej

Nazwa pomiaru	Konstrukcja			Posadzka
	P-21x	P-22y	P-23z	P-14z
[cm/s ²]				
Pomiar 03 – pociąg tor 2	7,9	5,4	5,3	15,0
Pomiar 04 – pociąg tor 2	9,1	16,4	15,2	44,0
Pomiar 09 – pociąg tor 2	6,3	15,9	11,1	31,8
Pomiar 11 – pociąg tor 2	6,8	8,9	6,3	24,7
Pomiar 16 – pociąg tor 2	7,1	25,9	16,6	44,0
Pomiar 17 – pociąg tor 2	8,2	9,1	7,4	25,1
Pomiar 18 – pociąg tor 2	6,8	13,1	9,4	30,9
Pomiar 19 – pociąg tor 2	10,5	18,1	11,0	37,3

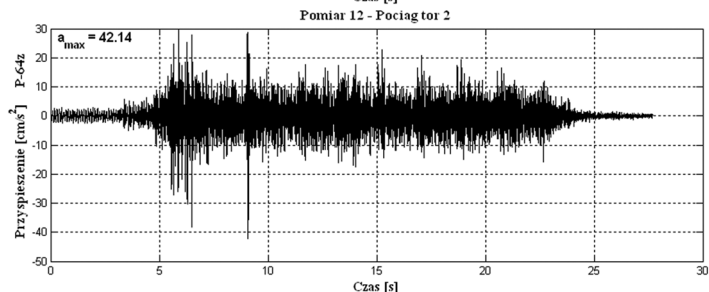
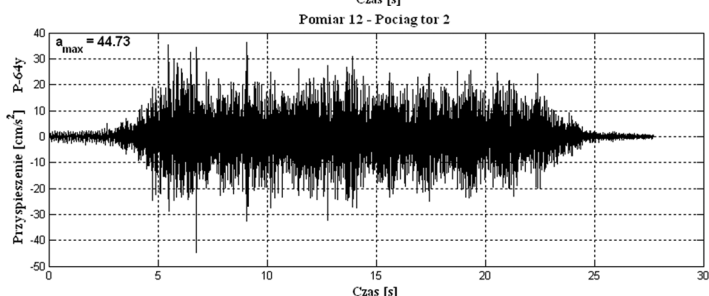
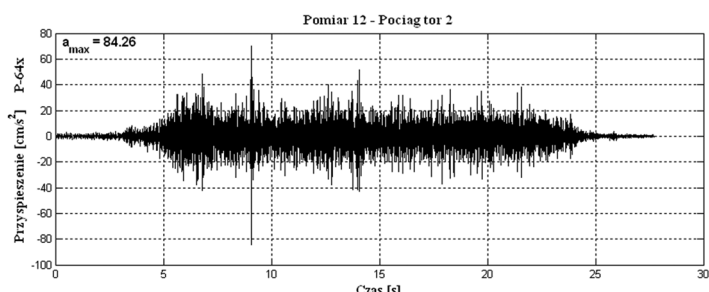


Tabela 3

Maksymalne wartości przyspieszeń drgań wywołanych przejazdami pociągów po torze nr 2 zarejestrowane w budynku usługowo-mieszkalnym po zastosowaniu maty wibroizolacyjnej

Nazwa pomiaru	Konstrukcja			Posadzka
	P-01x	P-02y	P-03z	P-04z
[cm/s ²]				
Pomiar 3 – pociąg tor 2	0,68	0,59	1,46	6,15
Pomiar 5 – pociąg tor 2	0,49	0,41	1,17	4,69
Pomiar 6 – pociąg tor 2	0,79	0,53	2,39	7,30
Pomiar 8 – pociąg tor 2	0,55	0,59	1,40	4,10
Pomiar 11 – pociąg tor 2	0,74	0,65	1,95	4,90
Pomiar 12 – pociąg tor 2	0,60	0,59	1,47	5,34
Pomiar 15 – pociąg tor 2	0,71	0,75	1,85	5,99
Pomiar 17 – pociąg tor 2	1,38	0,70	3,06	7,87
Pomiar 18 – pociąg tor 2	0,89	0,60	1,98	6,70
Pomiar 19 – pociąg tor 2	0,77	0,70	1,75	4,91

Tabela 4

Maksymalne wartości przyspieszeń drgań wywołanych przejazdami pociągów po torze nr 2 zarejestrowane w budynku dróżnika po zastosowaniu maty wibroizolacyjnej

