

Tadeusz Chyży*

BADANIA ODDZIAŁYWAŃ DRGAŃ POCHODZENIA KOMUNIKACYJNEGO NA BUDYNKI MIESZKALNE I LUDZI W AGLOMERACJI WARSZAWSKIEJ

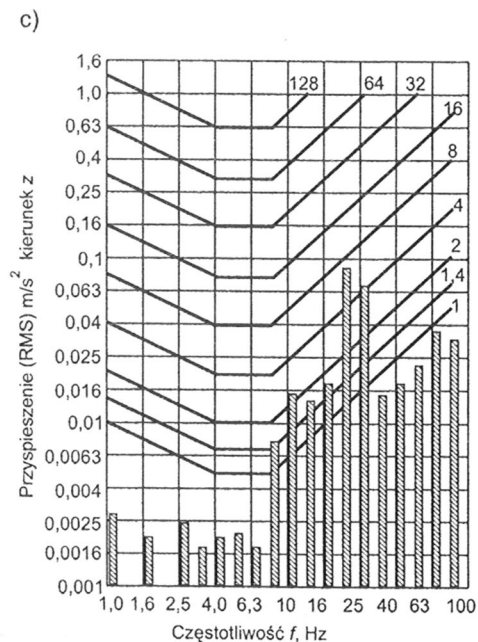
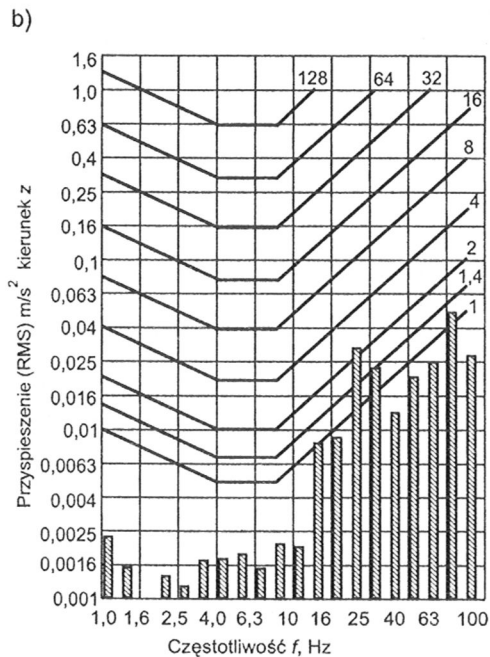
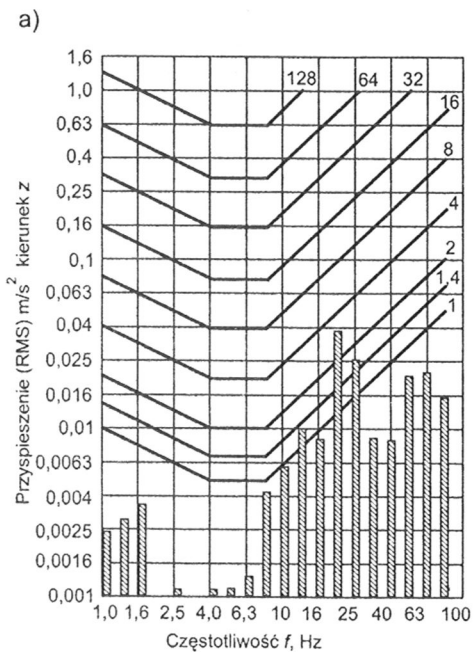
W artykule zaprezentowano wyniki badań poziomów drgań w budynkach mieszkalnych, generowanych przez ruch taboru kołowego. Ocenę poziomów drgań odniesiono do pasm 1/3-oktawowych i naniesiono na nomogramy dla analizowanego kierunku drgań zalecone w PN-88/B--02171 [1] oraz instrukcji ITB nr 348/98 [2], względem których dokonano oceny szkodliwości tych drgań. Podano również wyniki badań propagacji drgań źródło-budynki oraz zaprezentowano koncepcję metody odzworowania dowolnego rodzaju oddziaływań transmitowanych przez podłoże gruntowe.

1. Wpływ ruchu drogowego na poziom oddziaływań drgań w budynkach

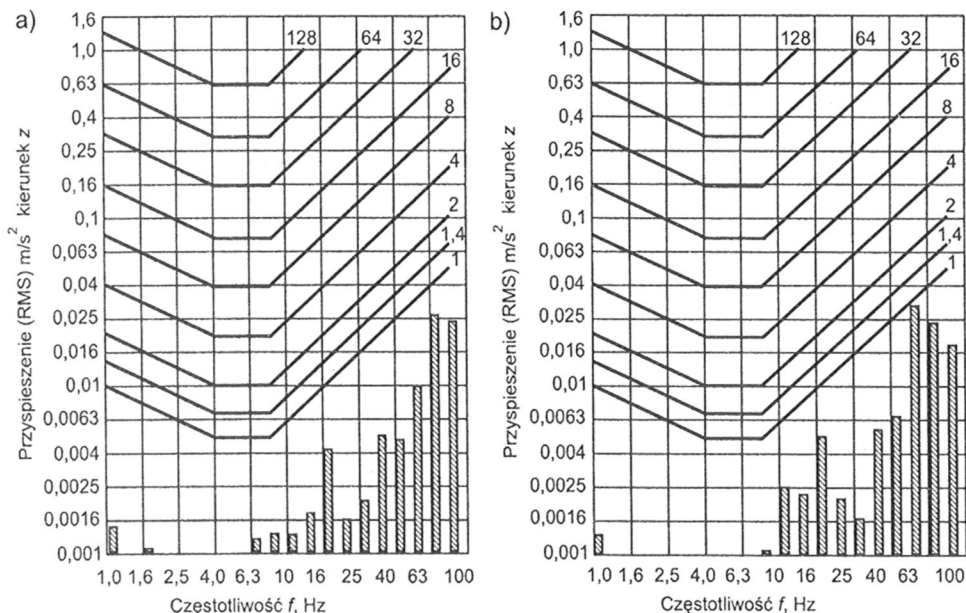
Zespół Obserwacji i Analiz Budowli Instytutu Techniki Budowlanej wykonał pomiary w kilkunastu obiektach tak zwanej starej substancji w Warszawie, Mińsku Mazowieckim i Sochaczewie [3, 4, 5]. W obiektach tych użytkownicy stwierdzili podwyższony poziom odczuwalności (dyskomfort) drgań pochodzących od przejeżdżających pojazdów. Pomiary wykonano głównie na stropach na kierunku pionowym, wyznaczając na ich podstawie częstotliwościowe charakterystyki w tak zwanych pasmach tercjowych (1/3-oktawowych).

Definicja określenia pasmo tercjowe, w myśl normy [6] brzmi: *pasmo częstotliwości, dla którego stosunek częstotliwości granicznych pasma: górnej i dolnej jest równy $\sqrt[3]{2}$* . Pomiary poziomów drgań i interpretację ich wyników przeprowadzono według zaleceń normy [1] i Instrukcji ITB [2] (autorami tej ostatniej są twórcy normy [1, 7]). Pomiary dotyczyły kierunku pionowego drgań stropów (kierunek z). Częstotliwości środkowe (f_c) pasm 1/3-oktawowych w analizowanym przedziale od 1 Hz do 80 Hz wynoszą odpowiednio: 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,16; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,6; 40,6; 50,0; 63,0; 80,0.

* dr inż. – Politechnika Białostocka w Białymstoku



Rys. 1. Zarejestrowane poziomy drgań rozłożone w pasmach 1/3-oktawowych – pomiary w budynku przy ul. Grochowskiej 263 w Warszawie: a) autobus, b) tramwaj, c) TIR z ładunkiem
 Fig. 1. Measured vibration levels calculated in 1/3 octave strips – measurement in building 263, Grochowska St., Warsaw: a) bus, b) tramway, c) TIR tull loaded

