

Przykłady pomiarów drgań komunikacyjnych w budynkach wykonanych przez akredytowane laboratorium

Piotr Stecz, Krzysztof Stypuła

W artykule przedstawiono problem jakim są drgania mechaniczne spowodowane przez transport szynowy. Pokazano istotę prowadzenia pomiarów drgań w aspekcie wpływu na budynki i na ludzi w nich przebywających oraz na środowisko. W opracowaniu pokazano kilka przykładów przeprowadzonych pomiarów. Na podstawie przeprowadzonych badań pokazano wpływ drgań na otoczenie. Zaznaczono, iż jakość wykonywanych badań musi zapewniać wymogi Ustawy Prawo Ochrony Środowiska oraz zgodność z aktualnymi aktami prawnymi z danej dziedziny. We wnioskach końcowych stwierdzono, iż wykonywanie badań według ściśle określonych procedur zapewnia powtarzalność wyników, co jest wymagane np. przy analizie porównawczej stanu przed realizacją inwestycji i wyników badań porealizacyjnych. Referat wygłoszony na V Seminarium „Wpływ hałasu i drgań wywołanych eksploatacją transportu szynowego na budynki i ludzi w budynkach – diagnostyka i zapobieganie” WIBROSZYN-2010.



dr hab. inż.
Krzysztof Stypuła,
prof. Politechniki
Krakowskiej
Instytut Mechaniki
Budowli
kstypula@pk.edu.pl



mgr inż. Piotr Stecz
Politechnika Krakowska
Instytut Mechaniki
Budowli
pstecz@pk.edu.pl

Jedną z uciążliwości związanych z eksploatacją transportu szynowego są drgania mechaniczne zwane wibracjami. Czym są wibracje dla otaczającego środowiska? Odpowiedź na to pytanie można znaleźć w ustawie „Prawo ochrony środowiska” z dnia 27 kwietnia 2001 (Dz.U. z 2001r. Nr 62, poz. 627). W art. 3 tej ustawy, stwierdzono m.in., że ilekroć w Ustawie jest mowa o:

- **zanieczyszczeniu** - rozumie się przez to **emisję**, która może być szkodliwa dla zdrowia ludzi lub stanu środowiska, może powodować szkodę w dobrach materialnych, może pogarszać walory estetyczne środowiska lub może kolidować z innymi, uzasadnionymi sposobami korzystania ze środowiska (art. 3, pkt 49),
- **emisji** - rozumie się przez to wprowadzane bezpośrednio lub pośrednio, w wyniku działalności człowieka, do powietrza, wody, gleby lub ziemi:
 - a) substancje,
 - b) energie, takie jak ciepło, hałas, **wibracje** lub pola elektromagnetyczne (art. 3, pkt 4).

Tak więc, w świetle wspomnianej Ustawy, drgania (wibracje) są emisją zanieczyszczeń do środowiska czyli wszystkie wymagania odnoszące się do emisji zanieczyszczeń dotyczą także emisji drgań.

Warto w związku z tym przywołać dwa inne artykuły cytowanej Ustawy:

Art. 137

Przeciwdziałanie zanieczyszczeniom polega

na zapobieganiu lub ograniczaniu wprowadzania do środowiska substancji lub energii.

Art. 139

Przestrzeganie wymagań ochrony środowiska związanych z eksploatacją dróg, linii kolejowych, linii tramwajowych, lotnisk oraz portów zapewniają zarządzający tymi obiektami.

Z powyższych zapisów wynika, że zarządca infrastruktury transportu szynowego (linii kolejowej, tramwajowej, metra itp.) jest m.in. zobowiązany do zapobiegania emisji drgań lub jej ograniczania. Obowiązek ten regulowany jest także innymi przepisami (rodzina norm ISO 14000 dotyczących „zarządzania środowiskiem”, tzw. „środowiskowe” dyrektywy Unii Europejskiej etc.) i obejmuje sporządzenie ocen wpływu drgań na środowisko (na budynki i na ludzi w budynkach), wykonywanie prognoz tych wpływów a także ich monitorowanie w postaci doraźnych (kontrolnych) pomiarów drgań lub rejestracji drgań prowadzonych w sposób ciągły. Zasady, sposoby i kryteria wykonywania wspomnianych ocen zawierają dwie normy opracowane w Instytucie Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej:

- PN-85/B-02170. Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.
- PN-88/B-02171. Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.

Podstawą wykonywania wszelkich ocen i analiz wpływu drgań na budynki i na ludzi

w nich przebywających są przeprowadzone odpowiednio pod tym kątem pomiary drgań. Również prognozy takich wpływów i oceny oddziaływań dynamicznych inwestycji na środowisko są uzależnione od wyników pomiarów drgań uzyskanych z pomiarów przeprowadzonych doraźnie w danym przypadku lub zgromadzonych w bazach danych pomiarowych. Tak, więc, wyniki monitorowania wpływu drgań na środowisko, rezultaty wspomnianych wyżej ocen i analiz są w istotny sposób uzależnione od wiarygodności wyników uzyskiwanych z pomiarów drgań.