Nazwa pomiaru	Konstrukcja			Posadzka
	P-21x	P-22y	P-23z	P-14z
[cm/s ²]				
Pomiar 3 – pociąg tor 2	2,42	1,99	3,85	15,12
Pomiar 5 – pociąg tor 2	1,88	2,10	3,31	5,97
Pomiar 6 – pociąg tor 2	2,13	2,02	4,13	7,76
Pomiar 8 – pociąg tor 2	2,15	1,91	3,13	6,59
Pomiar 11 – pociąg tor 2	2,83	3,01	6,88	8,68
Pomiar 12 – pociąg tor 2	2,24	1,71	3,71	7,62
Pomiar 15 – pociąg tor 2	2,15	2,34	4,41	9,28
Pomiar 17 – pociąg tor 2	3,45	2,76	5,28	14,07
Pomiar 18 – pociąg tor 2	2,29	2,14	4,97	8,52
Pomiar 19 – pociąg tor 2	2,21	2,11	4,13	9,26
Pomiar 20 – pociąg tor 2	2,15	2,11	4,16	7,67

zastosowaniem maty (rys. 9) oraz podczas pomiaru 11 po zastosowaniu maty (rys. 10).

Ocena wpływu drgań na konstrukcję budynków

Obydwa budynki spełniają wymagania, które umożliwiają zastosowanie skal SWD-I przy ocenianiu wpływu drgań na ich konstrukcję. Skale SWD i wymagania odnośnie do możliwości ich stosowania podane są w polskiej normie PN-85/B-02170 [2]. Ocenę przeprowadza się na podstawie pomierzonych przyspieszeń (lub przemieszczeń) drgań poziomych dolnej (zagłębionej w gruncie) części budynku (tu pomiar wykonano w poziomie terenu), w sztywnym węźle konstrukcji od strony źródła drgań. Po wyznaczeniu maksymalnych (szczytowych) wartości przyspieszenia (lub przemieszczenia) drgań poziomych budynku w pasmach tercjowych (1/3-oktawowych) częstotliwości z zakresu od 1 do 100 Hz sprawdza się, w której z pięciu stref szkodliwości (rys. 11) sytuują się pomierzone drgania. Na skalach SWD oznaczono następujące strefy szkodliwości i granice między nimi:

Rys. 9. Przebiegi czasowe składowych x, y i z przyspieszeń drgań powierzchniowego gruntu zarejestrowane w punkcie oddalonym 9,5 m od skrajnej szyny toru 2 przed zastosowaniem maty wibroizolacyjnej (pomiar 12)

Maksymalne wartości przyspieszeń drgań powierzchniowych gruntu wywołanych przejazdami pociągów po torze nr 2 przed zastosowaniem maty wibroizolacyjnej