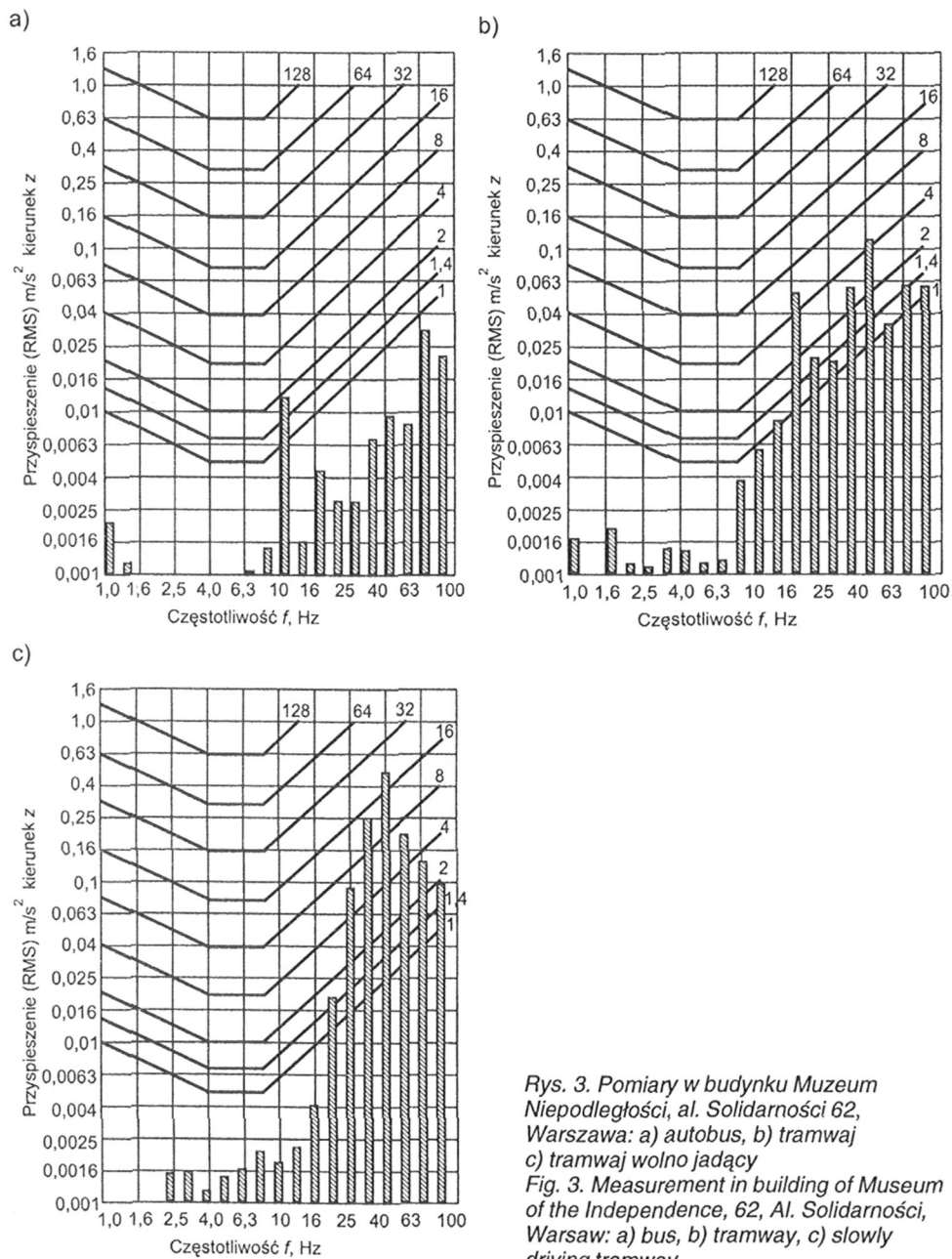


Rys. 2. Pomiarzy w budynku przy ul. Okopowej w Warszawie: a) 3 samochody ciężarowe, b) samochód ciężarowy z przyczepą załadowaną piaskiem
 Fig. 2. Measurement in building 20, Okopowa St., Warsaw: a) 3 trucks, b) articulated vehicle with sand

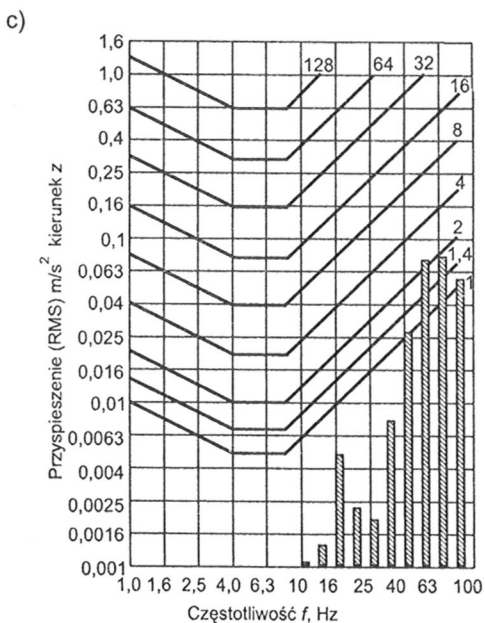
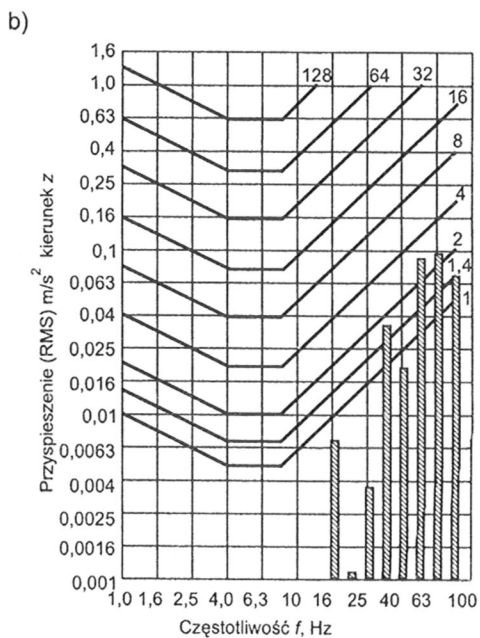
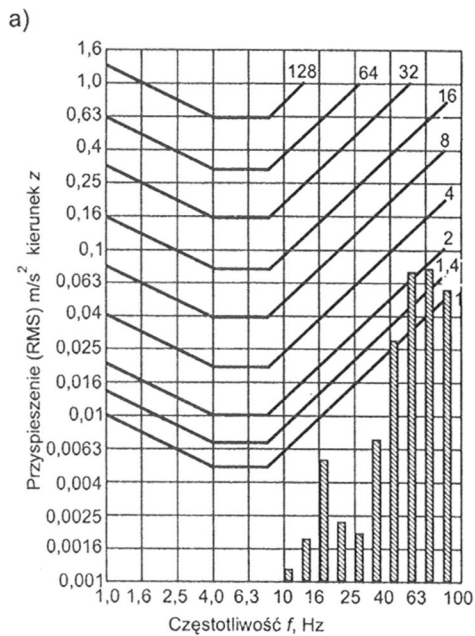
Porównywane były wartości skuteczne (RMS – root-mean-square-value) przyspieszenia drgań $a(t)$ (oś pionowa nomogramu), które na rysunkach przedstawiono w postaci słupków dla każdej z częstotliwości środkowych f_i (oś pozioma nomogramu). Wartość skuteczna według normy [6] definiowana jest jako pierwiastek kwadratowy ze średniej arytmetycznej kwadratów wartości przyspieszenia (zmierzonych wartości dyskretnych) w określonym przedziale czasu. Dla n dyskretnych wartości pomierzonych przyspieszeń a_i , wartość skuteczna wyrażana jest wzorem

$$\bar{a} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i^2} \quad (1)$$

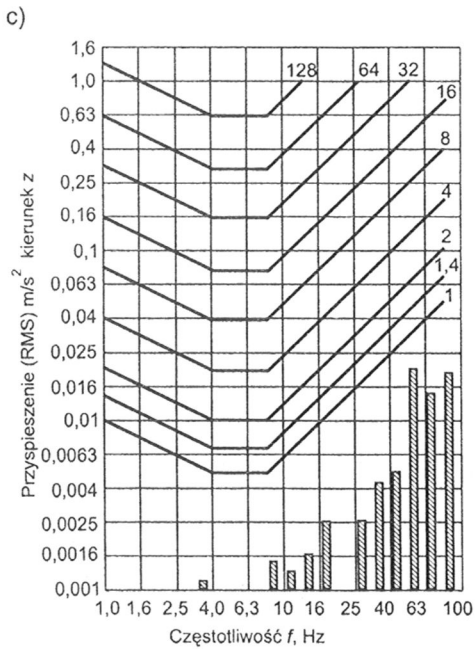
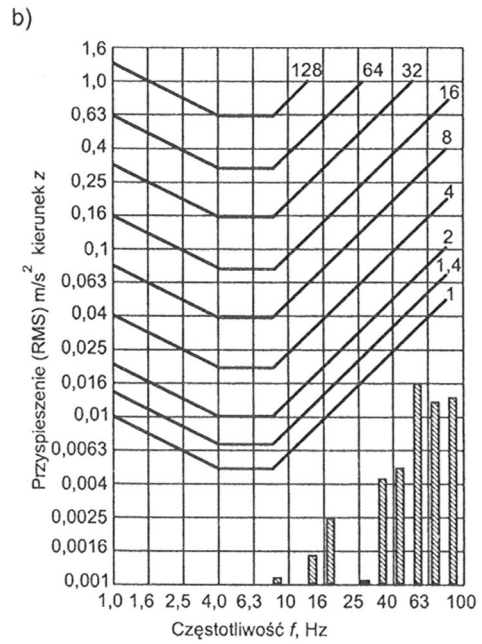
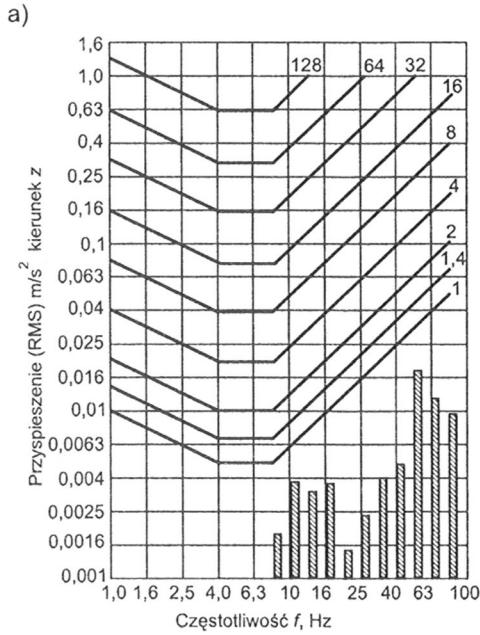
Źródłem drgań były przejeżdżające w pobliżu obiektów pojazdy kołowe i szynowe. Interpretację wyników pomiarów w odniesieniu do charakterystyk częstotliwościowych i amplitud (skutecznych) przyspieszenia przedstawiono na wykresach (rys. 1–8). Wykresy przedstawiono w pełnym zakresie, zgodnie z Instrukcją [2], poszczególne linie łamane powyżej oznaczonej jako 1, a więc 1,4; 2; 4 itd. odpowiadają poziomom drgań tyle razy większych w stosunku do podstawowego poziomu, ile wynosi liczba przy linii (przytoczono tu objaśnienie sankcjonowane instrukcją [2]). Linie z liczbą 4 oznaczają próg dyskomfortu przyjęty dla dnia, a linie z liczbą 1,4 – próg dyskomfortu odpowiednio dla nocy.