Uzyskanie wiarygodnych wyników pomiarów wymaga zastosowania specjalistycznej aparatury do pomiaru drgań budowli w zakresie niskich częstotliwości a wykonawcy takich pomiarów powinni posiadać specjalistyczną wiedzę i doświadczenie w zakresie wykonywania pomiarów drgań w budynkach.

Rodzi się pytanie: jak ma się ustrzec zleceniodawca przed zleceniem opracowania ekspertyzy obejmującej pomiary drgań i oceny ich wpływu na budynki i ludzi w budynkach nieodpowiedniemu wykonawcy? Pytanie to jest szczególnie istotne, gdy praktycznie jedynym kryterium wyboru oferenta w postępowaniach przetargowych jest kryterium najniższej ceny. Co prawda jest jeszcze wymóg przedstawienia doświadczenia w zakresie objętym przetargiem ale nie jest on wystarczający w sytuacji, gdy zamawiający często udzielają wykonawcy rekomendacji praktycznie nie weryfikując takich specjalistycznych opracowań. Aby uniknąć, choć w części, tego typu problemów został wprowadzony system akredytacji laboratoriów a w Ustawie „Prawo ochrony środowiska” ustawodawca wprowadził art. 147a, którego ustęp 1 brzmi:

1. Prowadzący instalację oraz użytkownik urządzenia są obowiązani zapewnić wykonanie pomiarów wielkości emisji lub innych wa-



1. Certyfikat akredytacji Laboratorium Badania Odkształceń i Drgań Budowli działającego w strukturze Instytutu Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej

runków korzystania ze środowiska przez:

1) akredytowane laboratorium w rozumieniu ustawy z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności (Dz. U. z 2004 r. Nr 204, poz. 2087, z późn. zm.) lub

2) laboratorium posiadające uprawnienia do badania właściwości fizykochemicznych, toksyczności i ekotoksyczności substancji i preparatów nadane w trybie ustawy z dnia 11 stycznia 2001 r. o substancjach i preparatach chemicznych (Dz. U. Nr 11, poz. 84, z późn. zm.) - w zakresie badań, do których wykonywania są obowiązani.

Należy zaznaczyć, że zgodnie z przywołaną ustawą do instalacji i urządzeń zalicza się także budowle w tym drogi, linie kolejowe, linii tramwajowe, lotniska oraz porty.

Do tej pory, w praktyce najczęściej zamawiający bał się umieszczenia wymogu posiadania akredytacji przez wykonawcę w obawie przed możliwością unieważnienia postępowania przetargowego. Tymczasem w świetle cytowanych wyżej zapisów ustawy zarządca infrastruktury kolejowej czy tramwajowej ma nie tylko prawo, ale obowiązek domagać się od wykonawcy pomiarów drgań czy hałasu posiadania akredytacji w zakresie badań objętych zamówieniem. W przypadku pomiarów drgań powinien to być zakres pomiarów drgań w budynkach (budowlach) zgodnie z normami PN-85/B-02170 i PN-88/B-02171, są też bowiem jednostki akredytowane w zakresie pomiarów drgań niezwiązanych z ochroną środowiska np. dotyczących pomiarów drgań maszyn czy pomiarów drgań na stanowiskach pracy. Szczegółowy zakres akredytacji danej jednostki badawczej nie jest podawany na certyfikacie (rys. 1), lecz można go sprawdzić na stronie internetowej Polskiego Centrum Akredytacji: www.pca.gov.pl – rys. 2. Reasumując, zamawiający badania drgań (np. badania porealizacyjne)

Laboratorium Badania Odkształceń i Drgań Budowli mgr inż. Piotr Stecz		
Badane obiekty / Grupa obiektów	Badane cechy i metody badawcze	Normy i/lub udokumentowane procedury badawcze
Środowisko domowe	Wartość skuteczna przyspieszenia drgań w pasmach 1/3 oktaowych Zakres częstotliwości: (0,15-80) Hz Zakres przyspieszeń: $\pm 4,9 \text{ m/s}^2 \text{ pk}$ Metoda pośrednia	PN-88/B-02171 „Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach”
Budynki i budowle	Wartość maksymalna przyspieszenia drgań w pasmach 1/3 oktaowych Zakres częstotliwości: (0,15-100) Hz Zakres przyspieszeń: $\pm 4,9 \text{ m/s}^2 \text{ pk}$ Metoda pośrednia	PN-85/B-02170 „Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki”

Osoby odpowiedzialne za opinie i interpretacje włączane do sprawozdań z badań:
mgr inż. Piotr Stecz – odpowiedzialny za włączane do sprawozdań z badań opinie i interpretacje formułowane na podstawie wyników badań wykonanych metodami oznaczonymi w kolumnie 3 znakiem ⇐;

2. Przykład zakresu akredytacji podawanego na stronie internetowej PCA

powinien wymagać od oferenta zarówno udokumentowanego doświadczenia, jak i posiadania akredytacji w zakresie pomiarów drgań budowli (udokumentowanego kopią certyfikatu i wydrukiem zakresu akredytacji).

Poniżej przedstawiono przykładowe realizacje pomiarów drgań komunikacyjnych wykonanych przez Laboratorium Badania Odkształceń i Drgań Budowli w strukturze Instytutu Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej.