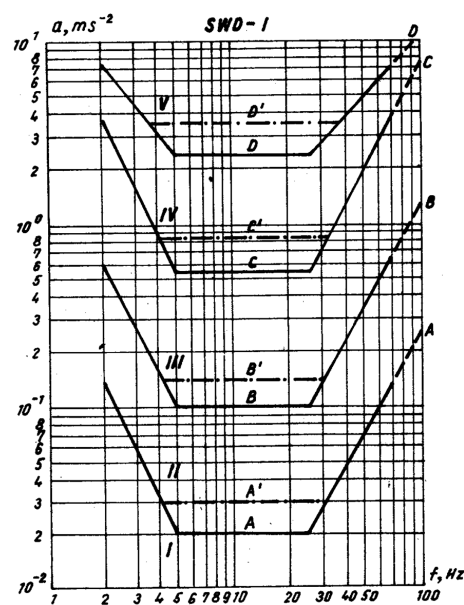
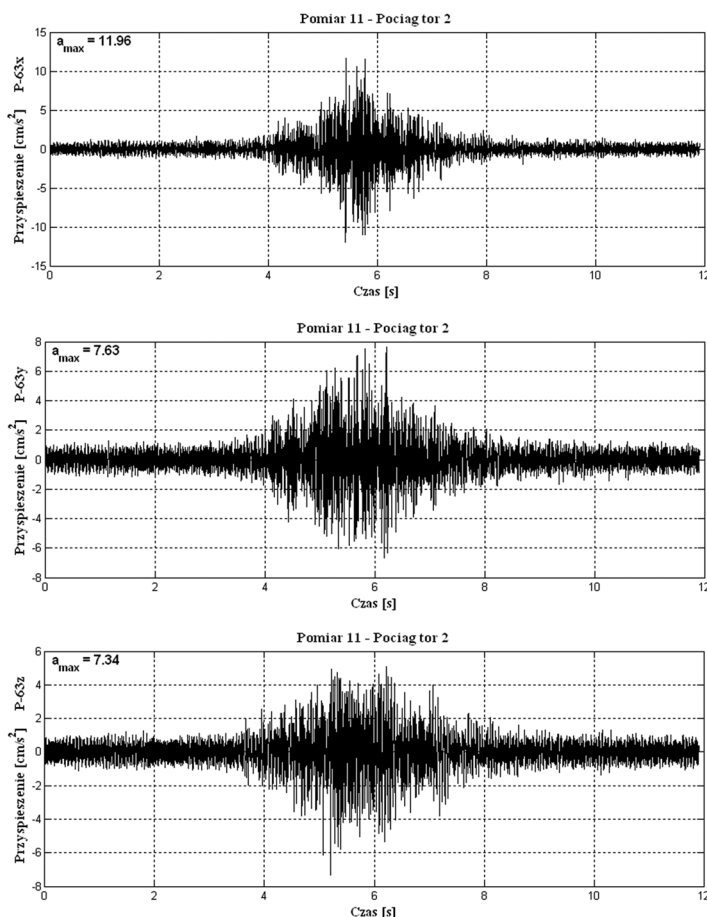
Nazwa pomiaru	24,5 m od toru			19,5 m od toru			14,5 m od toru			9,5 m od toru		
	P-61x	P-61y	P-61z	P-62x	P-62y	P-62z	P-63x	P-63y	P-63z	P-64x	P-64y	P-64z
	[cm/s ²]											
Pomiar 03 – pociąg tor 2	14,5	8,4	15,6	27,8	21,0	14,6	29,9	26,4	28,2	96,9	36,1	34,8
Pomiar 05 – pociąg tor 2	8,6	5,7	10,1	11,5	9,2	7,9	22,3	20,4	15,7	36,3	31,4	25,3
Pomiar 09 – pociąg tor 2	3,0	2,2	3,3	6,8	5,3	4,3	12,0	16,3	6,8	34,4	25,7	13,4
Pomiar 10 – pociąg tor 2	18,6	16,2	20,3	27,5	20,5	19,7	49,6	43,4	40,7	170,1	63,9	61,9
Pomiar 11 – pociąg tor 2	10,8	7,1	11,0	11,3	10,7	10,3	19,6	21,1	19,9	39,3	33,0	24,6
Pomiar 12 – pociąg tor 2	9,5	10,2	12,8	16,8	17,2	12,7	32,3	24,5	24,7	84,3	44,7	42,1
Pomiar 13 – pociąg tor 2	15,4	10,9	14,4	21,7	15,0	13,6	32,2	23,4	25,2	75,8	41,0	36,9
Pomiar 14 – pociąg tor 2	6,8	5,9	9,9	13,5	8,4	7,9	28,0	25,6	16,0	49,2	37,2	32,2

Tabela 6

Maksymalne wartości przyspieszeń drgań powierzchniowych gruntu wywołanych przejazdami pociągów po torze nr 2 po zastosowaniu maty wibroizolacyjnej

Nazwa pomiaru	24,5 m od toru			19,5 m od toru			14,5 m od toru			9,5 m od toru		
	P-61x	P-61y	P-61z	P-62x	P-62y	P-62z	P-63x	P-63y	P-63z	P-64x	P-64y	P-64z
	[cm/s ²]											
Pomiar 3 - Pociąg tor 2	1,34	1,16	2,43	3,30	2,72	3,44	6,53	5,27	4,25	15,73	11,70	8,60
Pomiar 5 - Pociąg tor 2	1,25	0,89	1,93	2,86	2,18	2,55	6,51	5,80	4,49	19,95	12,73	13,93
Pomiar 6 - Pociąg tor 2	1,56	1,10	2,34	3,01	2,18	2,77	5,80	3,94	4,43	11,18	9,49	8,05
Pomiar 8 - Pociąg tor 2	1,41	0,98	2,26	3,63	2,19	2,67	5,84	5,39	4,32	12,99	13,33	10,12
Pomiar 11 - Pociąg tor 2	2,49	1,82	2,89	6,41	4,22	4,30	11,96	7,63	7,34	37,92	24,86	19,60
Pomiar 12 - Pociąg tor 2	1,64	1,20	2,62	2,77	1,74	3,00	5,97	4,62	6,15	14,53	11,37	8,68
Pomiar 15 - Pociąg tor 2	1,86	1,53	2,38	3,77	2,80	3,02	5,77	4,82	4,62	13,94	11,29	11,03
Pomiar 17 - Pociąg tor 2	3,02	1,89	3,16	3,66	2,52	4,25	7,01	4,89	5,42	15,96	10,28	12,17
Pomiar 18 - Pociąg tor 2	2,18	1,70	2,62	3,61	2,58	3,13	6,27	4,74	4,85	16,14	11,47	12,16
Pomiar 19 - Pociąg tor 2	2,47	1,45	3,70	3,64	2,46	3,63	6,47	5,28	5,98	16,15	17,36	12,22