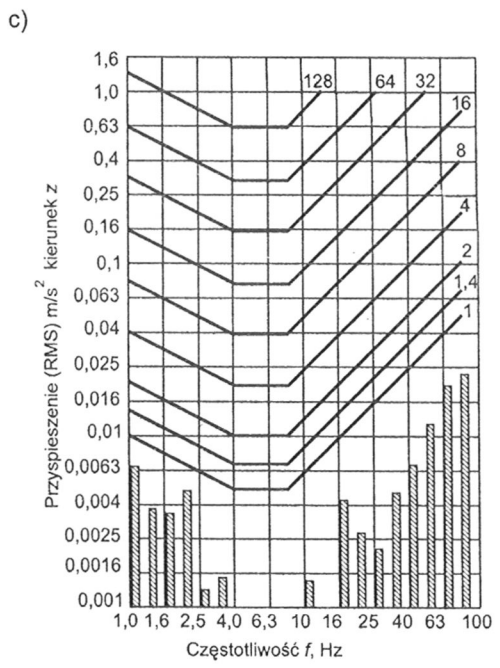
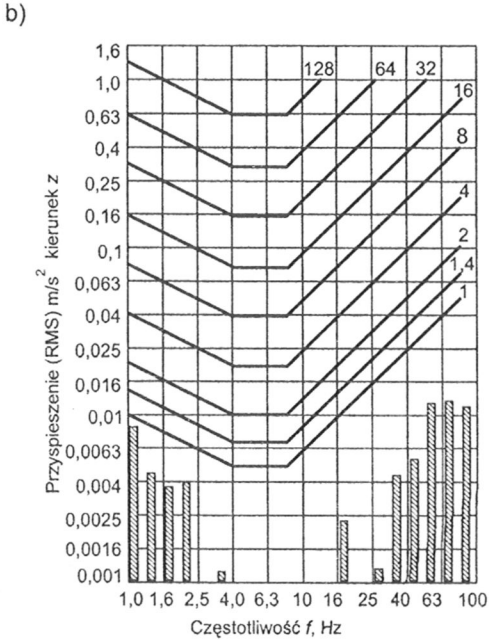
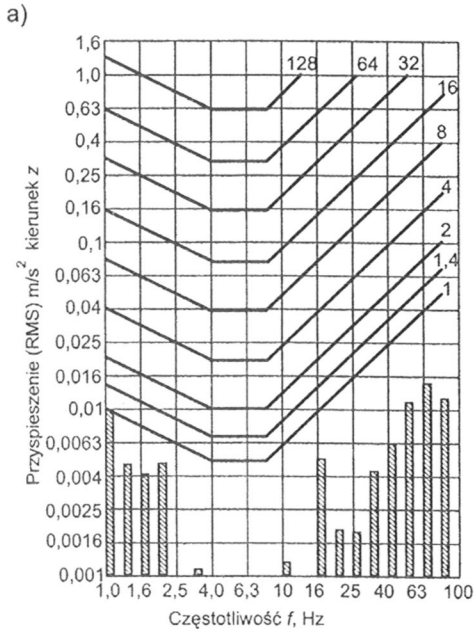
Rys. 3. Pomiary w budynku Muzeum Niepodległości, al. Solidarności 62, Warszawa: a) autobus, b) tramwaj c) tramwaj wolno jadący
 Fig. 3. Measurement in building of Museum of the Independence, 62, Al. Solidarności, Warsaw: a) bus, b) tramway, c) slowly driving tramway



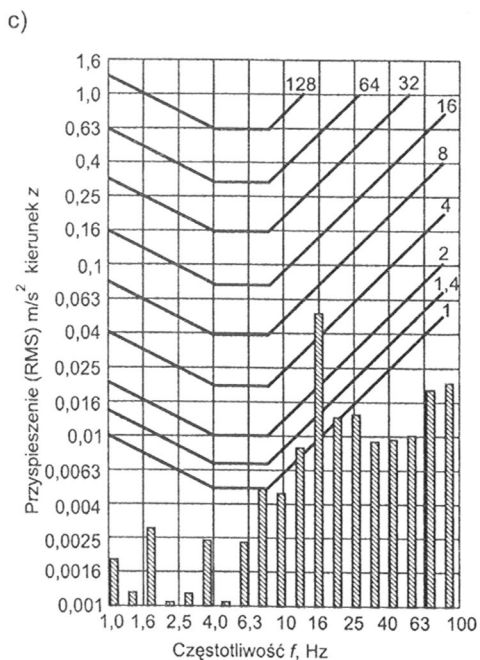
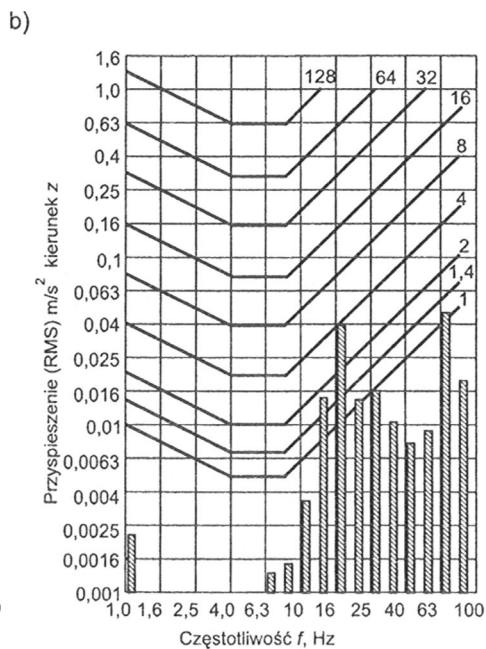
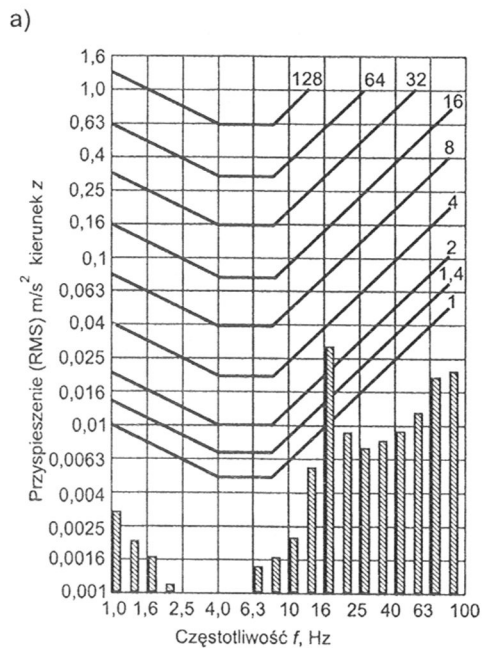
Rys. 4. Pomiary w budynku przy ul. Potockiego 4/78 (XI piętro) w Warszawie:
 a) autobus, b) tramwaj, c) autobus
 Fig. 4. Measurement in building 4/78 (XI floor), Potocki St., Warsaw: a) bus, b) tramway, c) bus



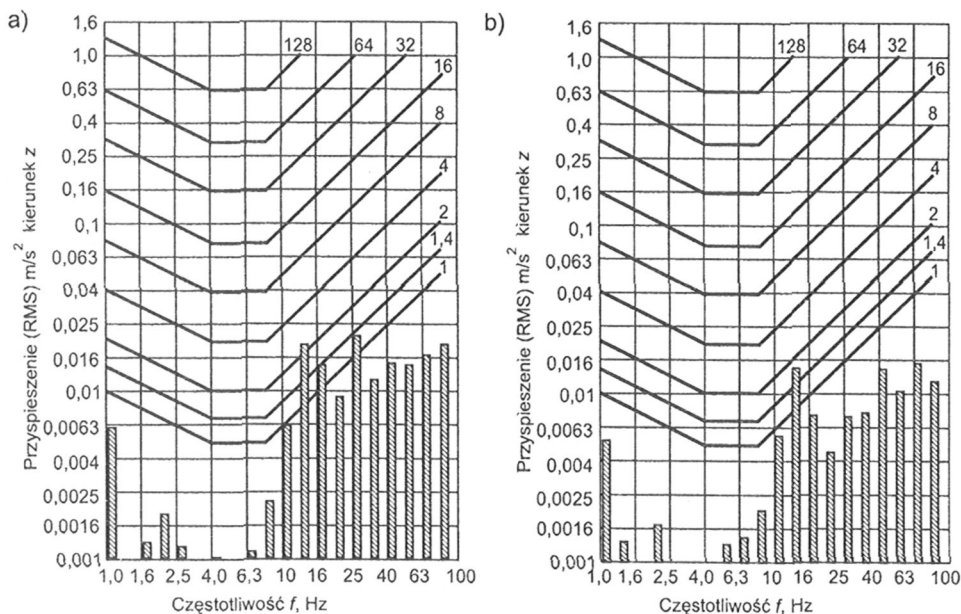
Rys. 5. Pomiary w budynku przy ul. Rapperswilskiej 9/13 (II piętro) w Warszawie:
 a) TIR, b) 2 samochody typu TIR, c) TIR
 Fig. 5. Measurement in building 9/13
 (II floor), Rapperswilska St., Warsaw:
 a) TIR, b) TIRs one by one, c) TIR



