



**BADANIA TŁA DYNAMICZNEGO W WYBRANYCH BUDYNKACH
W RAMACH MODERNIZACJI LINII ŚREDNICOWEJ
W WARSZAWIE (UKŁAD DALEKOBIEŻNY I PODMIEJSKI)
NA ODCINKU WARSZAWA WSCHODNIA – WARSZAWA
ZACHODNIA WRAZ ZE STACJAMI, PRZYSTANKAMI
I TUNELEM ŚREDNICOWYM W UKŁADZIE DALEKOBIEŻNYM**

Zleceniodawca: *Poyry Infra Sp. z o.o.*
ul. Krupnicza 5/1
31-123 Kraków

Umowa nr: *L-4/254/2009*

ZA ZESPÓŁ AUTORSKI

dr hab. inż. Krzysztof STYPUŁA, prof. PK
Kierownik Zespołu Autorskiego

.....
[Signature]

DYREKTOR INSTYTUTU

DYREKTOR
Instytutu Mechaniki Budowli
[Signature]
Prof. dr hab. inż. Janusz Kawecki

Kraków, lipiec 2009

ZESPÓŁ AUTORSKI

dr hab. inż. Krzysztof STYPUŁA, prof. PK – Kierownik Zespołu Autorskiego
prof. dr hab. inż. Janusz KAWECKI - konsultacja naukowa
dr inż. Krzysztof KOZIOŁ

zespół Laboratorium Badania Odkształceń i Drgań Budowli:

mgr inż. Piotr STECZ – Kierownik Laboratorium

mgr inż. Jarosław CHEŁMECKI

mgr inż. Katarzyna SZWEDO

Bogdan JORDANEK

Władysław JURKIEWICZ

oraz zespół współpracowników wykonujących prace pomocnicze w zakresie technicznym i administracyjnym.

SPIS TREŚCI

1. Podstawy opracowania	3
2. Cel i zakres opracowania.....	3
3. Metodyka badań	4
3.1. Źródła drgań	4
3.2. Aparatura pomiarowa	4
3.3. Badane budynki.....	4
3.4. Ogólny opis pomiarów	5
4. Opis pomiarów w poszczególnych budynkach wraz z analizą wyników pomiarów	6
5. Podsumowanie wyników pomiarów	7
5.1. Ocena wpływu drgań na konstrukcję budynków	7
5.2. Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach	12
6. Wnioski	26

Załącznik – Sprawozdania z badań drgań w budynkach

1. Podstawy opracowania

- 1.1. Umowa nr L-4/254/2009 zawarta w dniu 11.05.2009 r. pomiędzy Poyry Infra Sp. z o.o., ul. Krupnicza 5/1, 31-123 Kraków a Politechniką Krakowską, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków.
- 1.2. Badania kontrolne drgań powodowanych przejazdami pociągów po kompleksowej naprawie tunelu średnicowego w Warszawie ze szczególnym uwzględnieniem budynków przy ul. Smolnej 9 i Al. Jerozolimskich 28. Wykonawca: Instytut Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej. Kraków, marzec 2007 r.
- 1.3. Wizje lokalne przeprowadzone przez autorów opracowania.
- 1.4. Pomiary drgań w budynkach wykonane w dniach 16 – 18.06.2009 r. przez Laboratorium Badania Odkształceń i Drgań Budowli – Instytutu Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej.
- 1.5. PN-85/B-02170. Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.
- 1.6. PN-88/B-02171. Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.

2. Cel i zakres opracowania

Badania tła dynamicznego są częścią opracowania dokumentacji projektowej dotyczącej modernizacji linii średnicowej w Warszawie (układ dalekobieżny i podmiejski) na odcinku Warszawa Wschodnia – Warszawa Zachodnia. Wyniki badań zostaną wykorzystane do sporządzenia ocen oddziaływania linii średnicowej na środowisko a także pozwolą sformułować zalecenia dotyczące projektowania zabezpieczeń wibroizolacyjnych.

Celem niniejszego opracowania jest wykonanie badań tła dynamicznego, czyli określenie poziomu wpływów dynamicznych, jakim podlegają wspomniane budynki przed realizacją inwestycji tj. podczas przejazdu pociągów po dotychczasowej nawierzchni kolejowej.

Niniejsze opracowanie zawiera wyniki pomiarów dynamicznych przeprowadzonych w wybranych 12 budynkach reprezentatywnych dla zabudowy położonej wzdłuż modernizowanego odcinka linii średnicowej, wraz z wynikami analiz i oceną wpływu pomierzonych drgań na konstrukcję budynków i na ludzi przebywających w tych budynkach.

3. Metodyka badań

3.1. Źródła drgań

Źródłem badanych drgań występujących w budynkach były przejazdy pociągów podmiejskich i dalekobieżnych po torach linii średnicowej w Warszawie na odcinku Warszawa Wschodnia – Warszawa Zachodnia. Część trasy pod Alejami Jerozolimskimi (na odcinku Dworzec Centralny – Powiśle) przebiega w tunelu średnicowym, podzielonym na dwie części: dalekobieżną (przeznaczoną do modernizacji) oraz podmiejską (zmodernizowaną). Na odcinkach Warszawa Wschodnia – Dworzec Centralny i Powiśle – Warszawa Wschodnia oraz w części dalekobieżnej tunelu występuje klasyczna nawierzchnia kolejowa na podsypce tłuczniowej. W części podmiejskiej wykonano nową nawierzchnię bezpodsypkową z systemem podpór blokowych w otulinie EBS firmy EDILON oraz z podtorową matą wibroizolacyjną firmy PHOENIX.

Szczegółowy wykaz pociągów kursujących podczas poszczególnych pomiarów podano w tabelach zawierających wartości pomierzonych amplitud przyspieszeń drgań zamieszczonych w Załączniku zawierającym sprawozdania z pomiarów przeprowadzonych w poszczególnych budynkach.

Uwaga: Numeracja torów nie odpowiada numeracji kolejowej. Na potrzeby niniejszego opracowania przyjęto podczas pomiarów poszczególnych budynków indywidualną numerację torów opisaną we wspomnianych wyżej sprawozdaniach z pomiarów.

3.2. Aparatura pomiarowa

W badaniach użyto następującej specjalistycznej aparatury do pomiaru przyspieszeń oraz częstotliwości drgań budowli:

- akcelerometry PCB typu 393B12,
- system cyfrowej rejestracji danych ESAM Traveller Plus,
- układ kondycjonowania sygnału PA16000 EC Electronics,
- analizator (system rejestrująco-analizujący) LMS SCADAS Mobile,
- oprogramowanie do analizy danych pomiarowych (Matlab 7.3).

Wymieniona aparatura przystosowana jest do pomiarów drgań o niskiej częstotliwości, jakie występują w przypadku drgań komunikacyjnych.

3.3. Badane budynki

Pomiary drgań przeprowadzono w 12 budynkach wymienionych w tabeli 1. Ich schematyczne rozmieszczenie względem analizowanego odcinka linii średnicowej przedstawiono na rys. 1. Są to obiekty reprezentatywne dla zabudowy po obu stronach tego odcinka.

Tabela 1. Zestawienie badanych budynków

L.p.	Budynek	Funkcja	Liczba kondygnacji nadziem.	Uwagi
1	Al. Jerozolimskie 28	biura	6	8 m od ściany części dalekobieżnej tunelu
2	Al. Jerozolimskie 56C	usł.-biur.	3	nad tunelem dworca
3	Ul. Smolna 9	usł.-mieszk.	8 (7 – 9)	3 m od ściany części dalekobieżnej tunelu
4	Al. Jerozolimskie 33	usł.-mieszk.	6	13,5 m od ściany części podmiejskiej tunelu
5	Ul. Św. Franciszka Salezego 6	mieszk.	14	
6	Ul. Solec 93	szpital	3	
7	Ul. Solec 36A	mieszk.	4	dom pomocy społecznej
8	Ul. Kijowska 8	mieszk.	1	
9	Ul. Żelazna 16	mieszk.	9	
10	Ul. Lubelska 30/32	mieszk.	5	
11	Ul. Lubelska 33	biura	2	
12	Ul. Targowa 14	usł.-mieszk.	4	

3.4. Ogólny opis pomiarów

Badania obejmowały pomiary przyspieszeń i częstotliwości drgań w wybranych punktach pomiarowych usytuowanych w budynkach. 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. W każdym z budynków wykonano pomiary drgań w poziomie terenu (w poziomie stropu nad piwnicą) oraz na najwyższej kondygnacji. W obu poziomach pomierzono także drgania stropów celem określenia wpływu tych drgań na ludzi. Każdorazowo mierzono drgania w trzech kierunkach: dwóch poziomych wzajemnie względem siebie prostopadłych x i y , oraz pionowym z . Kierunki x i y były zgodne z osiami rzutu poziomego budynku, przy czym kierunek x był z reguły zgodny z kierunkiem propagacji drgań, tj. był prostopadły do osi tunelu (drgania w kierunku x noszą nazwę drgań poziomych radialnych). Kierunek y (drgania poziome transwersalne) był równoległy do osi tunelu.

Za pomocą akcelerometrów rejestrowano przebiegi czasowe drgań wywołanych przejazdami poszczególnych przejazdów pociągów. W każdym z budynków wykonano kilkadziesiąt takich rejestracji. Przebiegi te były następnie poddawane analizom w celu oceny wpływu drgań na budynki oraz na ludzi przebywających w budynkach, zgodnie z polskimi normami PN-85/B-02170 oraz PN-88/B-02171.