- strefa I – drgania nieodczuwalne przez budynek;
- granica A – dolna granica odczuwalności drgań przez budynek, przy drganiach poniżej tej granicy można nie uwzględniać wpływów dynamicznych;
- strefa II – drgania odczuwalne przez budynek, ale nieszkodliwe dla jego konstrukcji; następuje przyspieszone zużycie budynku i pierwsze rysy w wyprawach i tynkach;
- granica B – granica sztywności budynku, dolna granica powstawania zarysowań i spękań w elementach konstrukcyjnych;
- strefa III – drgania szkodliwe dla budynku, powodują lokalne zarysowania i spękania, przez co osłabiają konstrukcję budynku i zmniejszają jego nośność oraz odporność na dalsze wpływy dynamiczne; może nastąpić odpadanie wypraw i tynków;
- granica C – granica wytrzymałości pojedynczych elementów budynku, dolna granica ciężkich szkód budowlanych;
- strefa IV – drgania o dużej szkodliwości dla budynku, stanowiące zagrożenie bezpieczeństwa ludzi; po-



Rys. 11. Skala SWD-I w wersji przyspieszenie-częstotliwość wg PN-85/B-02170 [2]

Rys. 10. Przebiegi czasowe składowych x, y i z przyspieszeń drgań powierzchniowych gruntu zarejestrowane w punkcie oddalonym 9,5 m od skrajnej szyny toru 2 po zastosowaniu maty wibroizolacyjnej (pomiar 11)

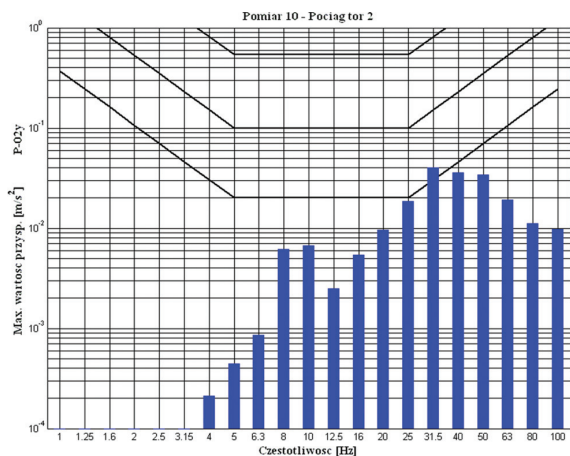
wstają liczne spękania, lokalne zniszczenia murów i innych pojedynczych elementów budynku; istnieje możliwość spadania przedmiotów zawieszonych, odpadania płyt wypraw sufitów, wysuwania się belek stropowych z łożysk itp.;

- granica D – granica stateczności konstrukcji, dolna granica awarii całego budynku;
- strefa V – drgania powodujące awarię budynku przez walenie się murów, spadanie stropów itp., z uwagi na zagrożenie życia ludzkiego budynek nie może być użytkowany.

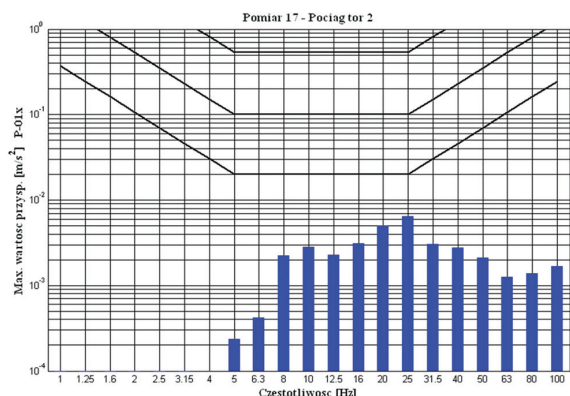
Na rysunkach 12–15 zamieszczono przykładowo najniekorzystniejsze wyniki analiz dotyczących wpływu drgań na budynki. Są to wyniki odnoszące się do rejestracji drgań poziomych w punktach pomiarowych na ścianach budynków w poziomie terenu, podane w następującej kolejności:

- rys. 12 – budynek usługowo-mieszkalny, przejazd pociągu po torze nr 2 bez maty;
- rys. 13 – budynek usługowo-mieszkalny, przejazd pociągu po torze nr 2 z matą;
- rys. 14 – budynek dróżnika, przejazd pociągu po torze nr 2 bez maty;
- rys. 15 – budynek dróżnika, przejazd pociągu po torze nr 2 z matą.