Rys. 6. Pomiary w budynku przy ul. Warszawskiej 212/78 (II piętro) w Mińsku Mazowieckim:
 a) Jelcz, b) Star c) TIR
 Fig. 6. Measurement in building 212/78 (II floor), Warszawa St., Mińsk Mazowiecki: a) truck Jelcz, b) lorry Star, c) TIR



Rys. 7. Pomiary w budynku przy ul. Warszawskiej 13A m 2 (I piętro) w Sochaczewie: a) Jelcz z przyczepą, b) TIR, c) TIR + autobus
 Fig. 7. Measurement in building 13A/2 (I floor), Warszawska St., Sochaczew: a) articulated vehicle, b) TIR, c) TIR + bus



Rys. 8. Pomiary w gmachu DPS przy al. Solec 36A w Warszawie: a) pociąg jadący w kierunku Dworca Wschodniego, b) pociąg jadący w kierunku Śródmieścia

Fig. 8. Measurement in building DPS 36a, Solec St., Warsaw: a) the train running toward „East Station”, b) the train running toward the City

Komentarz do zestawień na rysunkach od 1 do 8

A. Odnośnie do amplitudalnych wartości przyspieszeń

1. Najwyższy poziom drgań wzbudzany był przez takie pojazdy, jak autobusy, tramwaje i duże samochody ciężarowe. Małe i lekkie pojazdy pominięto w analizie, gdyż generowany przez nie poziom drgań był bardzo mały. Świadczy to o tym, iż na nierównościach jezdni poziom generowanych drgań jest zależny od masy pojazdu, a właściwie od nacisku na oś. Autobusy i tramwaje, a zatem transport miejski, są podstawowym źródłem drgań w terenie zurbanizowanym, mimo iż poruszają się stosunkowo wolno w porównaniu do innych użytkowników dróg. Ciężkie samochody typu TIR również generują duży poziom drgań, lecz nieproporcjonalny do swojej masy i gabarytów. Tego typu jednostki są w większości pojazdami nowoczesnymi (w porównaniu do taboru miejskiego), mają sprawne zawieszenie i najczęściej masa rozkłada się na wieloosiowy układ jezdny, co zmniejsza emitowany poziom oddziaływań dynamicznych do otoczenia. Pomiary wykonane dla autobusu, tramwaju i załadowanego TIR-a (rys. 1) potwierdzają te prawidłowości.

2. Pojazdy poruszające się szybciej generują wyższy poziom drgań. Na rysunku 2 przedstawiono jednak przykład, w którym wolno jadący tramwaj generował silniejsze oddziaływania w porównaniu do podobnej jednostki poruszającej się z normalną prędkością.

3. Sfalowania nawierzchni oraz wyrwy spowodowane penetracją zamarzającej wody w okresie zimowo-wiosennym stanowią istotny czynnik generowania drgań w wyższym paśmie częstotliwościowym. Kolejnymi elementami są nierówności drogi wynikające ze zużycia jej warstw podbudowy, co przejawia się łagodnymi kilkumetrowymi falami, powodującymi kołysanie się samochodów. W tym przypadku szczególnie puste, niezaladowane samochody ciężarowe mogą generować drgania poprzez kołysanie się skrzyni ładunkowej. Oddziaływania te lokują się w niższym paśmie częstotliwościowym.

4. W przypadku większej liczby samochodów przejeżdżających jeden za drugim stwierdzono wzbudzania wyższego poziomu drgań niż w przypadku przejeżdżającego pojedynczego samochodu.

B. Odnośnie do charakterystyk częstotliwościowych wzbudzanych drgań:

1. Charakterystyki częstotliwościowe oddziaływań na różnych stanowiskach badawczych różnią się od siebie. Można zauważyć, że mogą to być charakterystyki skupione w wyższym paśmie częstotliwościowym (uznawany za tzw. dolne pasmo akustyczne [8]) – rys. 4 i 5, lub charakterystyki szerokopasmowe – rys. 1, 6 i 7.

2. Stwierdzono, że wyższy poziom amplitud tercjowych ulokowany jest w wyższym paśmie częstotliwościowym. Na niektórych stanowiskach pomiarowych (rys. 6) stwierdzono stosunkowo duży poziom oddziaływań w zakresie infradźwiękowym. Były to stanowiska zlokalizowane przy drogach krajowych – przelotowych przez daną miejscowość. Na drogach miejskich znacznie większe oddziaływania lokowane są w dolnym paśmie akustycznym (wyższe pasmo częstotliwościowe). Taki stan rzeczy jest powodowany rodzajem transportu oraz stanem dróg, co opisano wyżej, charakteryzując typowe uszkodzenia nawierzchni.

3. Prędkość pojazdów nie miała większego wpływu na charakterystyki częstotliwościowe.

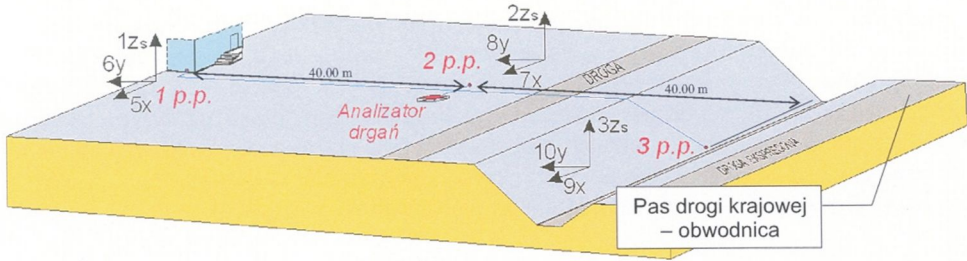
4. Badania potwierdzają istotny wpływ jakości transportu miejskiego na poziom rejestrowanych drgań. Dotyczy to jakości akustycznej nowych autobusów i tramwajów (ważne przy zakupie) oraz jakości konserwacji środków transportu miejskiego.

2. Transmisja drgań źródło-budynki

2.1. Opis stanowiska pomiarowego

Pomiary drgań przeprowadzone przy nowej obwodnicy miasta Ostrów Mazowiecka dotyczyły przyspieszeń rejestrowanych w trzech punktach pomiarowych na drodze propagacji drgań od źródła do budynku (rys. 9). Monitoring prowadzono w godzinach dziennych przy intensywnym ruchu pojazdów drogowych.

Czujniki drgań w każdym z punktów pomiarowych rozmieszczono w trzech osiach: pionowej – Z, poziomej – X (zdefiniowanej w kierunku podłużnym budynku) oraz – Y (prostopadłej do osi X i Z). Na rysunku 9 litery x, y, z oznaczają kierunki pomiarowe, cyfry oznaczają numery poszczególnych czujników. Literą s oznaczono czujniki sejsmiczne 3191A; pozostałe czujniki są czujnikami typu 3187D.



Rys. 9. Szkic rozmieszczenia czujników na drodze propagacji drgań
 Fig. 9. The graph of the sensors location on the way of the vibrations propagation



Rys. 10. Lokalizacja czujników w pobliżu drogi ekspresowej
 Fig. 10. The localization of the sensors nearby the expressway



Rys. 11. Lokalizacja czujników w połowie drogi propagacji drgań wraz z aparaturą pomiarową
 Fig. 11. The localization of the sensors midway the vibration propagation and measuring equipment

Pierwszy punkt pomiarowy zlokalizowano na fundamencie ściany szczytowej budynku od strony źródła drgań na wysokości przyległego terenu. Drugi punkt (jako punkt kontrolny) umieszczono w połowie odległości od pasa drogowego (rys. 11), a trzeci punkt przy drodze (rys. 10). Do badań wykorzystano 4 czujniki piezoelektryczne typu 3191A oraz 6 czujników piezoelektrycznych typu 3197D firmy Dytran. Czujniki w punktach pomiarowych 2 i 3 umieszczono na metalowych sondach długości 1,0 m wbitych w podłoże gruntowe. Odległości pomiędzy punktami pomiarowymi wynoszą 40,0 m.