4. Opis pomiarów w poszczególnych budynkach wraz z analizą wyników pomiarów

Ogólną charakterystykę poszczególnych budynków, szczegółowy opis usytuowania punktów pomiarowych w każdym z nich, przebieg pomiarów, zestawienia najniekorzystniejszych wartości szczytowych amplitud przyspieszeń drgań poszczególnych budynków, jak i wyniki analiz zarejestrowanych drgań - zamieszczono w sprawozdaniach z badań stanowiących załącznik do niniejszego opracowania. W sprawozdaniach tych zestawiono tabelarycznie najniekorzystniejsze wartości maksymalnych amplitud przyspieszeń drgań pomierzonych w poszczególnych punktach pomiarowych. W odniesieniu do wybranych przebiegów drgań przedstawiono wyniki analizy wpływu drgań na budynki i na ludzi w budynkach.

Jeśli na wykresach analiz przeprowadzonych w celu badania wpływu drgań na budynki podane są linie to odpowiadają one skalom SWD. Najniższa linia ciągła oznacza próg „odczuwalności” drgań przez budynek wg skali SWD-II normy PN-85/B-02170. Brak takich linii na rysunkach oznacza, że w stosunku do tego budynku nie mogą być stosowane skale SWD i wyniki pomiarów posłużyły do obliczeń dynamicznych, na podstawie których otrzymano wartości sił bezwładności obciążających konstrukcję, następnie zaś określono wpływ tych obciążeń na konstrukcję budynku – por. pkt 5.1.

Na rysunkach analiz dotyczących wpływu drgań na ludzi zamieszczono linie umożliwiające ocenę wpływu na ludzi drgań poziomych (linie ciągłe) oraz drgań pionowych (linie przerywane). W kolejności od położonych najniższej linie te odpowiadają:

- progowi odczuwalności drgań przez ludzi,
- górnemu poziomowi zapewnienia niezbędnego komfortu ludziom przebywającym w pomieszczeniu mieszkalnym w porze nocnej (od godz. 22 do 6),
- górnemu poziomowi zapewnienia niezbędnego komfortu ludziom przebywającym w pomieszczeniu mieszkalnym w porze dnia (od godz. 6 do 22).

5. Podsumowanie wyników pomiarów

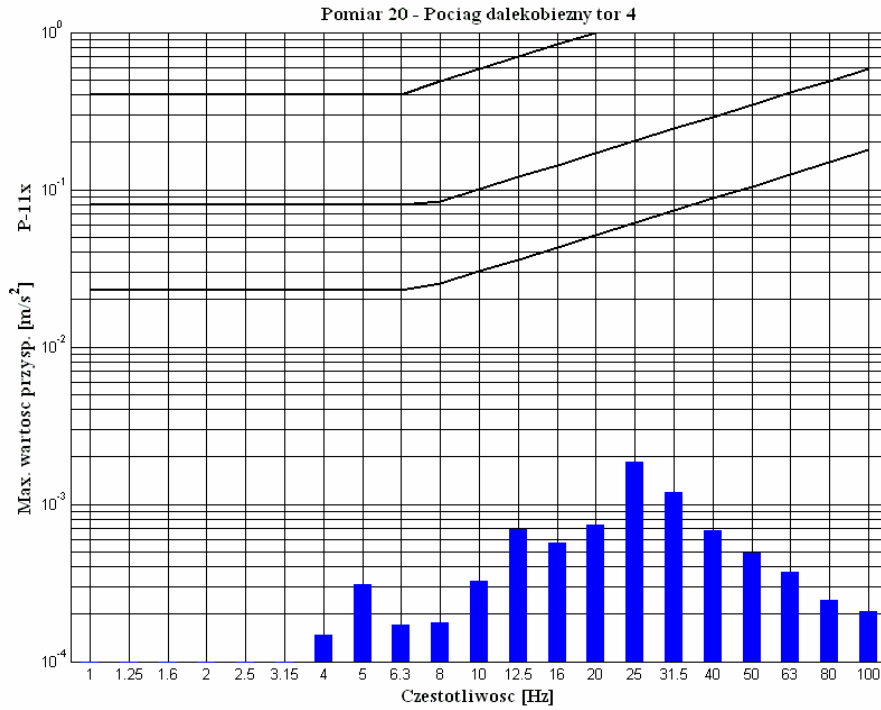
W tabeli 2 zestawiono najniekorzystniejsze wartości szczytowe maksymalnych amplitud przyspieszeń drgań pomierzonych na dolnej i górnej kondygnacji budynku podczas przejazdów pociągów.

Tabela 2. Maksymalne wartości szczytowe amplitud przyspieszeń (w cm/s^2) drgań pomierzonych na dolnej i górnej kondygnacji poszczególnych budynków podczas przejazdów pociągów

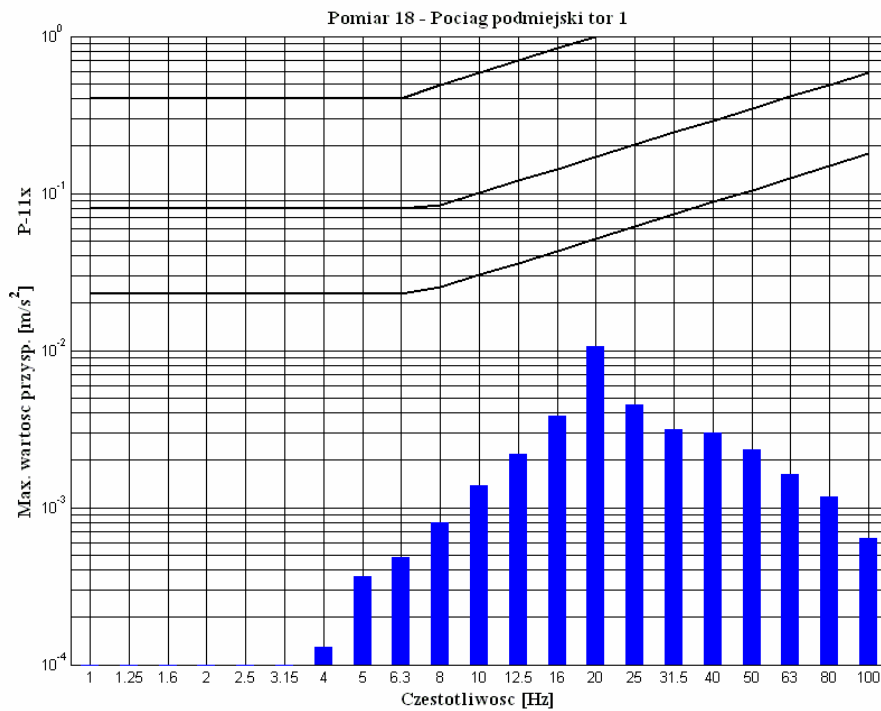
Budynek	Dolna kondygnacja				Górna kondygnacja		
	x	y	z	Z _{strop}	x	y	Z _{strop}
Al. Jerozolimskie 28	2,64	1,05	2,58	11,10	1,60	1,00	8,01
Al. Jerozolimskie 56C	4,25	5,27	2,96	--*)	3,44	5,31	2,35
Ul. Smolna 9	2,11	2,44	3,07	11,74	1,02	1,14	10,47
Al. Jerozolimskie 33	2,17	0,96	1,10	2,26	3,22	2,31	10,38
Ul. Św. Franciszka Salezego 6	2,49	1,56	2,20	3,42	2,19	2,12	3,79
Ul. Solec 93	0,48	0,40	0,56	5,30	1,52	0,86	3,86
Ul. Solec 36A	1,37	0,80	1,38	6,30	2,13	1,21	8,69
Ul. Kijowska 8	3,07	2,19	3,68	12,93	--**)	--**)	--**)
Ul. Żelazna 16	2,92	1,50	1,43	6,43	1,40	0,74	4,77
Ul. Lubelska 30/32	17,33	7,83	13,03	79,79	15,49	13,37	22,03
Ul. Lubelska 33	5,53	2,72	7,08	25,51	3,84	2,94	9,77
Ul. Targowa 14	2,79	1,85	1,69	13,00	6,01	4,99	14,43
*) nie udostępniono pomieszczenia do pomiaru drgań stropu							
**) budynek parterowy							

5.1. Ocena wpływu drgań na budynki

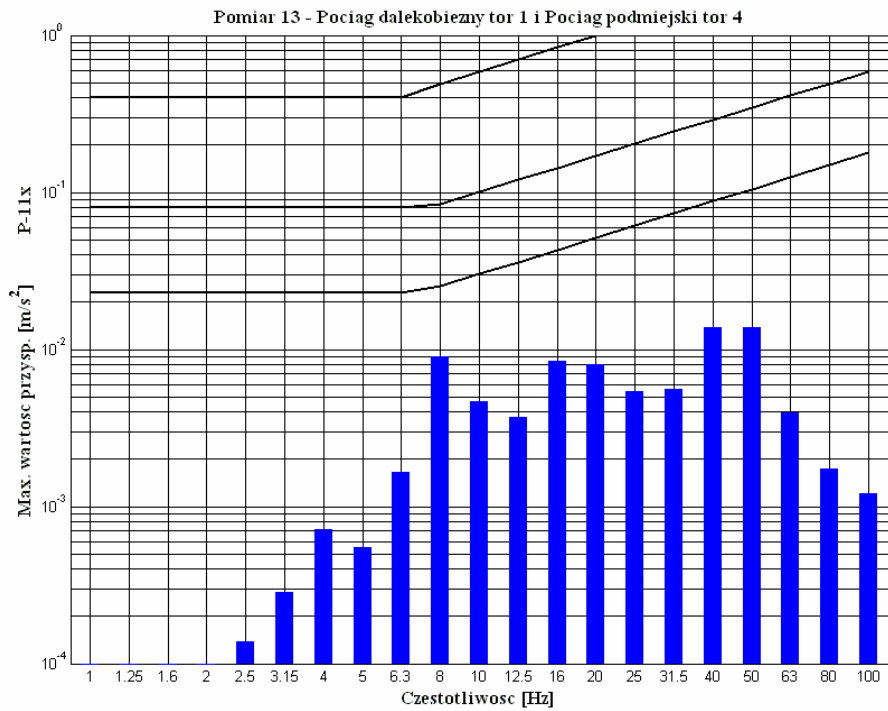
Budynki usytuowane przy ul. Solec 93, ul. Solec 36A, ul. Kijowskiej 8, ul. Lubelskiej 30/32, ul. Lubelskiej 33 i ul. Targowej 14 kwalifikują się do oceny wpływu drgań na ich konstrukcję według skal SWD. Najniekorzystniejsze wyniki analizy tego wpływu w odniesieniu do poszczególnych budynków zamieszczono na rys. 2 – 7.