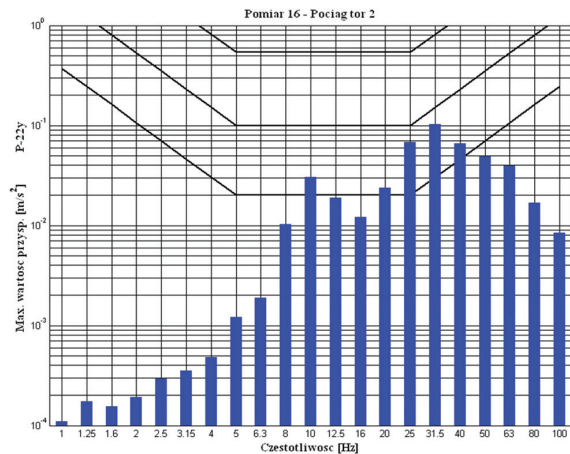
Najniższe położone linie na wykresach oznaczają próg odczuwalności drgań przez konstrukcję budynku. Drgania scharakteryzowane wartościami poniżej tych linii można uznać za nieodczuwalne przez budynek (nie powinny mieć wpływu na konstrukcję budynku).



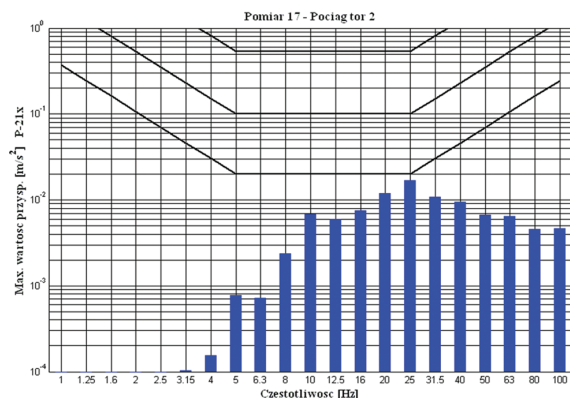
Rys. 12. Ocena wpływu drgań na budynek usługowo-mieszkalny, przejazd pociągu po torze nr 2 bez maty



Rys. 13. Ocena wpływu drgań na budynek usługowo-mieszkalny, przejazd pociągu po torze nr 2 po ułożeniu maty



Rys. 14. Ocena wpływu drgań na budynek dróżnika, przejazd pociągu po torze nr 2 bez maty



Rys. 15. Ocena wpływu drgań na budynek dróżnika, przejazd pociągu po torze nr 2 po ułożeniu maty

Wpływ drgań na konstrukcję obydwu budynków uległ znacznemu zmniejszeniu po zastosowaniu mat wibroizolacyjnych.

Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach

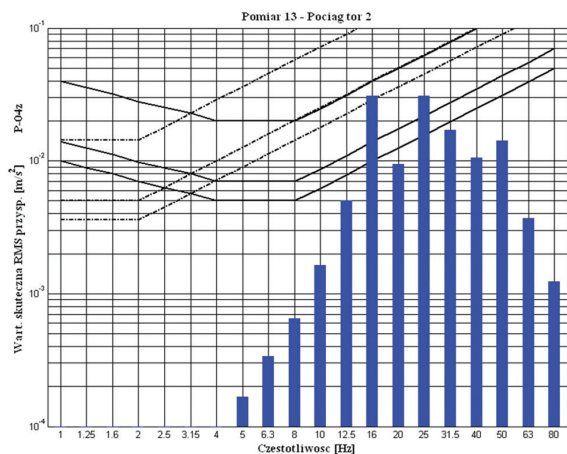
Ocenę wpływu drgań na ludzi wykonano zgodnie z normą PN-88/B-02171 [3] (oraz ze standardami ISO [4]), analizując wartości skuteczne RMS (*Root Mean Square*) przyspieszeń drgań w 1/3-oktawowych (tercjowych) pasmach częstotliwości i porównując je z wartościami odpowiadającymi progowi odczuwalności drgań przez ludzi oraz wartościami odpowiadającymi zapewnieniu ludziom niezbędnemu komfortu wibracyjnego. Wyniki tych analiz zestawiono na rysunkach 16–19. Linie ciągłe odpowiadają drganiom działającym wzdłuż podłużnej osi ludzkiego ciała, a linie przerywane – drganiom o kierunku prostopadłym do tej osi. W kolejności od najniższej położonych linie te odpowiadają:

- progowi odczuwalności drgań przez ludzi;
- górnemu poziomowi zapewnienia ludziom wymaganego komfortu w pomieszczeniach mieszkalnych w porze nocnej (od godz. 22 do 6);
- górnemu poziomowi zapewnienia ludziom wymaganego komfortu w pomieszczeniach mieszkalnych w porze dziennej (od godz. 6 do 22) oraz w pomieszczeniach biurowych i handlowo-usługowych niezależnie od pory ich występowania.

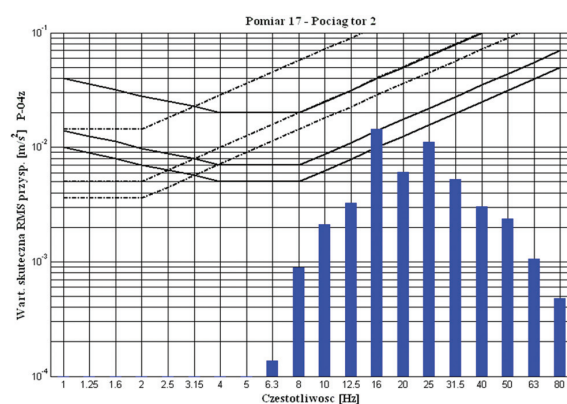
Analizy wpływu drgań na ludzi wykonano na podstawie zarejestrowanych wibrogramów drgań pionowych posadzki w wybranym pomieszczeniu w każdym budynku (punkty pomiarowe

P-04z i P-14z). Najniekorzystniejsze wyniki tych analiz przedstawiono w następującej kolejności:

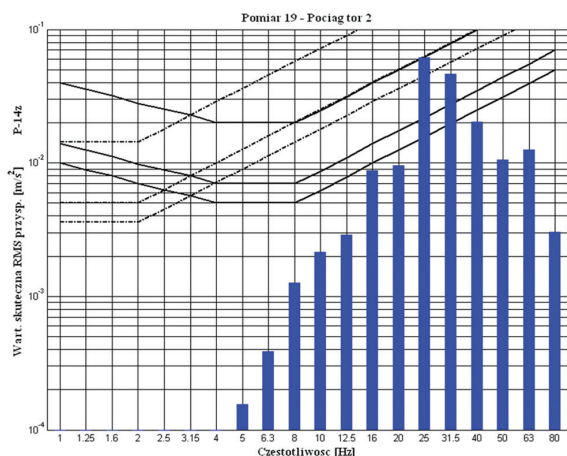
- rys. 16 – analiza wpływu na ludzi drgań pionowych posadzki budynku usługowo-mieszkalnego, przejazd pociągu po torze 2 bez maty (pomiar 13);
- rys. 17 – analiza wpływu na ludzi drgań pionowych posadzki budynku usługowo-mieszkalnego, przejazd pociągu po torze 2 z matą (pomiar 17);



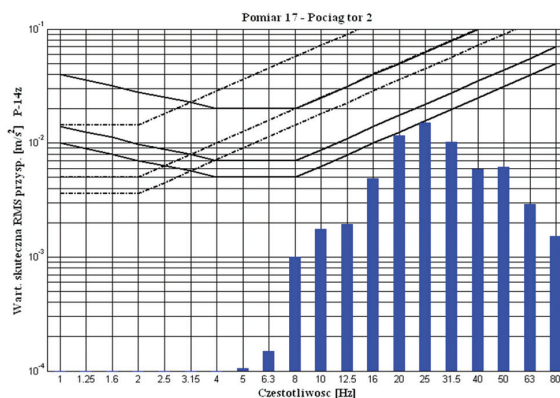
Rys. 16. Analiza wpływu na ludzi drgań pionowych posadzki budynku usługowo-mieszkalnego, przejazd pociągu po torze 2 przed zastosowaniem maty (pomiar 13)