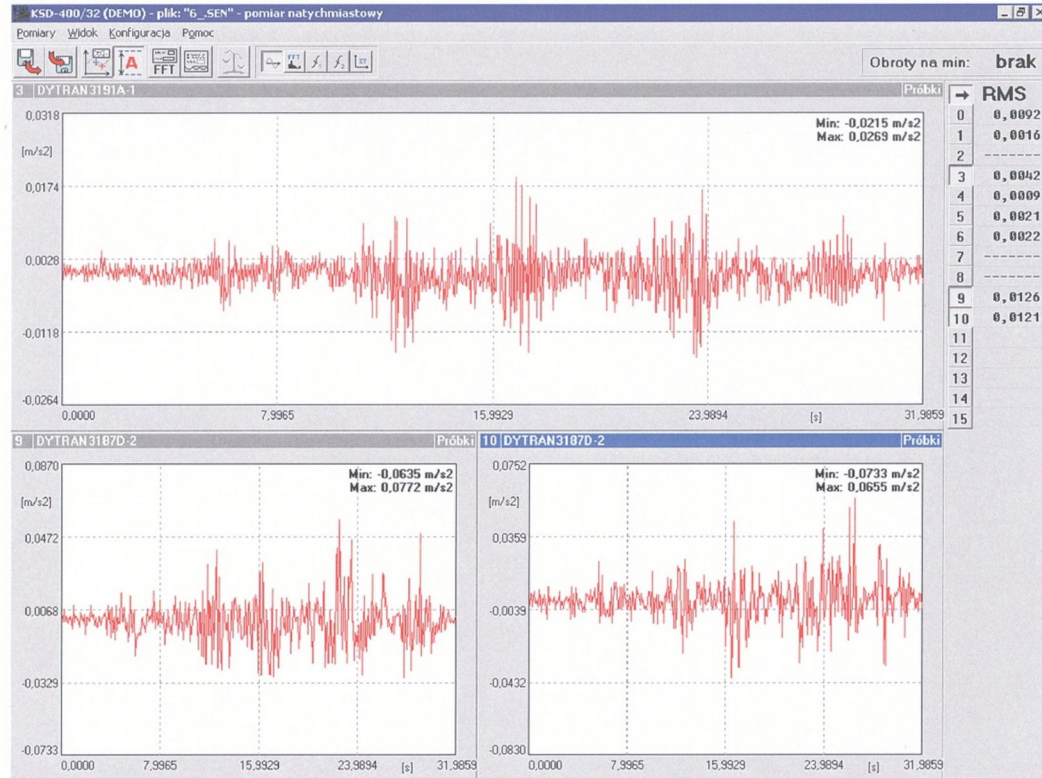
2.2. Wyniki pomiarów – podsumowanie

Na podstawie analizy wyników badań można stwierdzić, że w zakresie porównawczym amplitud maksymalnych pełnego sygnału na drodze źródło-budynek następuje zjawisko zmniejszania się amplitudy sygnału wraz ze zwiększaniem się odległości od jego źródła. Stwierdzono, iż gradient zmiany amplitudy maksymalnej jest znacznie mniejszy dla kierunku pionowego w porównaniu z kierunkami poziomymi. Na rysunku 12 zaprezentowano okno programu obsługi aparatury pomiarowej KSD-400 z zarejestrowanymi w punkcie pomiarowym nr 3 (zlokalizowanym tuż przy drodze krajowej) akcelerogramami drgań podłoża gruntowego. Na rysunkach 13 i 14 pokazano przykłady porównania amplitud w trzech punktach pomiarowych oznaczonych numerami 1, 2 i 3. Na wykresach przedstawiono skutki redukcji (gaszenia) zmierzonych drgań oddzielnie dla wartości dodatnich i ujemnych amplitud przyspieszenia.

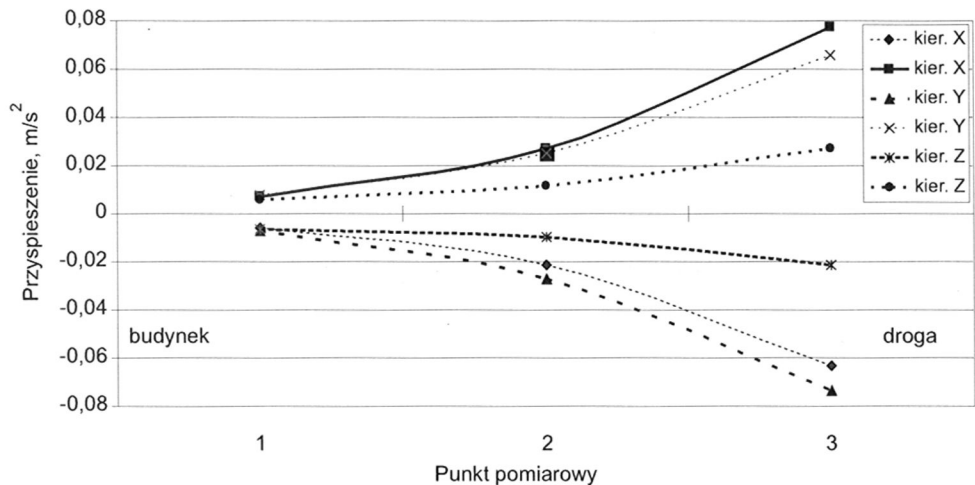
W kolejnym etapie analizy sprawdzono propagację drgań w poszczególnych zakresach częstotliwościowych. W tym celu sygnał pomiarowy rozłożono na pasma o szerokości 5 Hz (cały zakres od 0 do 100 Hz), które poddano oddzielnej obróbce, wyznaczając wartości skuteczne RMS przyspieszenia dla poszczególnych pasm. Przykładowe wyniki zamieszczono na wykresach (rys. 15 i 16). Analiza wyników wykazuje, że największe amplitudy sygnału źródła lokowane są w zakresie od 15 Hz do 70 Hz dla kierunku pomiarowego y prostopadłego do kierunku osi drogi, od 20 Hz do 50 Hz dla kierunku pomiarowego x równoległego do kierunku osi drogi i od 10 Hz do 35 Hz dla kierunku pomiarowego z pionowego.

Odnosnie do gradientu redukcji drgań w poszczególnych pasmach można zauważyć, że jest on największy dla pasm środkowych analizowanego zakresu częstotliwościowego i lokuje się w przedziale od 25 Hz do 50 Hz. W przypadku pasm skrajnych efekt gaszenia amplitudy jest znacznie słabszy, a nawet obserwowane jest zjawisko amplifikacji. Efekt może być związany z konkretnymi warunkami geotechnicznymi i wymaga dalszych badań.

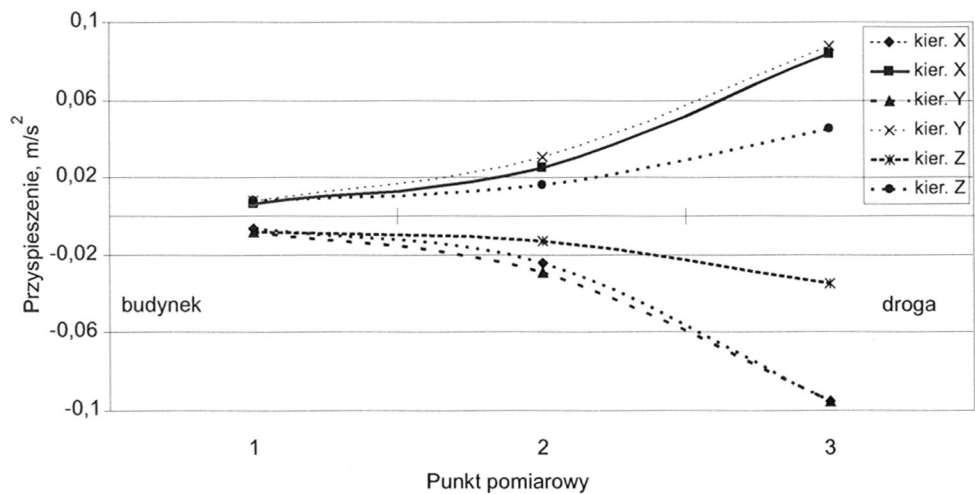
Analiza sygnału w wąskich pasmach częstotliwościowych może być wykorzystana w inżynierii tłumienia drgań komunikacyjnych, przy konstruowaniu odpowiednich rozwiązań technicznych. Autor proponuje zastosowanie rozkładu na pasma również w tzw. metodzie odtworzeniowej [9], omówionej w następnym punkcie.



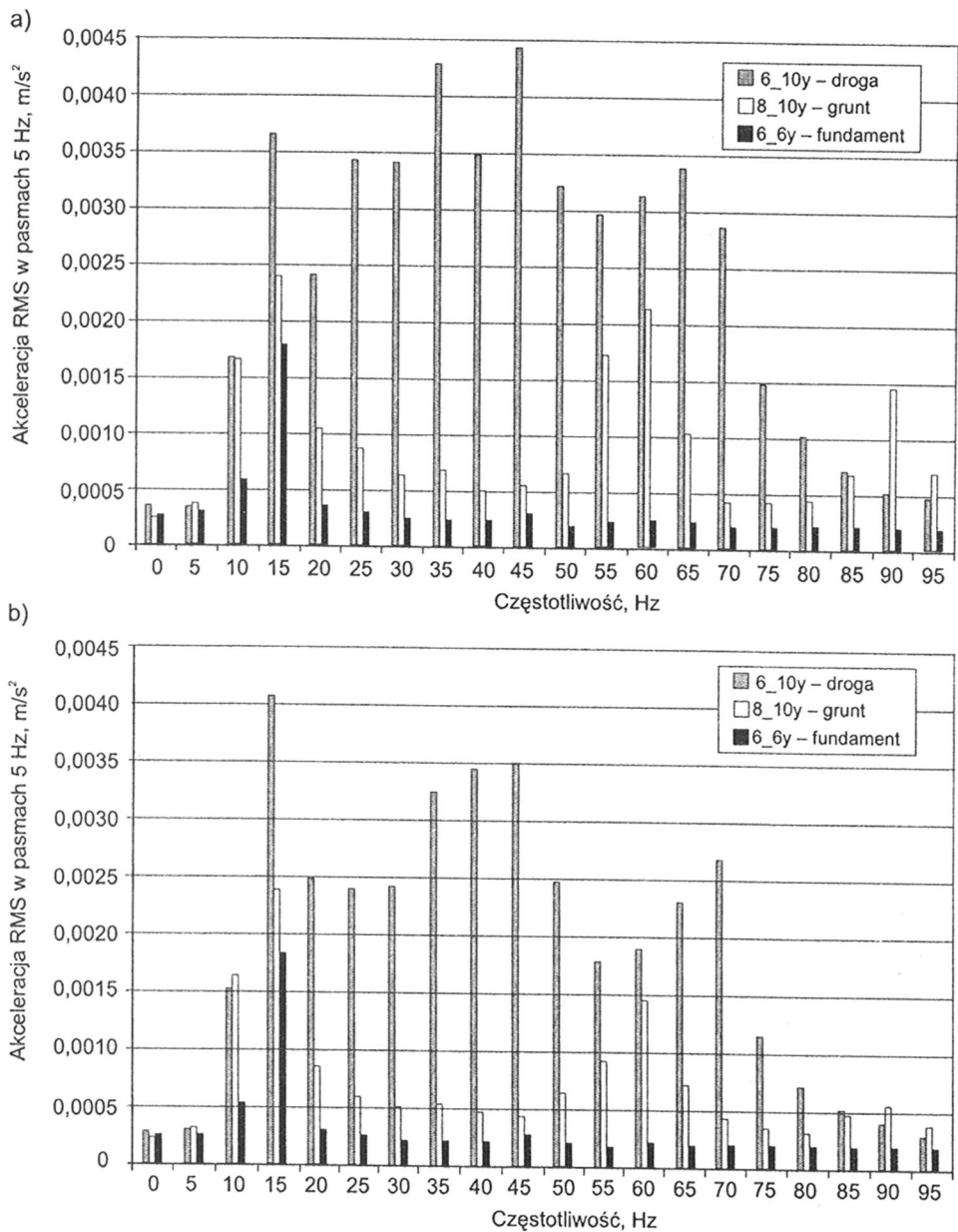
Rys. 12. Przykładowe akcelerogramy drgań zmierzonych w punkcie zlokalizowanym przy drodze (seria pomiarowa nr 6). Kanał nr 3 – kierunek pionowy z, kanał nr 9 – kierunek poziomy x i kanał nr 10 – kierunek poziomy y
 Fig. 12. Example-vibrations accelerograms measured in the point situated near the road (the measuring-series No 6). The channel No 3 – the vertical direction z, the channel No 9 – the horizontal direction x and the channel No 10 – the horizontal direction y