Pomiary drgań od ruchu tramwajów w ciągu ulicy Mickiewicza w Warszawie

Celem badań było określenie oddziaływań od ruchu tramwajowego w postaci drgań i hałasu na cztery budynki położone w Warszawie przy ul. Mickiewicza wraz z oceną tych oddziaływań na budynki i na ludzi w budynkach. Uzyskane z pomiarów dane zostały następnie wykorzystane w obliczeniach wibroizolacji nawierzchni szynowej tak, aby w ramach przebudowy konstrukcji na-

wierzchni uzyskać zakładany efekt zmniejszenia poziomu analizowanych oddziaływań.

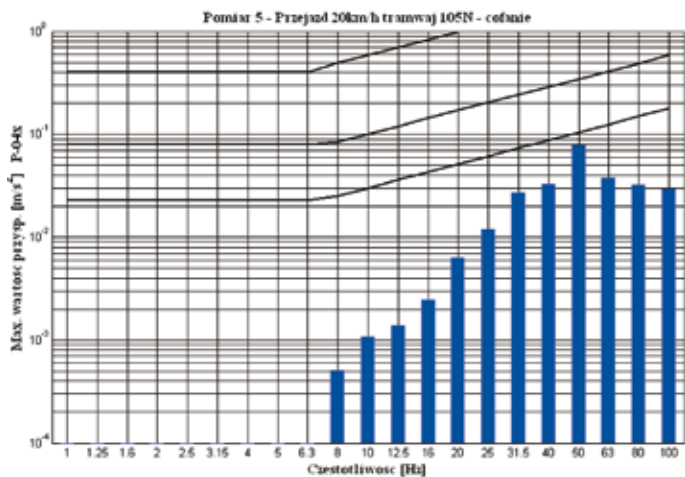
Źródłem drgań podczas badań były przejazdy w sąsiedztwie badanych budynków pustych tramwajów (2 typów: 105N – 2 wozy i 120N – jeden skład) ze sterowaną prędkością (rys. 3) oraz przejazdy pociągów metra w pobliskim tunelu.

Ocenę wpływu drgań na konstrukcję budynku wykonano zgodnie z normą PN-B-2170:1985 za pomocą skali SWD-II. Na rys. 4 i 5 przedstawiono wybrane najniekorzystniejsze wyniki analiz tego wpływu w postaci wartości szczytowych przyspieszeń drgań w pasmach 1/3 oktaowych (tercjowych). Najniższa linia skali SWD-II odpowiada granicy odczuwalności drgań przez budynek.

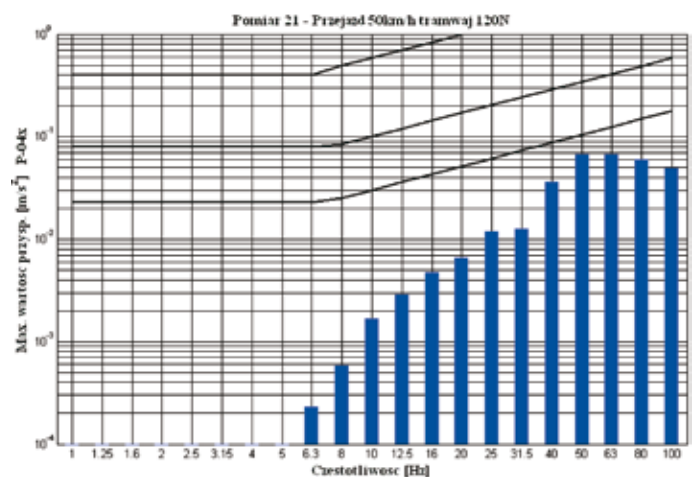
Ocenę wpływu drgań na ludzi wykonano zgodnie z normą PN-B-02171:1988 analizując wartości skuteczne RMS (Root Mean Square) w 1/3-oktaowych (tercjowych) pasmach częstotliwości i porównując je z wartościami odpowiadającymi progowi odczuwalności drgań przez ludzi oraz wartościami odpowiadającymi zapew-