Rys. 17. Analiza wpływu na ludzi drgań pionowych posadzki budynku usługowo-mieszkalnego, przejazd pociągu po torze 2 po zastosowaniu maty (pomiar 17)



Rys. 18. Analiza wpływu na ludzi drgań pionowych posadzki budynku dróżnika, przejazd pociągu po torze 2 przed zastosowaniem maty (pomiar 19)



Rys. 19. Analiza wpływu na ludzi drgań pionowych posadzki budynku dróżnika, przejazd pociągu po torze 2 po zastosowaniu maty (pomiar 17)

- rys. 18 – analiza wpływu na ludzi drgań pionowych posadzki budynku dróżnika, przejazd pociągu po torze 2 bez maty (pomiar 19);
- rys. 19 – analiza wpływu na ludzi drgań pionowych posadzki budynku dróżnika, przejazd pociągu po torze 2 z matą (pomiar 17).

Z przedstawionych analiz wynika, że w obydwu budynkach zastosowanie maty wibroizolacyjnej obniżyło znacznie poziom wpływu drgań na ludzi.

Wnioski

Z przeprowadzonych badań doświadczalnych wynika, że zastosowanie mat wibroizolacyjnych typu Rock Ballast RB3515 o grubości 5 cm w torze nr 2 spowodowało znaczne zmniejszenie poziomu wpływu drgań na konstrukcję obydwu budynków oraz na ludzi w tych obiektach, a także znaczne zmniejszenie poziomu drgań swobodnej powierzchni gruntu w sąsiedztwie toru, zwłaszcza:

- w budynku usługowo-mieszkalnym przed modernizacją toru drgania były klasyfikowane jako odczuwalne przez konstrukcję budynku (rys. 12) – po zastosowaniu maty poziom drgań uległ obniżeniu (w dominującym paśmie o częstotliwości środkowej 31,5 Hz o ok. 92,5%, a w paśmie o częstotliwości środkowej 25 Hz o ok. 63,9%) i drgania można zakwalifikować do nieodczuwalnych przez tę konstrukcję (rys. 13); w budynku dróżnika drgania generowane przejazdami pociągów przed modernizacją torów były klasyfikowane jako odczuwalne przez konstrukcję obiektu, przy czym ich poziom zbliżał się do granicy drgań odczuwalnych i szkodliwych dla konstrukcji (rys. 14) – po zastosowaniu maty wibroizolacyjnej poziom drgań uległ obniżeniu (w dominującym paśmie o częstotliwości środkowej 31,5 Hz o ok. 82%, a w paśmie o częstotliwości środkowej 25 Hz o ok. 82,4%) i nie przekracza granicy odczuwalności drgań przez konstrukcję budynku (rys. 15);
- w obydwu budynkach zastosowanie maty wibroizolacyjnej w torze nr 2 zmniejszyło znacznie poziom drgań przekazywanych na ludzi – w budynku usługowo-mieszkalnym w dominującym paśmie o częstotliwości środkowej 16 Hz wartości RMS przyspieszenia zostały obniżone o ok. 53,4%, a w budynku dróżnika wartość RMS w dominującym paśmie o częstotliwości środkowej 25 Hz została zmniejszona o ok. 75%; w efekcie tej redukcji wpływ drgań na ludzi w budynku usługowo-mieszkalnym jeszcze nieznacznie przekracza próg od-

czuwalności drgań przez ludzi (rys. 17), a w budynku dróżnika sytuuje się poniżej tego progu (rys. 19);

- stopień redukcji drgań w wyniku zastosowania mat wibroizolacyjnych jest zróżnicowany w poszczególnych pasmach częstotliwości.

Podane wartości procentowe redukcji wpływu drgań na budynki i na ludzi w nich przebywających należy traktować jako wartości przybliżone. Wynika to z tego, że porównywano przed i po zastosowaniu maty drgania wywołane przejazdami różnych pociągów (nie był też znany poziom drgań w miejscu ich generowania tzn. na styku koła z szyną przy przejeździe danego pociągu). Na wyniki wykorzystywane przy porównywaniu istotny wpływ może mieć stan kół pociągów przejeżdżających przed i po modernizacji toru, prędkość ich przejazdu, stan ich obciążenia (wypełnienia pasażerami) itp. Przy tych wszystkich zastrzeżeniach badania wykazały, że zastosowanie wibroizolacyjnych mat podtłuczniowych może w znaczący sposób ograniczyć wpływ drgań na otoczenie, a ściślej na budynki i na przebywających w nich ludzi.