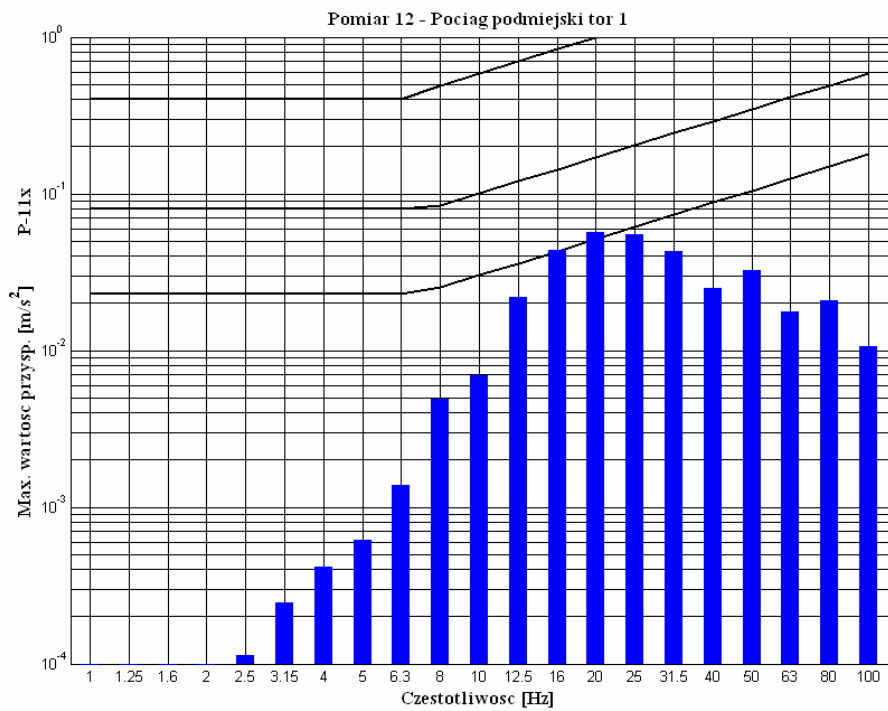
Rys. 2. Najbardziej znaczące (pomiar 20) wyniki analizy wpływu drgań poziomych na konstrukcję budynku przy ul. Solec 93 w odniesieniu do skali SWD-II



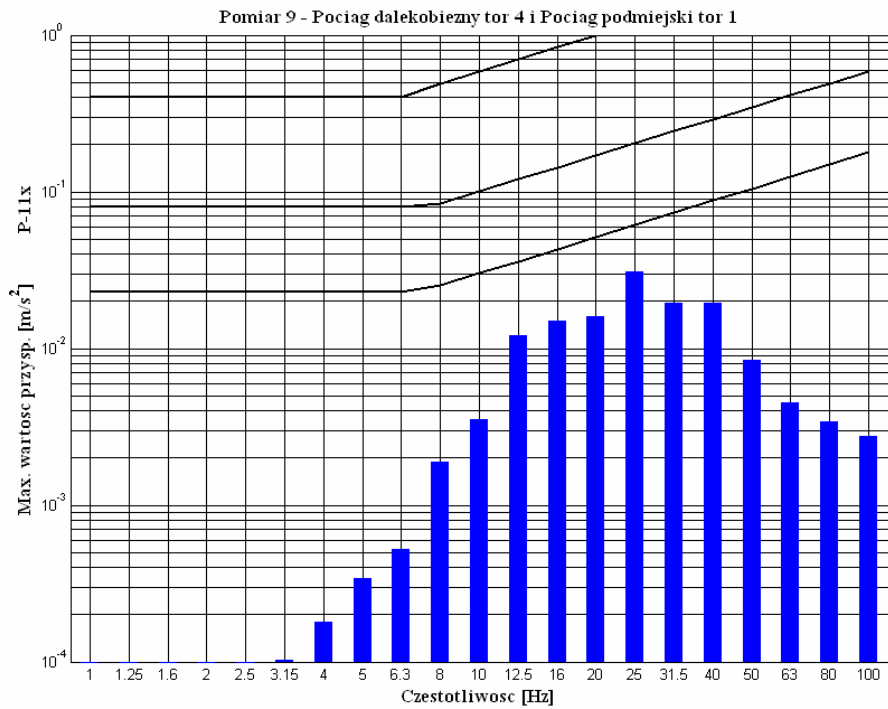
Rys. 3. Najbardziej znaczące (pomiar 18) wyniki analizy wpływu drgań poziomych na konstrukcję budynku przy ul. Solec 36A w odniesieniu do skali SWD-II



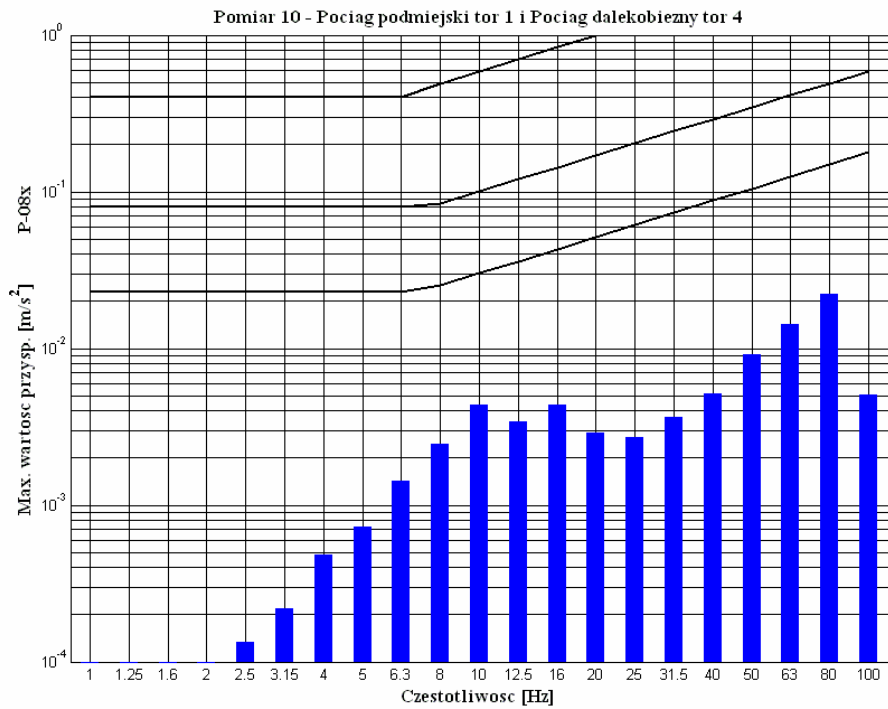
Rys. 4. Najbardziej znaczące (pomiar 13) wyniki analizy wpływu drgań poziomych na konstrukcję budynku przy ul. Kijowskiej 8 w odniesieniu do skali SWD-II



Rys. 5. Najbardziej znaczące (pomiar 12) wyniki analizy wpływu drgań poziomych na konstrukcję budynku przy ul. Lubelskiej 30/32 w odniesieniu do skali SWD-II



Rys. 6. Najbardziej znaczące (pomiar 9) wyniki analizy wpływu drgań poziomych na konstrukcję budynku przy ul. Lubelskiej 33 w odniesieniu do skali SWD-II



Rys. 7. Najbardziej znaczące (pomiar 10) wyniki analizy wpływu drgań poziomych na konstrukcję budynku przy ul. Targowej 14 w odniesieniu do skali SWD-II

W odniesieniu do budynków usytuowanych przy Al. Jerozolimskich 28, Al. Jerozolimskich 56C, ul. Smolnej 9, Al. Jerozolimskich 33, ul. Św. Franciszka Salezego 6 oraz przy ul. Żelaznej 16, nie objętych zakresem stosowania skal SWD (budynki wyższe od 5 kondygnacji) wibrogramy uzyskane podczas pomiarów dynamicznych w punktach pomiarowych w dolnej części budynku (poziom terenu) zastosowano jako wymuszenie kinematyczne modelu budynku i na tej podstawie uzyskano maksymalne naprężenia zastępcze wg hipotezy wyężeniowej H-M-H (Hubera-Misesa-Hencky'ego) w przekroju elementów konstrukcji na każdej kondygnacji i porównano je z wytrzymałością obliczeniową tego elementu. Maksymalne wartości wyrażonego w % stosunku tych wielkości zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 3. Ekstremalne wartości stosunku maksymalnego naprężenia zastępczego wg hipotezy wyężeniowej H-M-H (Hubera-Misesa-Hencky'ego) w przekroju elementu konstrukcji budynku do wytrzymałości obliczeniowej tego elementu (wyrażone w %) obliczone w odniesieniu do najbardziej znaczących przejazdów pociągów