Rys. 13. Charakterystyka zmiany amplitudy maksymalnej na odcinku źródło-budynek (seria pomiarowa nr 6)
 Fig. 13. The characteristic of the maximum amplitude changes on the length source-building (the measuring series No 6)

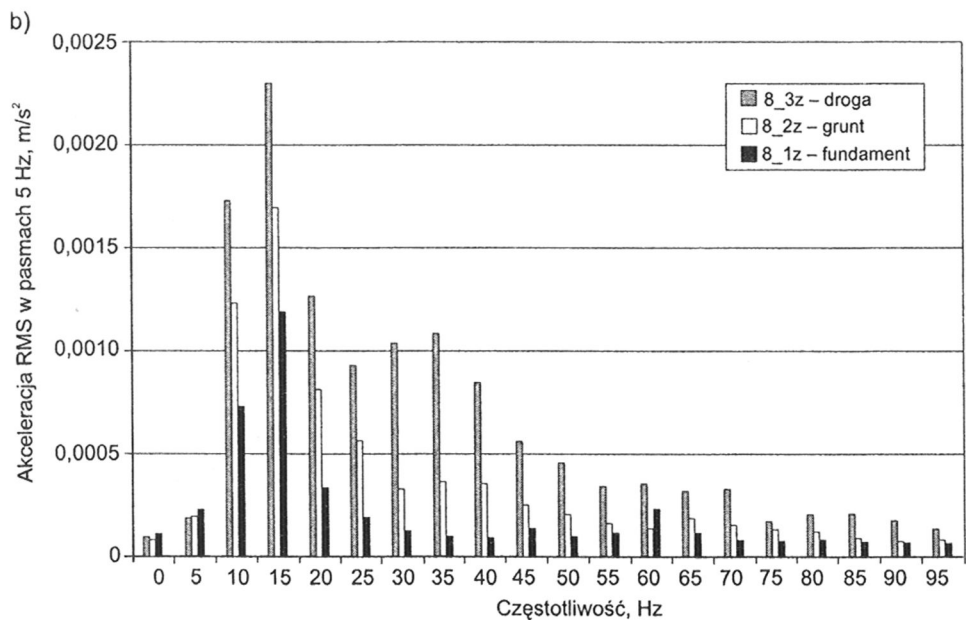
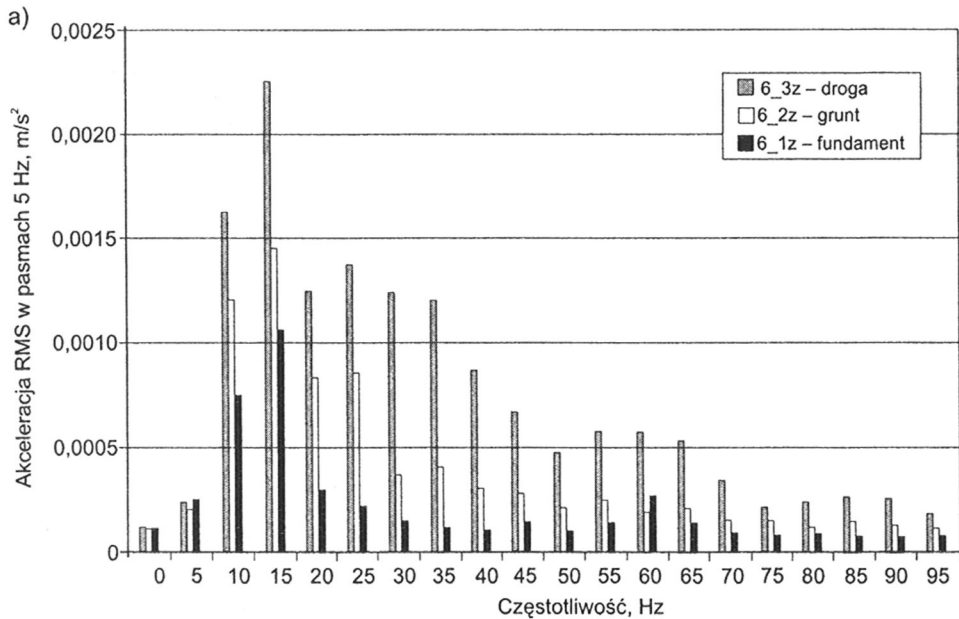


Rys. 14. Charakterystyka zmiany amplitudy maksymalnej na odcinku źródło-budynek (seria pomiarowa nr 8)
 Fig. 14. The characteristic of the maximum amplitude change on the length source-building (the measuring series No 8)



Rys. 15. Transmisja drgań w pasmach – kierunek y i prostopadły do osi drogi: a) seria pomiarowa nr 6, b) seria pomiarowa nr 8

Fig. 15. The vibrations transmission visualized in the frequency strips y direction (perpendicular to the road): a) the measuring series No 6, b) the measuring series No 8



Rys. 16. Transmisja drgań w pasmach – kierunek z pionowy: a) seria pomiarów nr 6, b) seria pomiarów nr 8

Fig. 16. The vibrations transmission visualized in the frequency strips – z direction (vertical): a) measuring series No 6, b) measuring series No 8

3. Koncepcja metody odtworzeniowej

W praktyce eksperckiej może zająć konieczność odtworzenia oddziaływań dynamicznych na budynek, które zaistniały w czasie budowy i były powodowane na przykład pracą walców wibracyjnych. Oczywiście zrekonstruowanie sytuacji (w celach pomiarowych), jaka była w czasie budowy, nie jest już możliwe. Autor proponuje metodykę zastępczą, która polega na wykonaniu pomiarów drgań wywołanych pracą walców wibracyjnych na innym, dostępnym obecnie odcinku robót, w celu pozyskania tzw. sygnału wejścia. W następnej kolejności ustala się funkcję przejścia źródło-budynek dla przedmiotowego obiektu, którą wykorzystuje się do przefiltrowania sygnału wejścia. W ten sposób można uzyskać prawdopodobne akcelerogramy drgań fundamentu i wykorzystać je do dalszych analiz dynamicznych.

Cała procedura postępowania według tej metody obejmuje:

1. Wykonanie pomiarów drgań na innym aktywnym placu budowy, wykorzystując sprzęt o zbliżonych parametrach do sprzętu pracującego wcześniej na analizowanym obiekcie.

2. Wykonanie pomiarów w analizowanym obiekcie według zasad opisanych w p. 2 w celu określenia funkcji przejścia źródło-budynek.

3. Przefiltrowanie akcelerogramów za pomocą tzw. funkcji przejścia. W wyniku postępowania odwrotnego według tzw. szybkiej transformacji Fourriera (FFT) uzyskuje się prawdopodobny akcelerogram drgań w analizowanym obiekcie. Akcelerogram po rozkładzie na pasma 1/3-oktawowe odnosi się do odpowiednich skal SWD [2, 7, 10].

Przykładowe wyniki, nazwane funkcją przejścia, pokazano na rysunkach 17, 18 i 19. Obliczone współczynniki uzyskano jako iloraz wartości skutecznych RMS akcelerogramów drgań odbiornika (fundamentu budynku) i źródła. Jako źródło sygnału zastosowano drgania generowane przez ruch pojazdów drogowych.