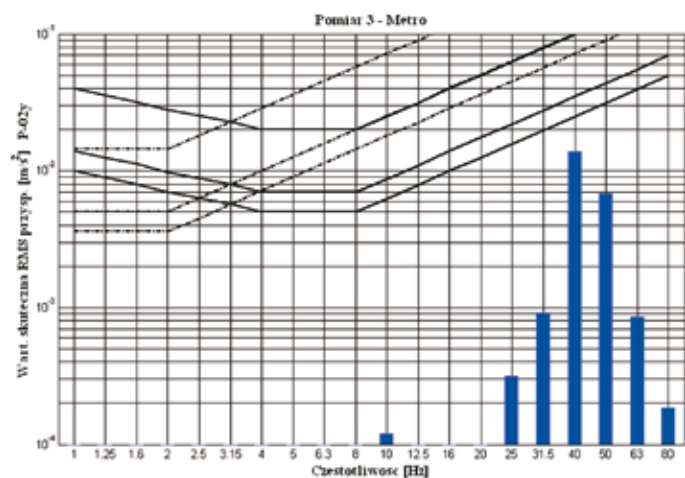
3. Budynek M20 - przejazd tramwaju 105N



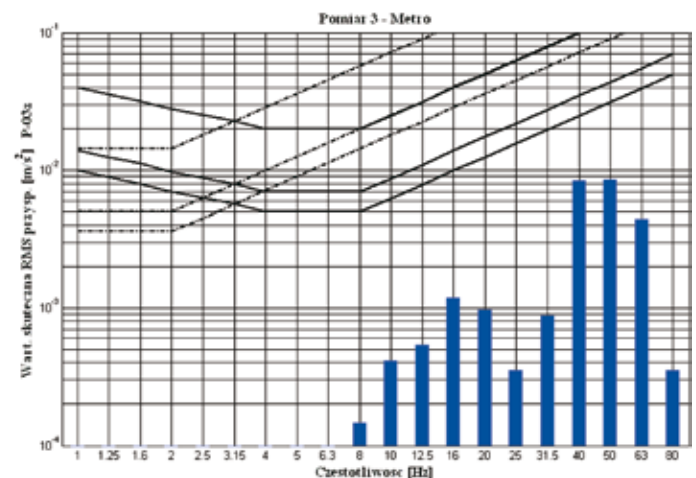
4. Wpływ drgań na budynek M20 - przejazd tramwaju 105N z prędkością 20 km/h



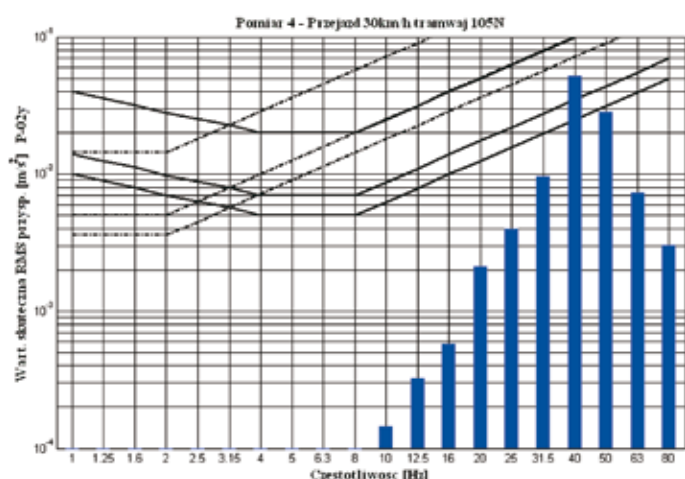
5. Wpływ drgań na budynek M20 - przejazd tramwaju 120N z prędkością 50 km/h



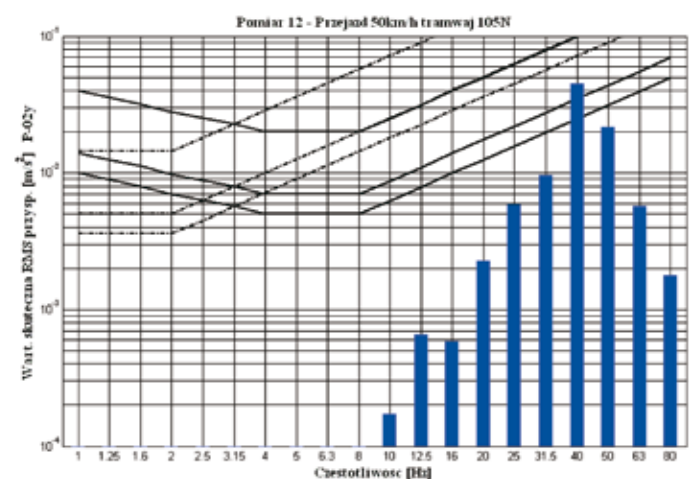
6. Analiza wpływu na ludzi drgań poziomych na 3 piętrze budynku M20 - przejazd metra



7. Analiza wpływu na ludzi drgań pionowych na 3 piętrze budynku M20 - przejazd metra



8. Analiza wpływu na ludzi drgań poziomych na 3 piętrze budynku M20 - przejazd tramwaju 105N z prędkością 30 km/h



9. Analiza wpływu na ludzi drgań poziomych na 3 piętrze budynku M20 - przejazd tramwaju 105N z prędkością 50 km/h

nieniu ludziom niezbędnego komfortu. Na zamieszczonych poniżej rysunkach zaprezentowano wyniki tych analiz – linie ciągłe odpowiadają drganiom działającym wzdłuż podłużnej osi ludzkiego ciała, a linie przerywane - drganiom o kierunku poprzecznym do tej osi.