Budynek	Maksymalny % wyężenia
Al. Jerozolimskie 28	1,38
Al. Jerozolimskie 56C	1,92
Ul. Smolna 9	1,41
Al. Jerozolimskie 33	0,83
Ul. Św. Franciszka Salezego 6	1,22
Ul. Solec 93	1,79

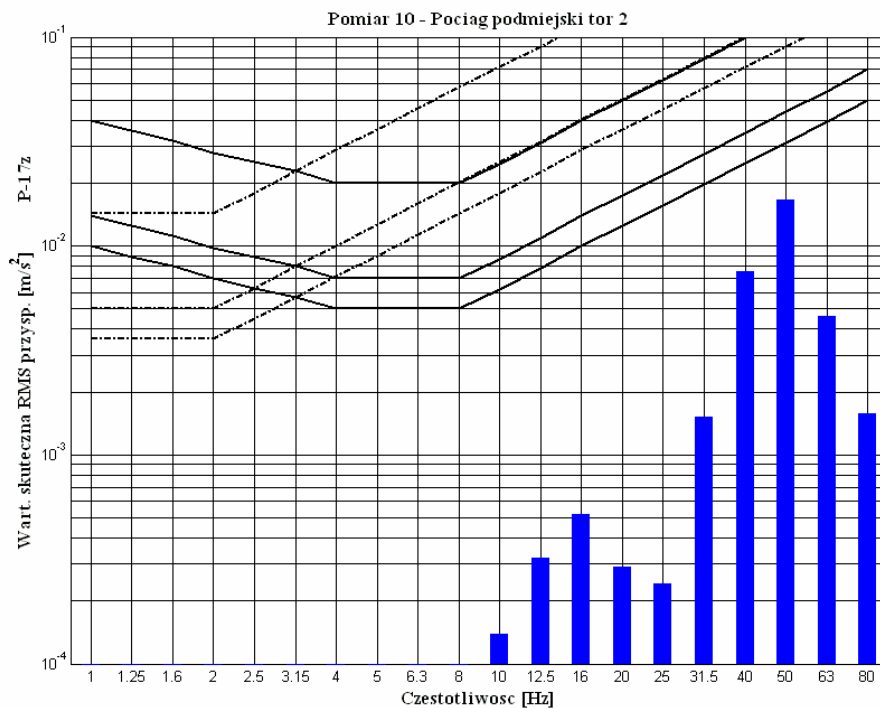
Ponieważ ekstremalny udział naprężenia zastępczego wywołanego wymuszeniem kinematycznym we wszystkich wymienionych w tabeli 3 budynkach jest mniejszy niż 5% wytrzymałości obliczeniowej, to taki wpływ drgań uznaje się za nieodczuwalny przez konstrukcję budynku.

Wcześniej zestawione już wyniki oceny wpływu drgań na konstrukcję pozostałych budynków przeprowadzonej za pomocą skal SWD świadczą, że również drgania budynków przy ul. Solec 93, ul. Solec 36A, ul. Kijowskiej 8, ul. Lubelskiej 33 i ul. Targowej 14 są nieodczuwalne dla ich konstrukcji. Jedynie w budynku przy ul. Lubelskiej 30/32 drgania osiągają drugą strefę skali SWD-II (rys. 5), czyli mogą być zakwalifikowane jako drgania odczuwalne przez konstrukcję tego budynku, mogąc powodować przyspieszone jego zużycie a także pojawianie się rys na tynkach budynku i wyprawach malarskich.

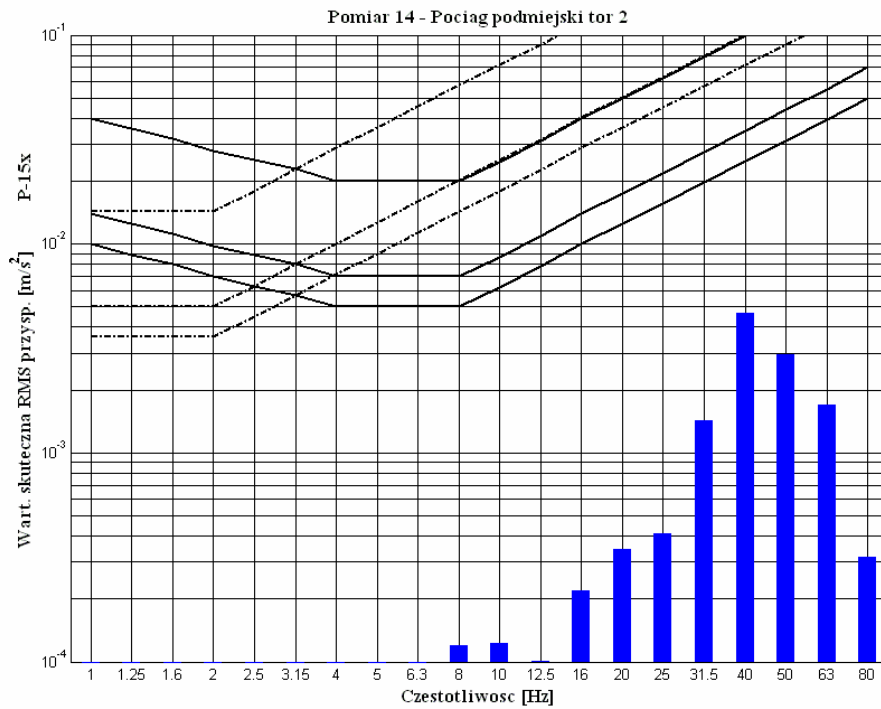
5.2. Ocena wpływu drgań na ludzi przebywających w budynkach

We wszystkich budynkach objętych badaniami - z wyjątkiem budynku przy Al. Jerozolimskich 56C (gdzie nie udostępniono pomieszczeń do pomiarów) - dokonano analizy i oceny wpływu drgań na ludzi na podstawie wyników pomiaru pionowych i poziomych drgań stropów w wybranych pomieszczeniach poszczególnych budynków.

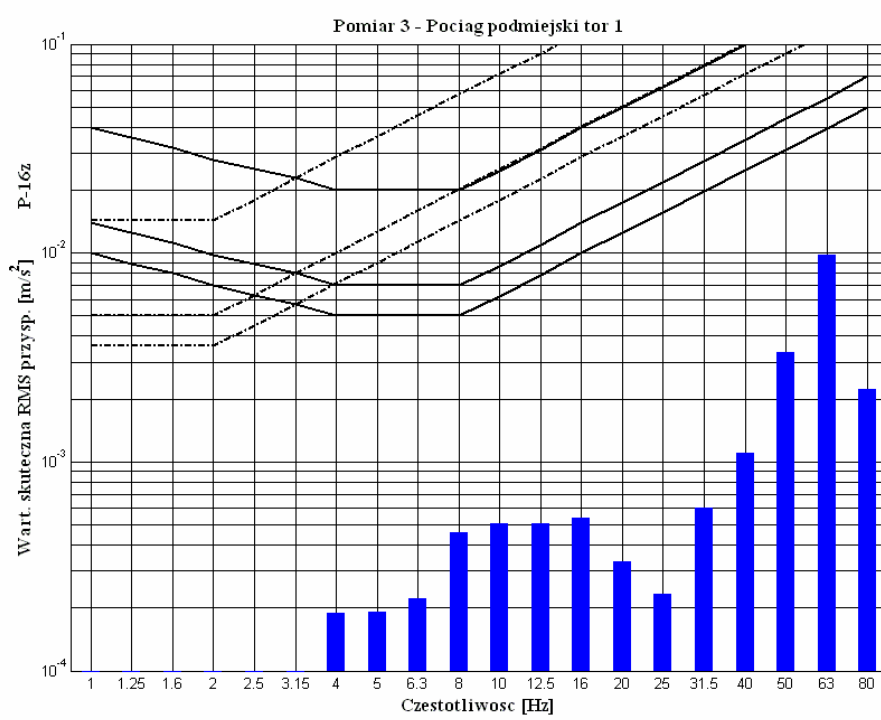
Jak wynika z przedstawionych poniżej na rys. 8 - 18 najniekorzystniejszych rezultatów analiz, w budynkach przy Al. Jerozolimskich 33, ul. Św. Franciszka Salezego 6, ul. Solec 93, ul. Kijowskiej 8, ul. Żelaznej 16 i ul. Targowej 14 drgania pionowe i poziome stropów nie przekraczają progu odczuwalności drgań przez ludzi.