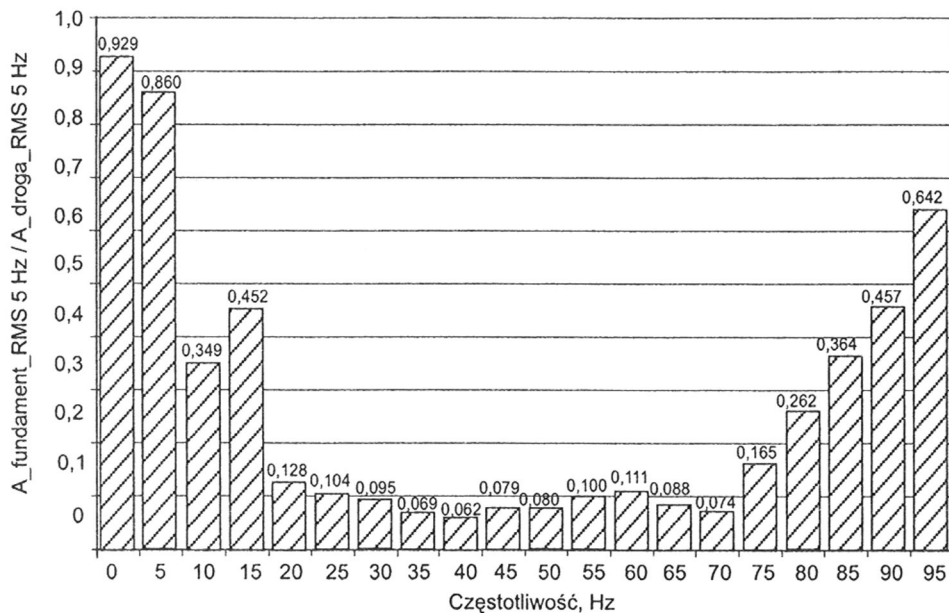
Ponieważ charakterystyki częstotliwościowe drgań generowanych przez ruch pojazdów znacznie się różnią od charakterystyki drgań generowanych przez walce wibracyjne, zastosowanie jednego współczynnika redukcji dla całego sygnału byłoby obarczone zbyt dużym błędem. Konieczne jest zatem ustalenie współczynników redukcyjnych dla wąskich pasm częstotliwościowych. W omawianym wypadku przyjęto pasma o szerokości 5 Hz, wyznaczając oddzielny współczynnik dla każdego z pasm. Zestawienie tych współczynników tworzy opisaną funkcję przejścia – filtr. Do rozkładu sygnału na pasma zastosowano metodę FFT.

Sygnał zmierzony dla walców również rozkłada się na pasma o tej samej szerokości. Każde pasmo skaluje się wyznaczonym współczynnikiem z funkcji przejścia (filtru). Końcowym etapem jest złożenie pasm w całość sygnału przy pomocy postępowania odwrotnego FFT.

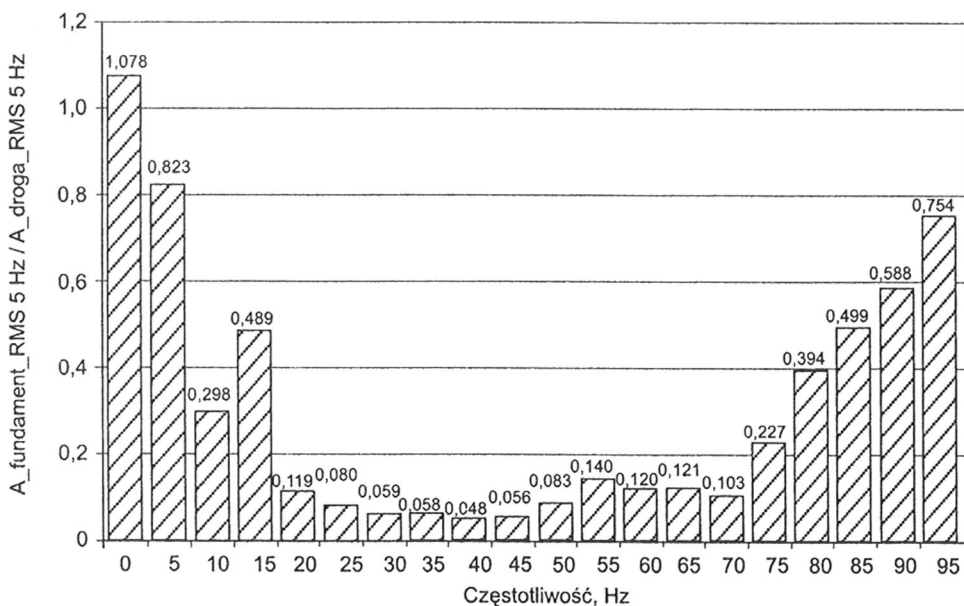
Całość metody zaimplementowano we własnym oprogramowaniu ProDATA. Szczegółowy opis metodyki odtworzeniowej opisano w pracach [9, 11].

Dla przykładu omówionego w p. 2 artykułu uzyskano prawdopodobne akcelerogramy, pokazane na rysunku 20.

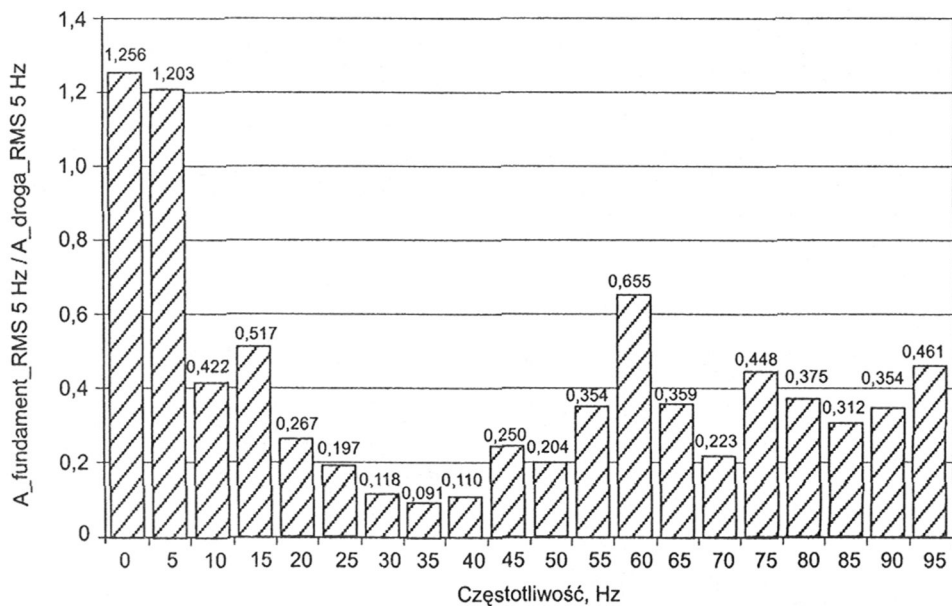
Wyniki przeprowadzonej analizy porównano ze stanem obiektu, zakresem i charakterem uszkodzeń, co potwierdziło słuszność zaprezentowanej metodyki.



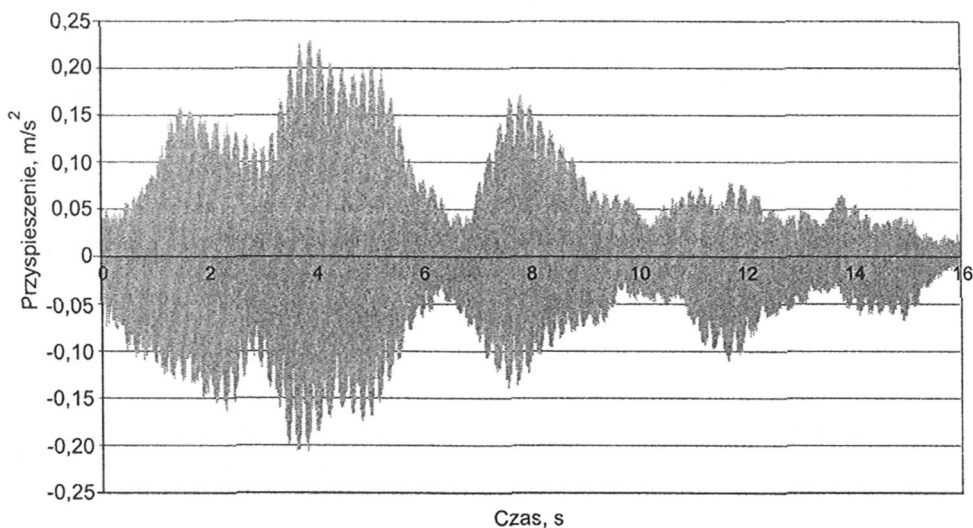
Rys. 17. Funkcje przejścia – kierunek prostopadły do osi drogi
 Fig. 17. The transmission function y direction (perpendicular to the road)



Rys. 18. Funkcja przejścia – kierunek równoległy do osi drogi
 Fig. 18. The transmission function – x direction (parallel to the road)