W kolejności od najniższej położonych linie te odpowiadają:

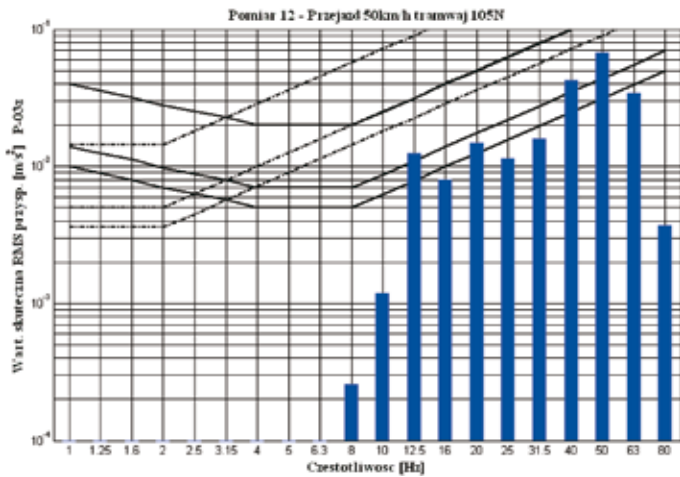
- progowi odczuwalności drgań przez ludzi,

- 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 wy-

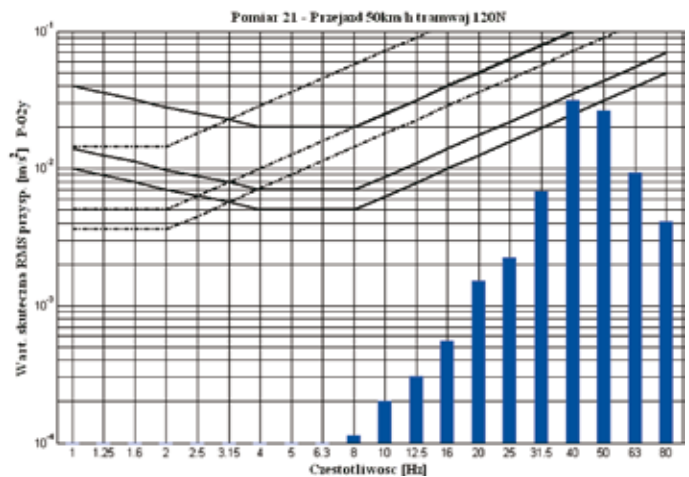
stępowania.

Analizy wpływu drgań na ludzi wykonano na podstawie wyników pomiarów drgań stropów w kierunkach pionowych i poziomych, w wybranych pomieszczeniach poszczególnych budynków. Na rys. 6 - 12 zamieszczono przykładowe wyniki analiz wpływu drgań na ludzi w budynku M20.

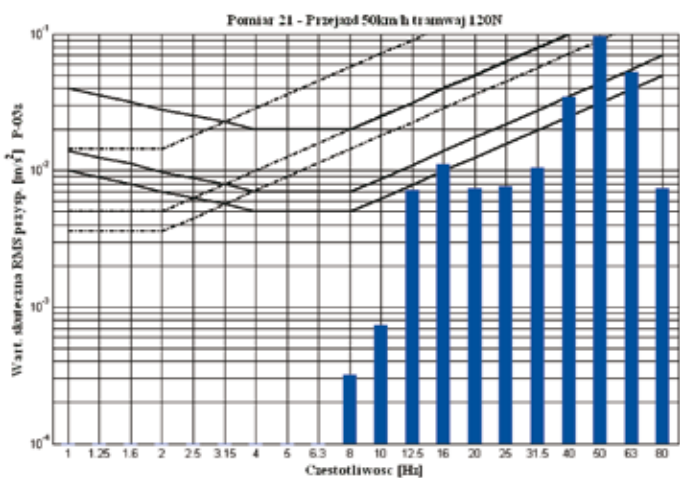
Podsumowując wyniki analiz wpływu drgań na ludzi można stwierdzić, iż w ana-



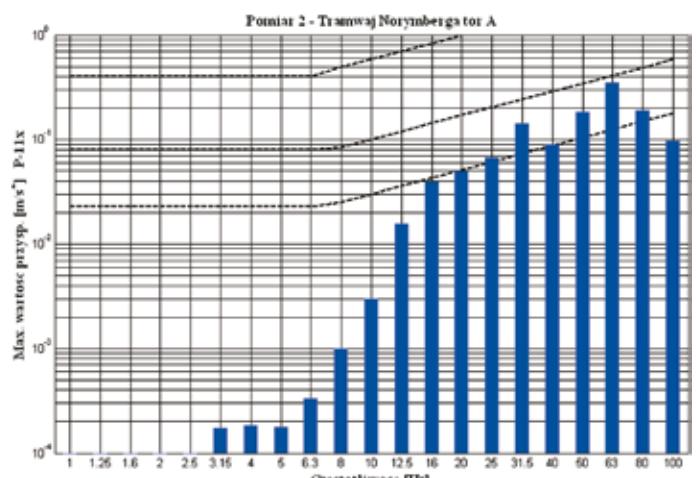
10. Analiza wpływu na ludzi drgań pionowych na 3 piętrze budynku M20 - przejazd tramwaju 105N z prędkością 50 km/h



11. Analiza wpływu na ludzi drgań poziomych na 3 piętrze budynku M20 - przejazd tramwaju 120N z prędkością 50 km/h



12. Analiza wpływu na ludzi drgań pionowych na 3 piętrze budynku M20 - przejazd tramwaju 120N z prędkością 50 km/h



14. Analiza wpływu na budynek drgań poziomych budynku D3 - przejazd tramwaju Norymberga

lizowanym budynku drgania generowane przejazdami metra wywierają na ludzi mniejszy wpływ niż ma to miejsce podczas przejazdów tramwajów. Drgania generowane przejazdami tramwajów przekracza-

ją próg odczuwalności drgań przez ludzi a także granicę komfortu nocnego należnego ludziom w pomieszczeniach mieszkalnych. Na 3 piętrze budynku M20 przekroczenia te wystąpiły podczas przejazdów

obydwu typów tramwajów zarówno z prędkością 30 jak i 50 km/h. Wyniki tych analiz wskazują na konieczność zastosowania wibroizolacji w konstrukcji toru tramwajowego w ciągu ulicy Mickiewicza.