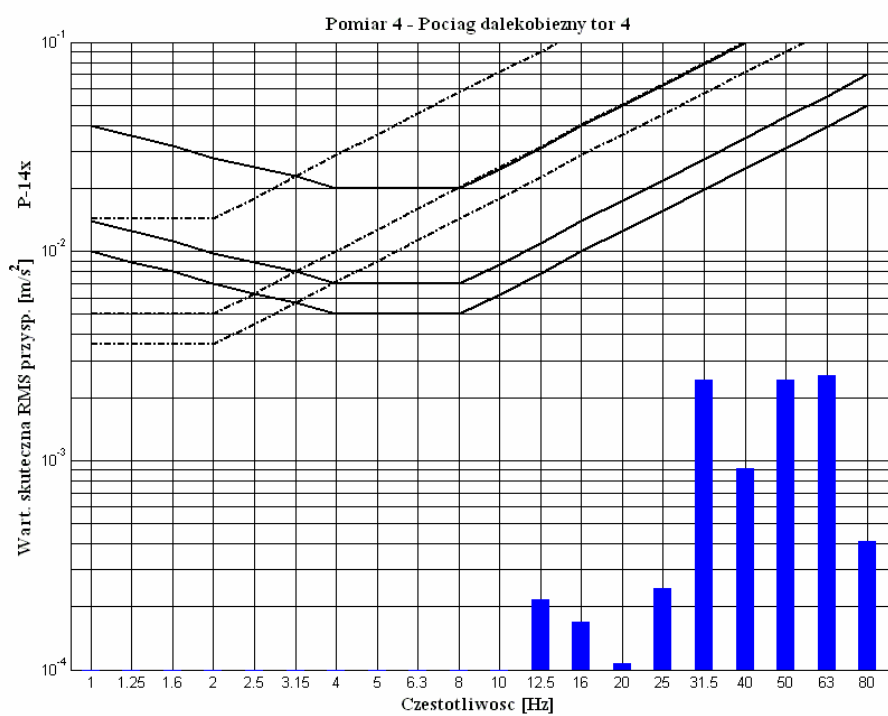
Rys. 8. Budynek przy Al. Jerozolimskich 33 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi pionowych drgań stropu



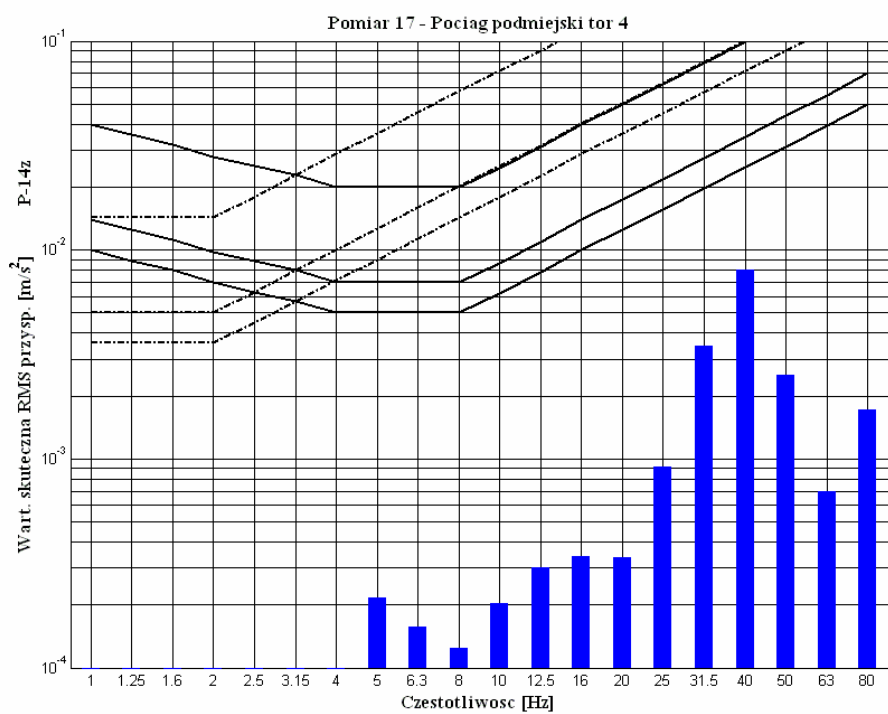
Rys. 9. Budynek przy Al. Jerozolimskich 33 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi poziomych drgań stropu



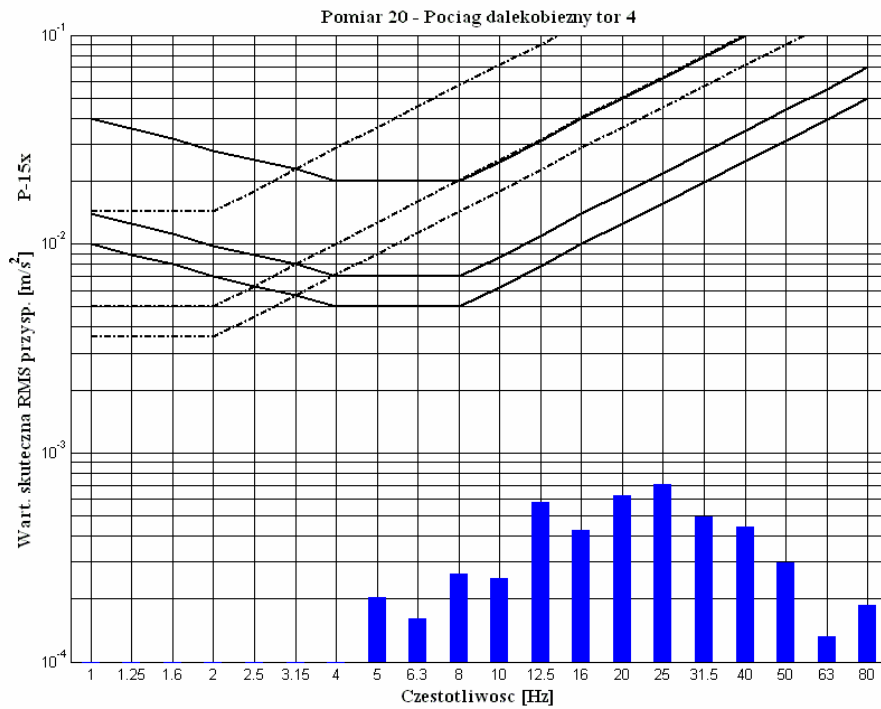
Rys. 10. Budynek przy ul. św. Franciszka Salezego 6 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi pionowych drgań stropu



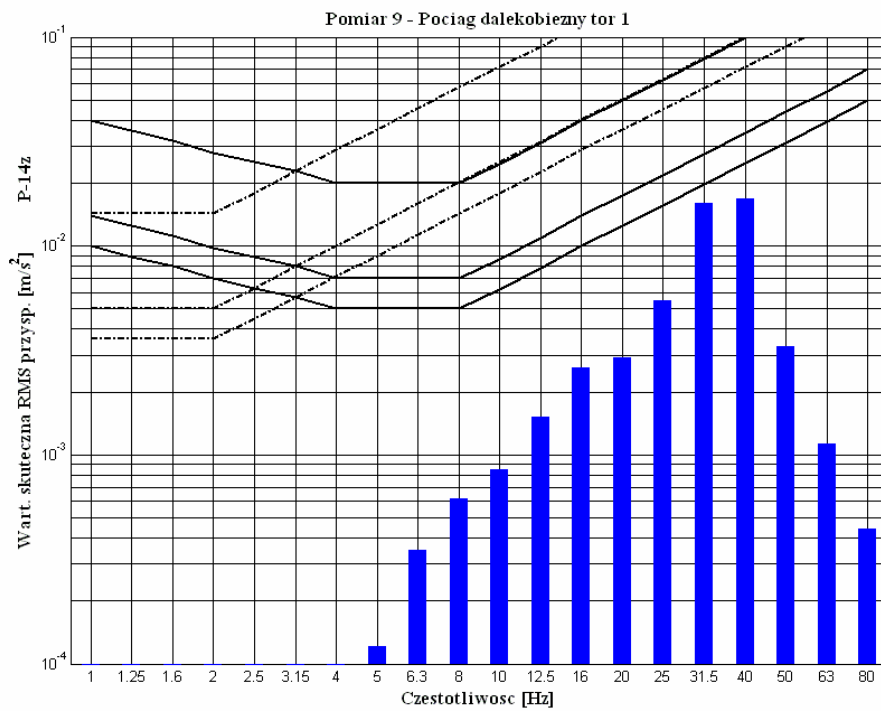
Rys. 11. Budynek przy ul. św. Franciszka Salezego 6 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi poziomych drgań stropu



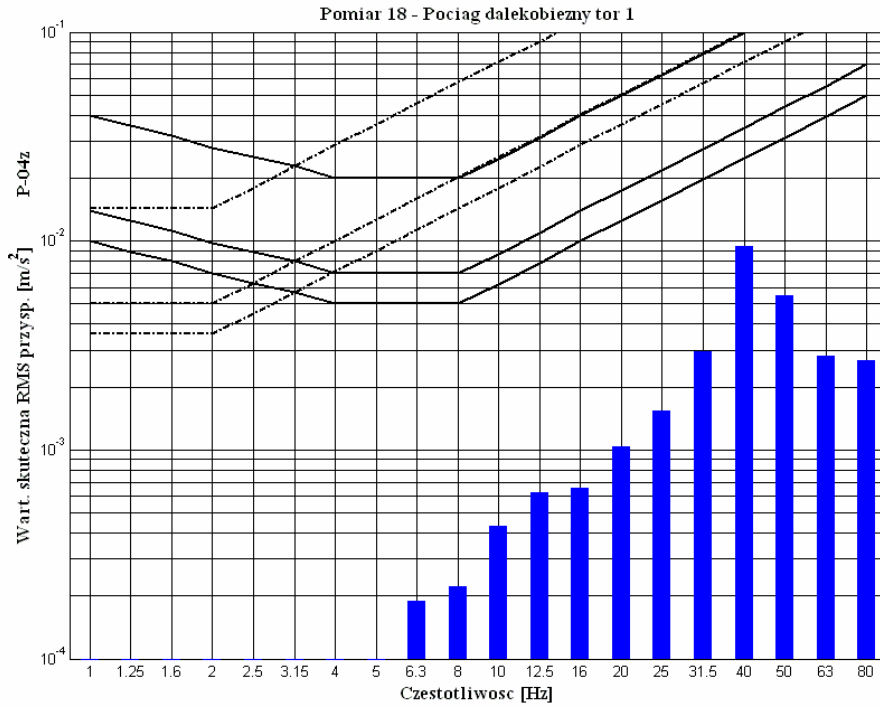
Rys. 12. Budynek przy ul. Solec 93 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi pionowych drgań stropu