Potwierdzenie badaniami istotnego zmniejszenia wpływu drgań na ludzi ma szczególne znaczenie, bowiem w większości przypadków to potrzeba ograniczenia tego wpływu decyduje o konieczności zastosowania wibroizolacji. Należy podkreślić, że stopień redukcji drgań w wyniku zastosowania mat wibroizolacyjnych zależy od takich czynników jak: konstrukcja nawierzchni szynowej (np. grubość warstwy tłucznia nad matą), warunki gruntowe, częstotliwości generowanych drgań oraz konstrukcja budynku odbierającego drgania. Do tych warunków należy dostosować parametry maty, np. jej grubość i sztywność. W celu osiągnięcia zakładanego obniżenia poziomu drgań poniżej progu odczuwalności drgań przez ludzi w najbliższej położonych budyn-

kach należy dobrać parametry mat wibroizolacyjnych, przeprowadzając obliczenia symulacyjne uwzględniające wspomniane czynniki [5, 6].



Literatura

- [1] Stypuła K.: *Nowoczesne wibroizolacje*. *Builder* 10/2009, s. 66–70.
- [2] PN-85/B-02170. *Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki*.
- [3] PN-88/B-02171. *Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach*.
- [4] ISO 10131:2007 *Bases for design of structures – Serviceability of buildings and walkways against vibrations*.
- [5] Koziol K., Stypuła K.: *Symulacje komputerowe jako narzędzie projektowania wibroizolacji nawierzchni szynowych*. *Drogi. Budownictwo infrastrukturalne* 2/2011, s. 63–75.
- [6] Kawecki J., Koziol K. and Stypuła K.: *The Design of Rail Tracks including the Influence of Vibration on People in Buildings*. Proceedings of the Eleventh International Conference on Computational Structures Technology, B.H.V. Topping, (Editor), Civil-Comp Press, Stirlingshire, Scotland 2012. Paper 176, 1–9.

prof. dr hab. inż. Janusz Kawecki
Politechnika Krakowska, Instytut Mechaniki Budowli

dr hab. inż. profesor nadzwyczajny PK, Krzysztof Stypuła
Politechnika Krakowska, Instytut Mechaniki Budowli

➤ *Dokończenie ze s. 89*

- w danych warunkach eksploatacyjnych odporność na zużycie ścierne kształtowników klockowych o strukturze perlitycznej ze stali R260, stosowanych w rozjazdach kolejowych, jest zależna od odległości międzyplótkowej cementytu;
- odporność na zużycie ścierne stali R260 o strukturze perlitycznej i różnej morfologii perlitu zmniejsza się ze wzrostem poślizgu.



Literatura

- [1] Herian J., Aniołek K.: *Modelling of structure and properties of pearlitic steel and abrasive wear of the turnout frog in the cyclic loading conditions*. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. Volume 49, Issue 1, November 2011, s. 71–81.
- [2] Herian J., Aniołek K.: *Oddziaływanie struktury na właściwości perlitycznych stali w rozjazdach kolejowych*. *Materiały V Konferencji Naukowej Walcownictwo 2011*, s. 123–128.
- [3] Donzella G., Facciolli M., Ghidini A., Mazzu A., Roberti R.: *The competitive role of wear and RCF in a rail steel*. *Engineering Fracture Mechanics* 72 (2005), s. 287–308.

- [4] Giannakos K.: *Loads on Track, Ballast Fouling, and Life Cycle under Dynamic Loading in Railways*. *Journal of Transportation Engineering* 136 (2010), s. 1075–1084.
- [5] Rehfeld E.: *Oddziaływanie pociągu na tor kolejowy*. *Technika Transportu Szynowego* 11-12/2001, s. 62–66.
- [6] Sitarz M., Wojdyła T., Witaszek M.: *The forces and contact stresses in wheel-rail system*. *Międzynarodowa Konferencja „Mechanika” 1999*, Kowno, s. 230–235.
- [7] Kuminek T.: *Wpływ profilu tocznego koła kolejowego na współpracę elementów systemu koto-szyrna* (praca doktorska). Politechnika Śląska. Katowice 2005.
- [8] Blicharski M.: *Inżynieria Materiałowa Stal*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne 2004.

dr inż. Krzysztof Aniołek
Uniwersytet Śląski, ul. 75 Pułku Piechoty 1A, 41-500 Chorzów

prof. dr hab. inż. Jerzy Herian
Politechnika Śląska, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice
e-mail: krzysztof.aniolek@us.edu.pl