Pomiary drgań wywołanych przejazdami tramwajów w budynkach przy ulicy Dominikańskiej w Krakowie

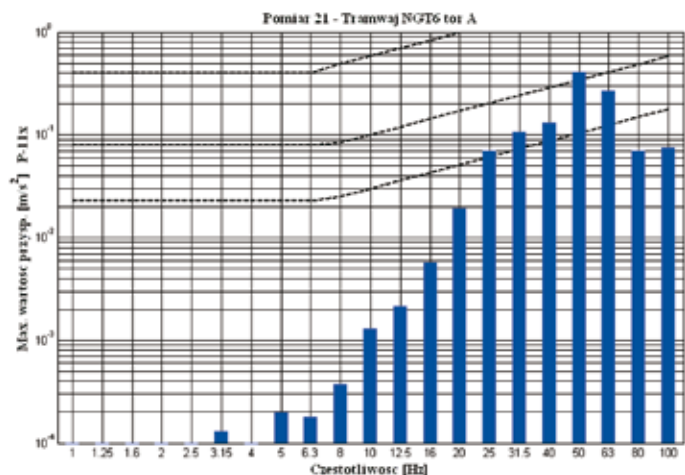
Pomiary zostały wykonane w ramach badań własnych Instytutu Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej. Z uwagi na zbliżający się termin remontu jedynej linii tramwajowej przecinającej zabytkowe centrum Krakowa, wykonano badania drgań budynków, aby uzyskać potrzebne dane wejściowe do ewentualnego wykonania odpowiednich symulacji i obliczeń, a co najistotniejsze, aby określić poziom tła dynamicznego dla stanu istniejącego przed remontem torowiska. Źródłem drgań były przejazdy tramwajów 3 typów. Rozmieszczenie akcelerometrów w jednym z budynków przedstawiono na rys. 13.

Wybrane wyniki analiz wpływu pomierzonych drgań na budynek i na ludzi w budynku zamieszczono na rys. 14 – 18.

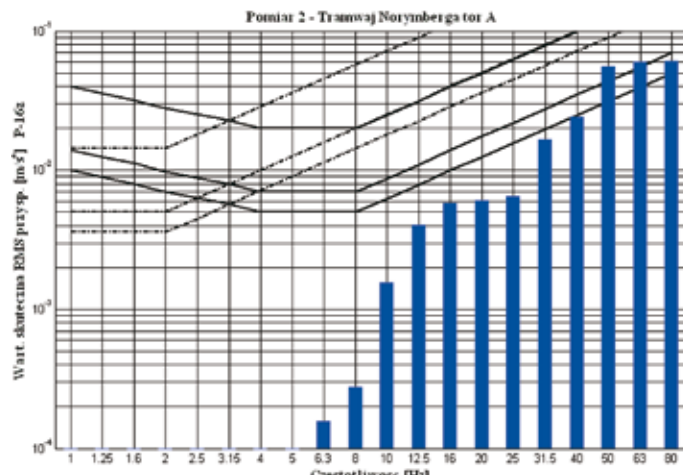
Badania wykazały bardzo wysoki poziom



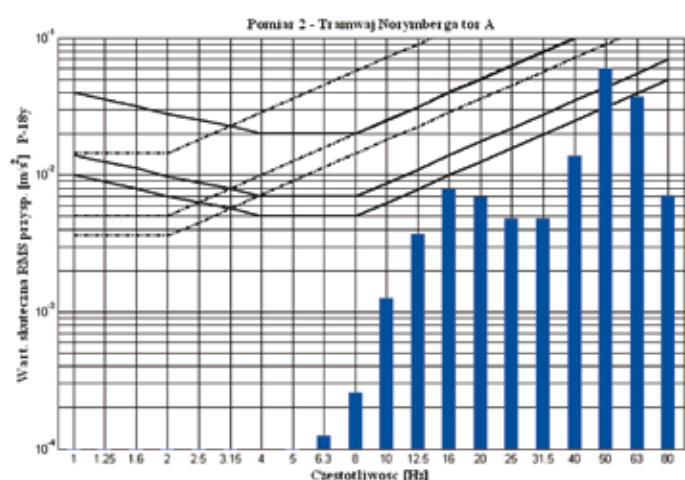
13. Schemat rozmieszczenia czujników w budynku D3