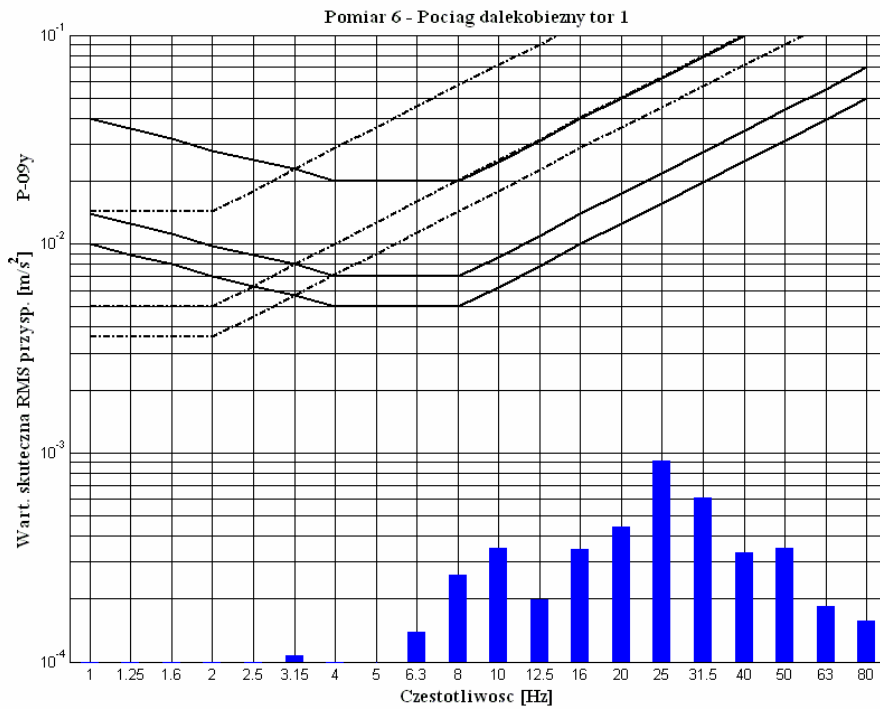
Rys. 13. Budynek przy ul. Solec 93 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi poziomych drgań stropu



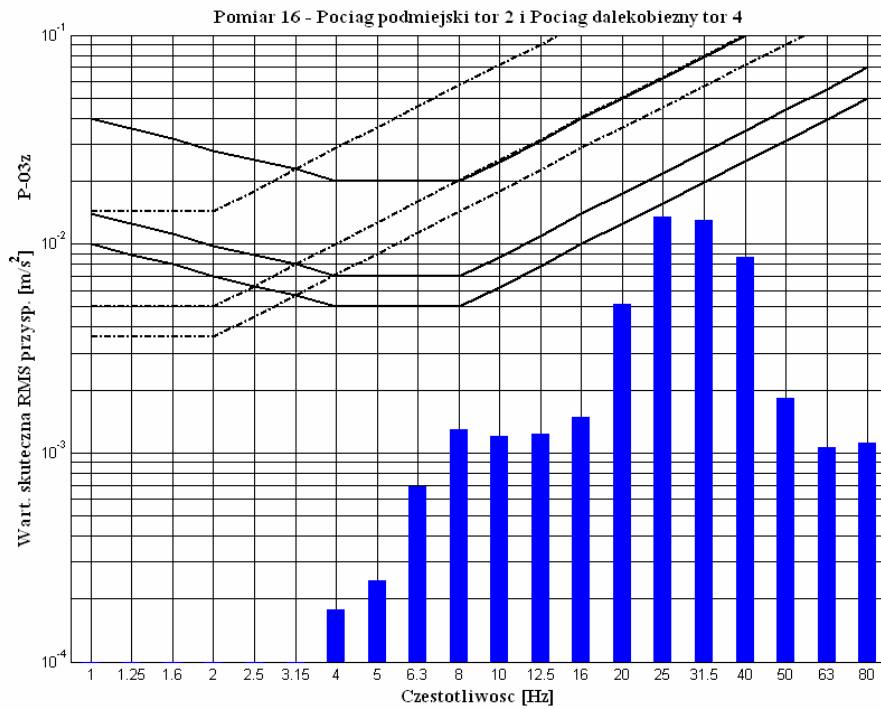
Rys. 14. Budynek przy ul. Kijowskiej 8 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi pionowych drgań stropu



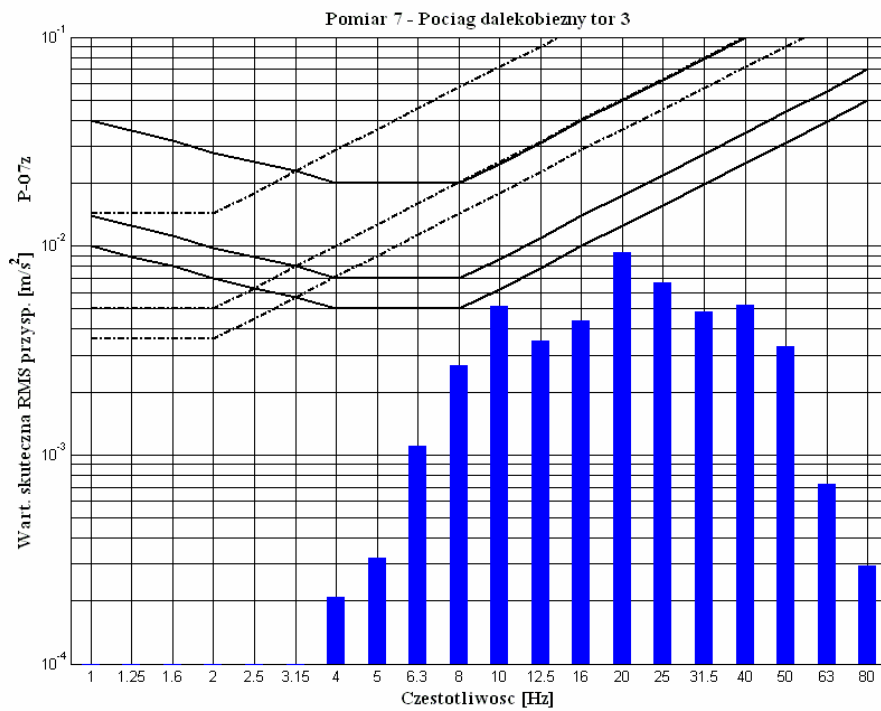
Rys. 15. Budynek przy ul. Żelaznej 16 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi pionowych drgań stropu



Rys. 16. Budynek przy ul. Żelaznej 16 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi poziomych drgań stropu

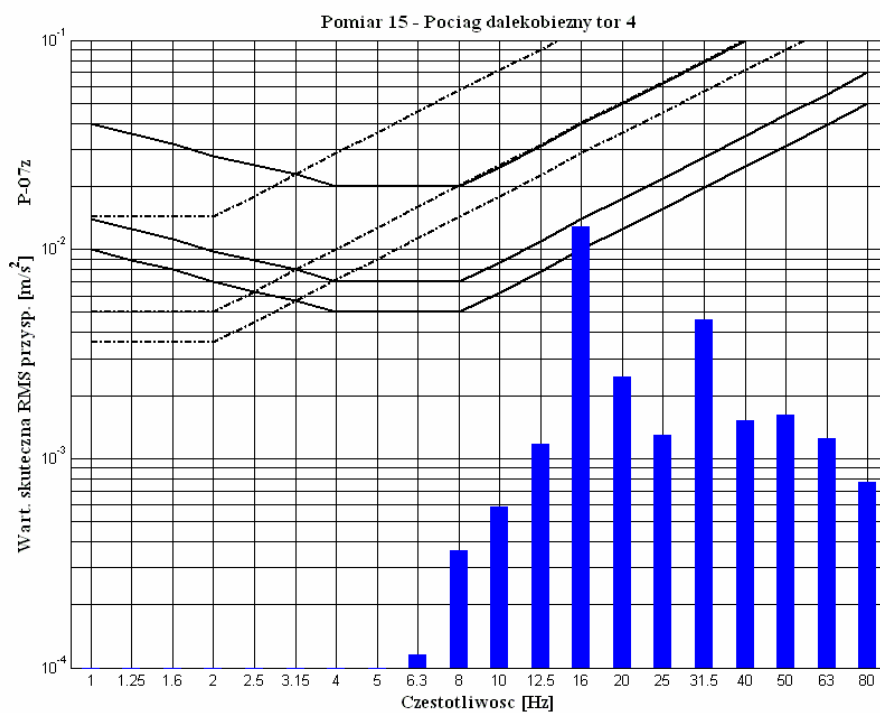


Rys. 17. Budynek przy ul. Targowej 14 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi pionowych drgań stropu