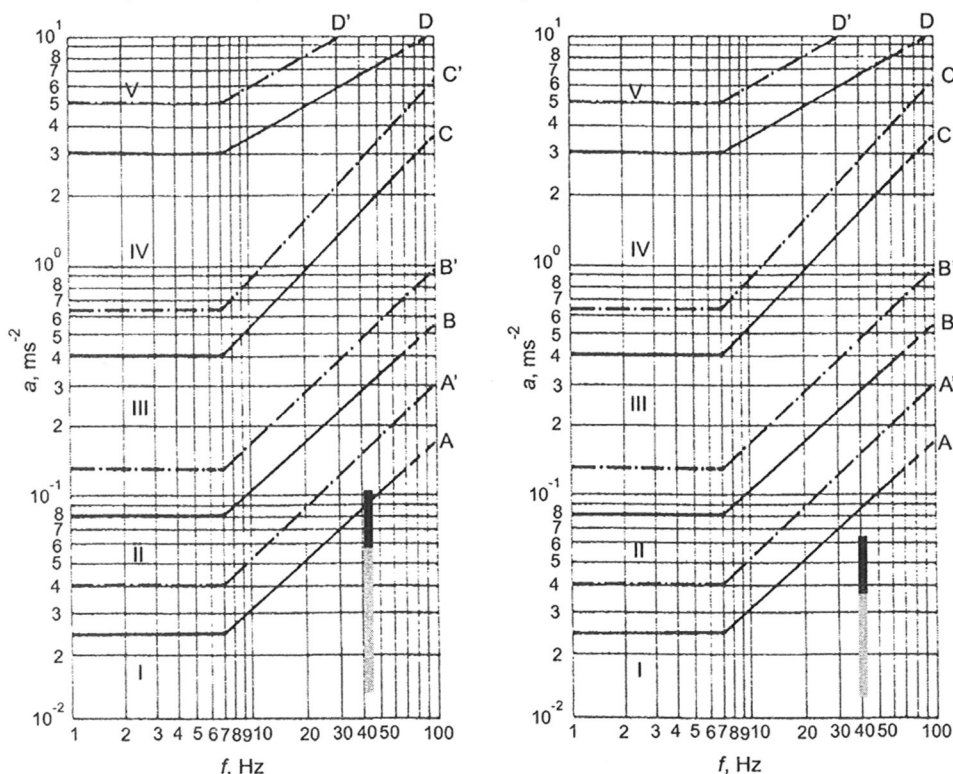


Rys. 19. Funkcja przejścia – kierunek pionowy
 Fig. 19. The transmission function z direction (vertical)



Rys. 20. Prawdopodobny akceleroqram drgań oddziałujących na fundament budynku – kierunek prostopadły do osi drogi
 Fig. 20. The possible acceleration of time-function vibrations in the point localized on the building foundation y direction (perpendicular to the road)

Dla tak uzyskanych akcelerogramów wyznaczono wartości przyspieszeń w pasmach 1/3-oktawowych dotyczące częstotliwości środkowych pasm f_i w zakresie od 0,8 Hz do 80 Hz. Przykładowe wyniki zamieszczono na rysunku 21.



Rys. 21. Nomogramy SWD-II – kierunek prostopadły do osi drogi
 Fig. 21. SWD II nomograms – y direction (perpendicular to the road)

Wyniki przeprowadzonej analizy porównano ze stanem obiektu, zakresem i charakterem uszkodzeń, co potwierdziło słuszność zaprezentowanej metodyki.

4. Podsumowanie

W artykule opisano metodykę trzech rodzajów pomiarów oddziaływań ruchu drogowego, jakie były prowadzone w obiektach w aglomeracji warszawskiej przez Zespół Obserwacji i Analiz Budowli ITB (wspomagany przez konsultacje z Zakładem Akustyki).

Na podstawie wyników uzyskanych w grupie pomiarów oddziaływań drgań (p. 1) ustalono, że:

- Największe amplitudy drgań są wzbudzone przez pojazdy ciężkie. Jeśli poruszają się one szybciej, to poziom drgań jest wyższy, ale w relacjonowanych pomiarach tylko

w nielicznych przypadkach wyniki przekroczyły linię 4 określoną w pracy [12] jako próg dyskomfortu podczas dnia.

- Poziom drgań wzbudzanych przez małe i lekkie pojazdy poruszające się jeden za drugim w porównaniu z odpowiednimi wynikami zarejestrowanymi przy przejeździe pojazdów ciężkich był niewysoki, a więc liczba pojazdów w ruchu nie ma znaczenia.

- Zły stan nawierzchni (wyrwy itp.) sprzyja generowaniu drgań o wyższym poziomie.
- Zużycie podbudowy drogi może prowadzić do tzw. kołysania się skrzyni ładunkowej pojazdu przejeżdżającego „na pusto”.

- Obserwacja i sporządzone zestawienia dotyczące rozkładu częstotliwościowego powinny być przedmiotem dalszych prac.

Odnosnie do p. 2 analiza badań transmisji drgań źródło-budynki pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- W zakresie porównawczym amplitud maksymalnych pełnego sygnału na drodze źródło-budynki następuje zjawisko zmniejszania się amplitudy sygnału wraz ze zwiększaniem się odległości od jego źródła.

- Gradient zmiany amplitudy maksymalnej pełnego sygnału jest znacznie mniejszy w przypadku kierunku pionowego w porównaniu z kierunkami poziomymi.

- Odnosnie do gradientu redukcji drgań w poszczególnych pasmach częstotliwościowych można zauważyć, iż jest największy dla pasm środkowych analizowanego zakresu częstotliwościowego i lokuje się w przedziale od 25 Hz do 50 Hz. W przypadku pasm skrajnych efekt gaszenia amplitudy jest znacznie słabszy.

Problematykę zawartą w p. 3 (koncepcja metody odtworzeniowej) można podsumować następująco:

- Poprawność proponowanej [9] metodyki potwierdzono doświadczalnie. Wyniki badań opisano szczegółowo w pracy [10]. Weryfikację przeprowadzono poprzez porównanie potencjalnych skutków wynikających ze skal SWD a rzeczywistymi uszkodzeniami budynku. Stwierdzono dostateczną zgodność wyników.

- Proponowana metodyka może mieć zastosowanie wszędzie tam, gdzie istnieje potrzeba określenia, czy występujące wcześniej oddziaływania miały wpływ na aktualny stan budowli, a jednocześnie precyzyjne odtworzenie sytuacji, która miała miejsce kilka lat wcześniej, nie jest możliwe.

- Opisana w artykule metodyka nie może być uznana za w pełni ścisłe narzędzie odwzorowania stanu poprzedniego – sugeruje się więc stosowanie jej tylko w połączeniu ze skalami SWD.

- Zastosowana metoda filtracji w wąskich pasmach częstotliwościowych ma na celu wyeliminowanie potencjalnych różnic w rozkładzie częstotliwościowym sygnału zmierzonego na miejscu i generowanego ruchem taboru kołowego a tzw. sygnałem wejścia, czyli akcelerogramami zdjętymi na innym placu budowy od typów walców, które były wcześniej używane w miejscu badanym.

Bibliografia

- [1] PN-88/B-0271 Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach
- [2] Instrukcja 348/98 Diagnostyka dynamiczna i zabezpieczenia istniejących budynków mieszkalnych przed szkodliwym działaniem drgań na właściwości użytkowe budynków. ITB, Warszawa 1998
- [3] Sadowski J, Karwiński A.: Badanie drgań budynków przy trasach o dużym natężeniu ruchu ciężkich pojazdów w wybranych obszarach aglomeracji miejskiej (warszawskiej). ITB, Warszawa 1994
- [4] Sadowski J., Karwiński A.: Badanie drgań budynków przy trasach o dużym natężeniu ruchu ciężkich pojazdów w wybranych obszarach aglomeracji miejskiej (warszawskiej). ITB, Warszawa 1995
- [5] Sadowski J., Karwiński A.: Badanie drgań budynków przy trasach o dużym natężeniu ruchu ciężkich pojazdów w wybranych obszarach aglomeracji miejskiej, ITB, Warszawa 1996
- [6] PN-82/N-01350 Drgania. Terminologia
- [7] PN-85/B-0270 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki
- [8] Sadowski J., Engel Z., Kucharski R., Lipowczan A., Szudrowicz B.: Ochrona środowiska przed hałasem i wibracjami. Stan aktualny i kierunki działań. ITB, Warszawa 1992
- [9] Chyży T.: Czech K.: Analiza odtworzeniowa oddziaływania drgań propagowanych przez podłoże gruntowe na budynek mieszkalny. III Problemowa Konferencja Geotechniki „Współpraca budowlanej z podłożem gruntowym”, Białystok–Augustów 2006
- [10] Ciesielski R., Maciąg E.: Drgania drogowe i ich wpływ na budynki. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1990
- [11] Sadowski J., Cholewicki A., Chyży T.: Ocena szkodliwości drgań pochodzenia komunikacyjnego na budowlę. Raport końcowy, ITB, Warszawa 2006
- [12] Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E.: Ocena wpływu wibracji na budowlę i ludzi w budynkach. ITB, Warszawa 1993

Praca została sfinansowana w ramach tematu statutowego „Ocena szkodliwości drgań pochodzenia komunikacyjnego na budowlę” zrealizowanego w Instytucie Techniki Budowlanej, Warszawa, w latach 2001–2003.

THE RESEARCH CONCERNING THE EFFECTS OF ROAD TRAFFIC AND ITS INFLUENCE ON THE FLAT BUILDINGS AND PEOPLE IN WARSAW AGGLOMERATION

Summary

The development of Warsaw agglomeration and the increase of transported article and persons, causes also the worsening of road surface conditions. It affects the increase of dynamic effects propagated to the environment in the form of noise and vibrations of the ground. These loads are transferred to the buildings situated near communication tracks, enlarging the occupants discomfort

and sometimes causing construction damage. In this paper the following problems have presented and discussed: • the results of measurements of the vibrations levels on buildings, generated by road traffic; the measurement points have been localized on the region of the capital town of Warsaw and in neighbouring towns; the results were presented in the 1/3 octave strips (tierce) and were put on the special nomograms • the results of measurements of the vibrations propagation on the way from source (road traffic) to buildings. These results were presented in narrow frequencies strips (5 Hz) • the conception of the new method for reconstruction of possible vibrations, which have affected the buildings in the past – the „reconstruction method”.

Praca wpłynęła do Redakcji 14 V 2007 r.