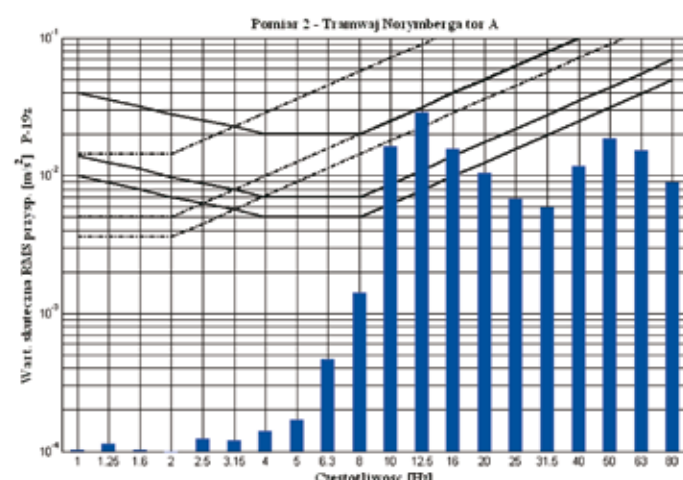
15. Analiza wpływu na budynek drgań poziomych budynku D3 -
- przejazd tramwaju NGT6



16. Analiza wpływu na ludzi drgań pionowych na parterze budynku D3 -
- przejazd tramwaju Norymberga



17. Analiza wpływu na ludzi drgań poziomych na II piętrze budynku D3 -
- przejazd tramwaju Norymberga



18. Analiza wpływu na ludzi drgań pionowych na II piętrze budynku D3 -
- przejazd tramwaju Norymberga

drgań konstrukcji budynku, w dużej części mieszczą się one w II strefie szkodliwości (drgania odczuwalne przez budynek, ale

nieszkodliwe dla konstrukcji; następuje tylko przyspieszone zużycie budynku i pierwsze rysy w wyprawach, tynkach itp.) – włącznie z prze-

kroczeniem granicy B i wejściem w III strefę szkodliwości dla SWD II (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) – rys. 15. Zanotowano również wpływ drgań na ludzi przebywających w budynku - drgania generowane przejazdami tramwajów przekraczają próg odczuwalności drgań przez ludzi a także granicę komfortu nocnego należnego ludziom w pomieszczeniach mieszkalnych (Rys. od 16 do 18).

Pomiary drgań kolejowych w Skierniewicach do raportu oddziaływania na środowisko

W ramach zadania inwestycyjnego „Modernizacja linii kolejowej Warszawa – Łódź, etap I: odcinek Skierniewice – Łódź Widzew” decyzja o środowiskowych uwarunkowaniach zgody na realizację przedsięwzięcia nałożyła na inwestora tj. PKP PLK S.A. Oddział Regionalny w Warszawie - obowiązek zaprojektowania konstrukcji antywibracyjno-antyhałasowych podtorza. W związku z tym na



19. Ogólny widok omawianego budynku na linii Skierniewice – Łódź Widzew

części odcinka Warszawa - Katowice przewidziano zastosowanie wibroizolacyjnych mat podtorowych (podpodsypkowych), z uwagi na zapewnienie ochrony przed drganiami budynków usytuowanych na tym odcinku w sąsiedztwie torów linii.

Celem podjętych prac pomiarowych było wykonanie badań tła dynamicznego, czyli określenie poziomu wpływów dynamicznych, jakim podlegają wspomniane budynki przed realizacją inwestycji tj. podczas przejazdu pociągów po nawierzchni kolejowej o dotychczasowej konstrukcji.

Kolejny etap po zakończeniu inwestycji obejmie powtórzenie badań w tych samych miejscach, co umożliwi porównanie wyników pomiarów drgań uzyskanych przed i po wykonaniu modernizacji torów oraz określenie skuteczności zaproponowanych rozwiązań wibroizolacji.

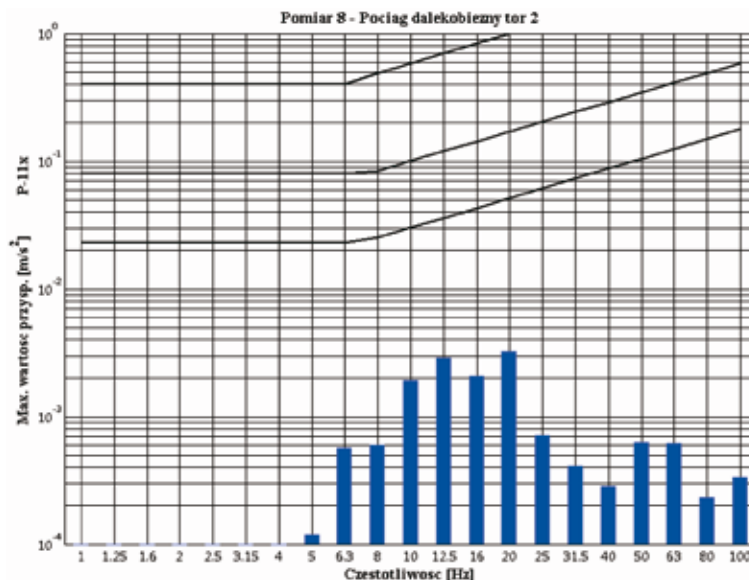
Pomiary prowadzono zarówno pod kątem określenia wpływu drgań na konstrukcję budynków jak i w celu ustalenia wielkości wpływów dynamicznych na ludzi przebywających w badanych obiektach. Tu ograniczono się do prezentacji wyników dla jednego wytypowanego obiektu (rys. 19). Wyniki analiz wpływu drgań na budynek i przebywających w nim ludzi zamieszczono na rys. 20 – 22.