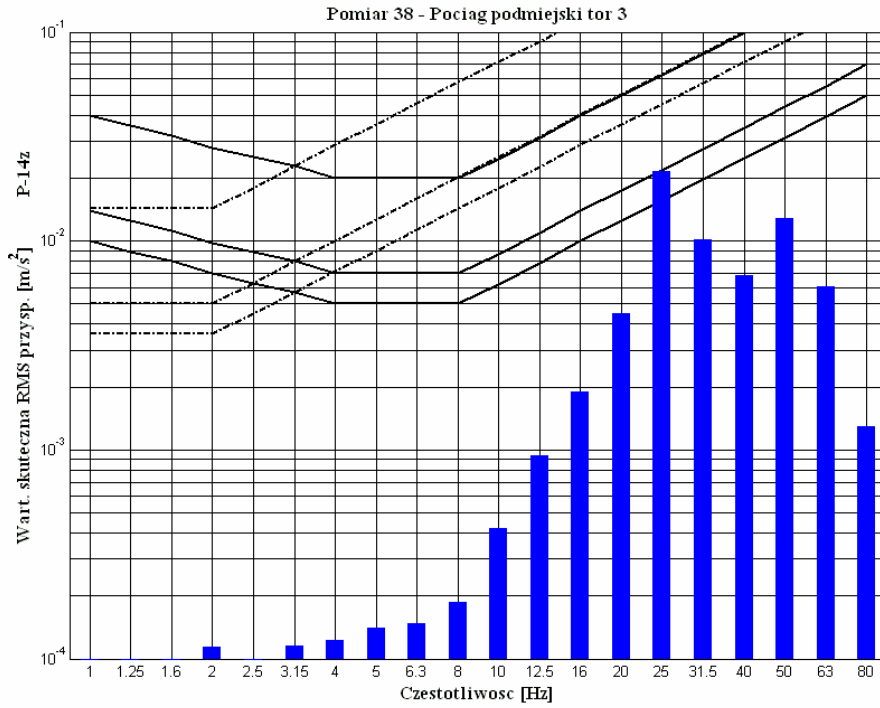


Rys. 18. Budynek przy ul. Targowej 14 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi poziomych drgań stropu

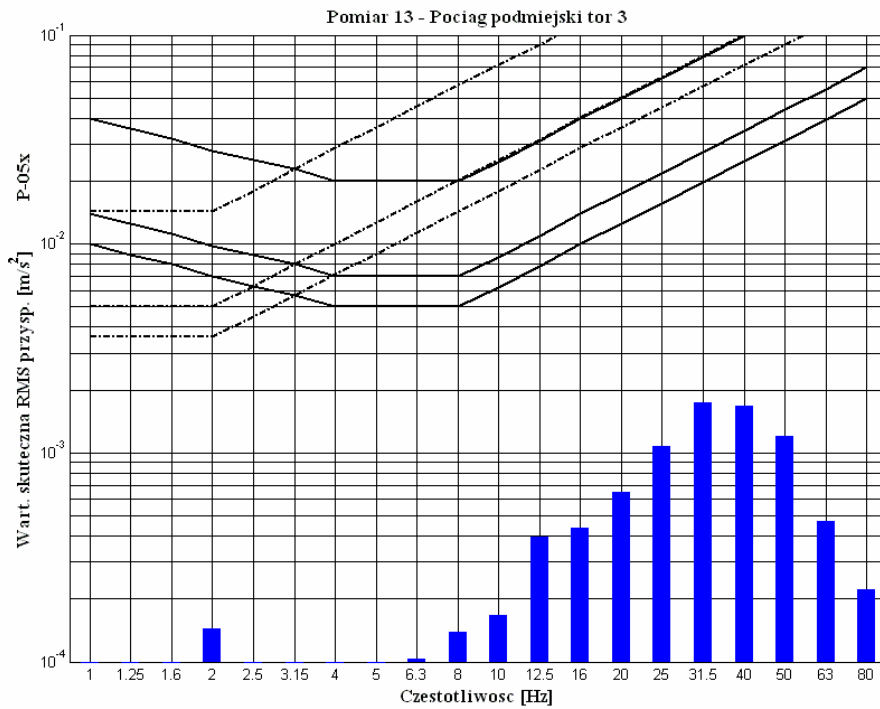
W usytuowanych najbliższej dalekobieżnej części tunelu średnicowego budynkach przy Al. Jerozolimskich 28 i ul. Smolnej 9 największy wpływ drgań na ludzi odnotowano przy drganiach pionowych podczas przejazdów pociągów w dalekobieżnej części tunelu (z nawierzchnią tradycyjną) – rys. 19 i 20. Drgania poziome stropów generowane w obu tych budynkach przejazdami pociągów w obu częściach tunelu nie przekraczały progu odczuwalności drgań przez ludzi - rys. 21 i 22.



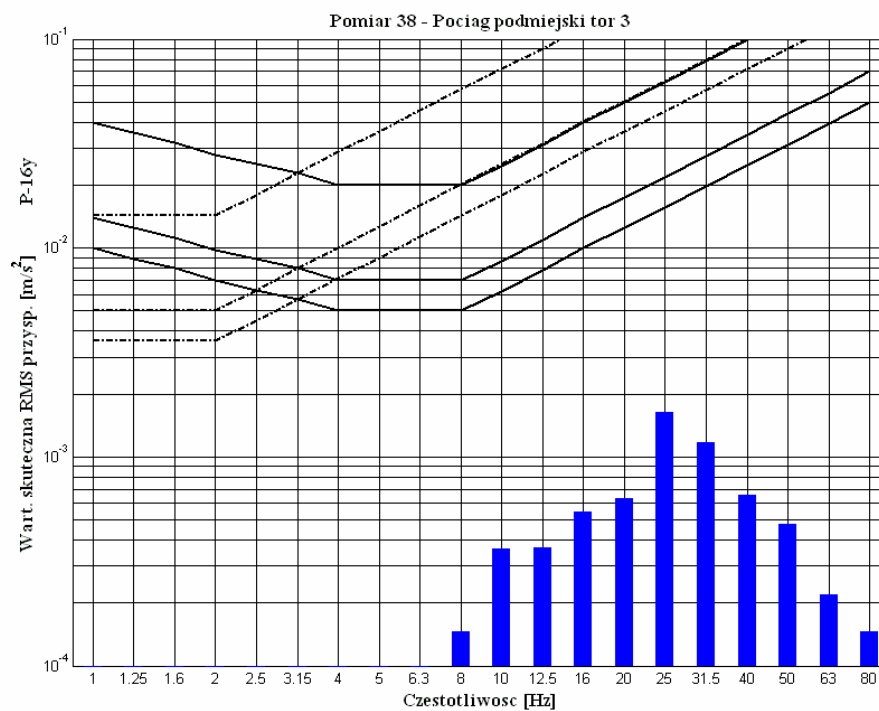
Rys. 19. Budynek przy Al. Jerozolimskich 28 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi pionowych drgań stropu



Rys. 20. Budynek przy ul. Smolnej 9 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi pionowych drgań stropu

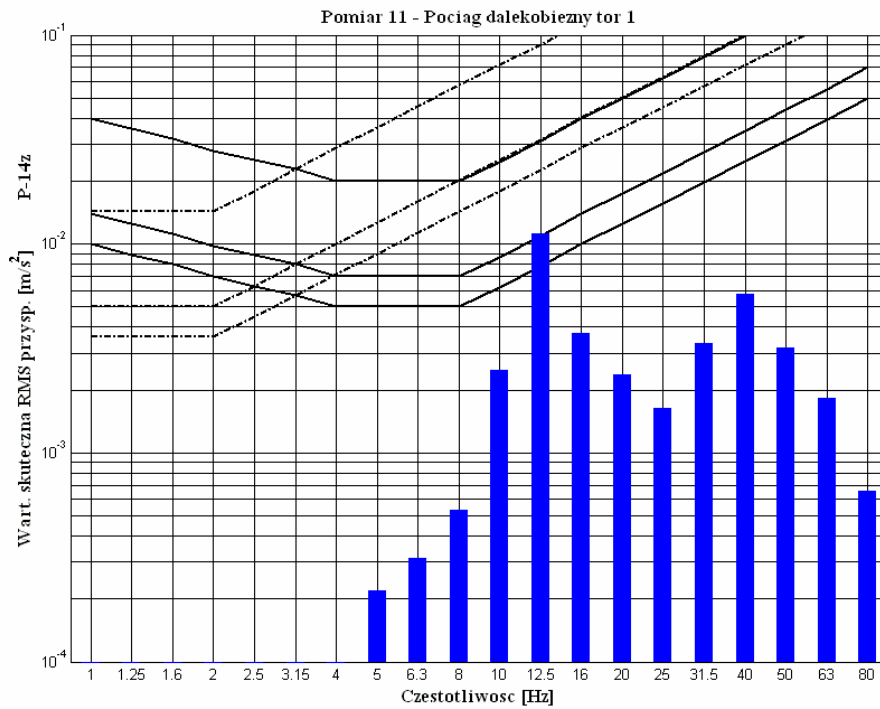


Rys. 21. Budynek przy Al. Jerozolimskich 28 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi poziomych drgań stropu