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów i analiz można stwierdzić, iż drgania wywołane przejazdami pociągów należy zakwalifikować jako nieodczuwalne przez konstrukcję tych budynków (mieszczą się w strefie I szkodliwości skali SWD II), natomiast pomierzone drgania przekraczają próg odczuwalności drgań przez ludzi.

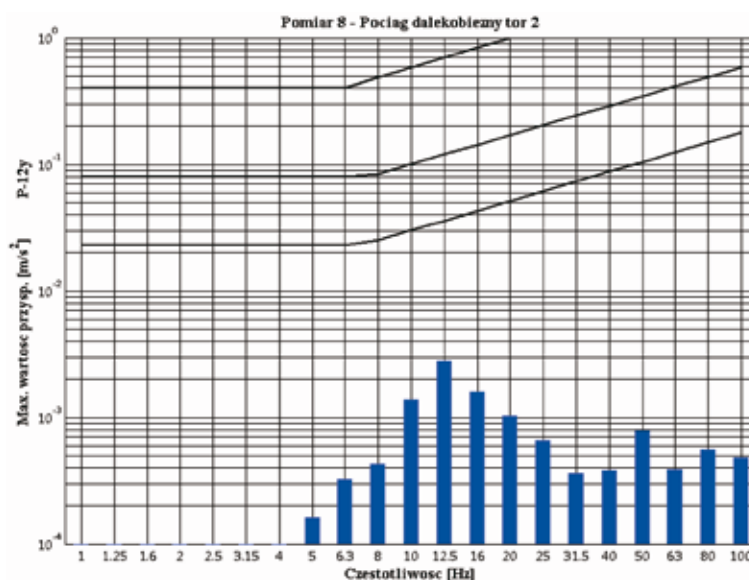
Podany w opracowaniu szczegółowy opis rozmieszczenia punktów pomiarowych w budynkach umożliwia wykonanie badań kontrolnych, które należy przeprowadzić po zakończeniu modernizacji nawierzchni kolejowej. Badania takie należy wykonać - w miarę możliwości - w tych samych punktach pomiarowych.

Wnioski

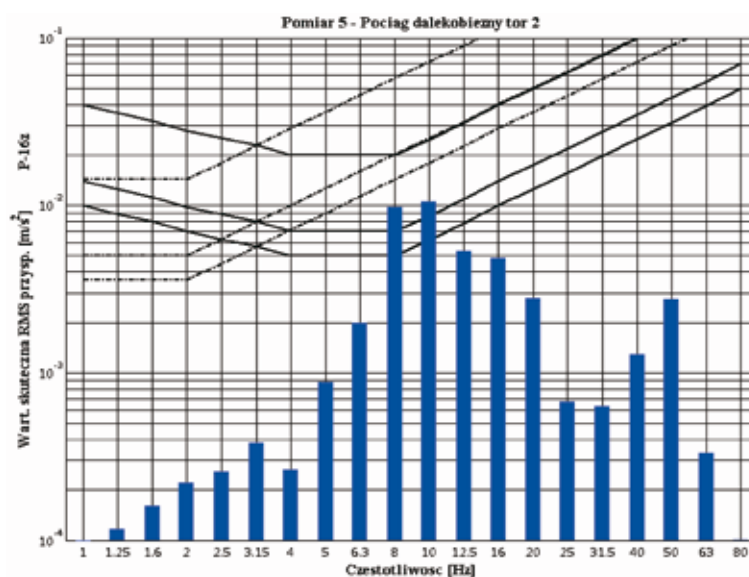
Akredytowane laboratoria muszą spełniać określone procedury w ramach przyjętego systemu jakości. Jakość ich pracy jest stale kontrolowana podczas okresowych auditów. Dlatego powierzanie prac pomiarowych takim laboratorium to nie tylko formalne spełnienie wymogów Ustawy Prawo Ochrony Środowiska, lecz także jedyna możliwa gwarancja jakości wykonanych badań i ich zgodności z aktualnymi aktami prawnymi z danej dziedziny. Wykonywanie badań według ściśle określonych procedur zapewnia powtarzalność wyników, co jest wymagane np. przy analizie porównawczej stanu sprzed realizacji inwestycji (badań tła dynamicznego) i wyników badań porealizacyjnych. ◀



20. Analiza wpływu na budynek składowej x (kierunek prostopadły do torów) drgań poziomych - przejazd pociągu dalekobieżnego torem 2



21. Analiza wpływu na budynek składowej y (kierunek równoległy do torów) drgań poziomych - przejazd pociągu dalekobieżnego torem 2



22. Analiza wpływu na ludzi drgań pionowych budynku - przejazd pociągu dalekobieżnego torem 2