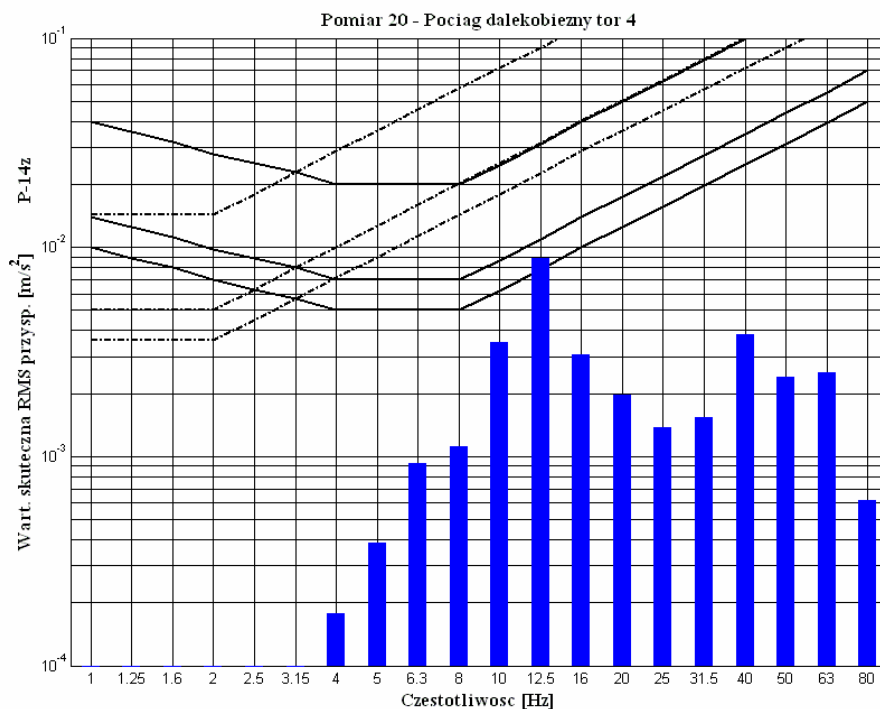


Rys. 22. Budynek przy ul. Smolnej 9 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi poziomych drgań stropu

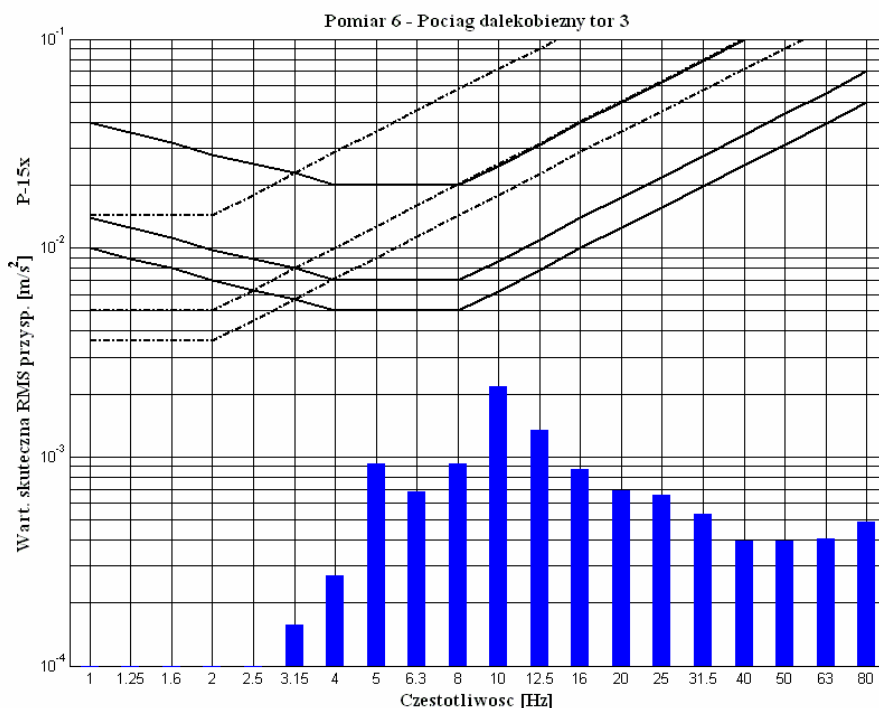
W budynku przy ul. Solec 36A (Dom Opieki Społecznej) przekroczenia progu odczuwalności przez ludzi drgań pionowych stwierdzono zarówno podczas przejazdu pociągów po torze najbliższym budynku (tor 1) – rys. 23 jak i najdalszym (tor 4) – rys. 24. Natomiast drgania poziome nie przekraczają progu ich odczuwalności przez ludzi – rys 25.



Rys. 23. Budynek przy ul. Solec 36A – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi pionowych drgań stropu podczas przejazdu pociągu po najbliższym torze



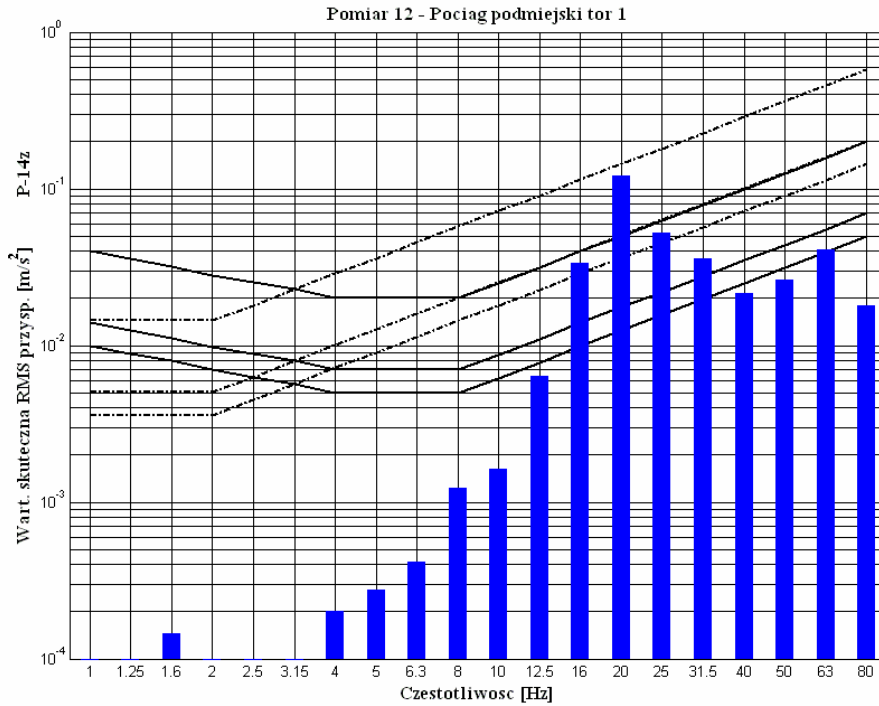
Rys. 24. Budynek przy ul. Solec 36A – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi pionowych drgań stropu podczas przejazdu pociągu po najdalszym torze



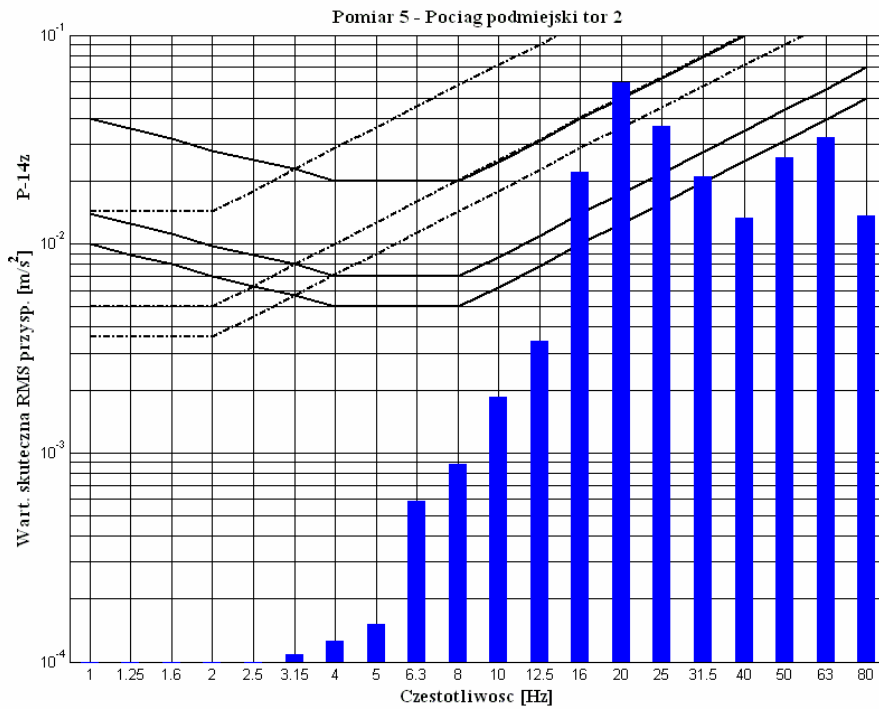
Rys. 25. Budynek przy ul. Solec 36A – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi poziomych drgań stropu

W budynku przy ul. Lubelskiej 30/32 stwierdzono, że drgania pionowe stropów wywołane przejazdami pociągów po dwu najbliższych torach (tory 1 i 2) przekraczają górny poziom zapewnienia komfortu należnego ludziom w pomieszczeniach mieszkalnych - rys. 26 i 27. Przekroczenia górnego poziomu przekroczenia warunków zapewnienia niezbędnego komfortu są znaczne i dotyczą zarówno pory dnia jak i nocy. Również stosunkowo duże (w porównaniu z innymi budynkami) są w tym budynku drgania poziome stropów – rys. 28 i 29.

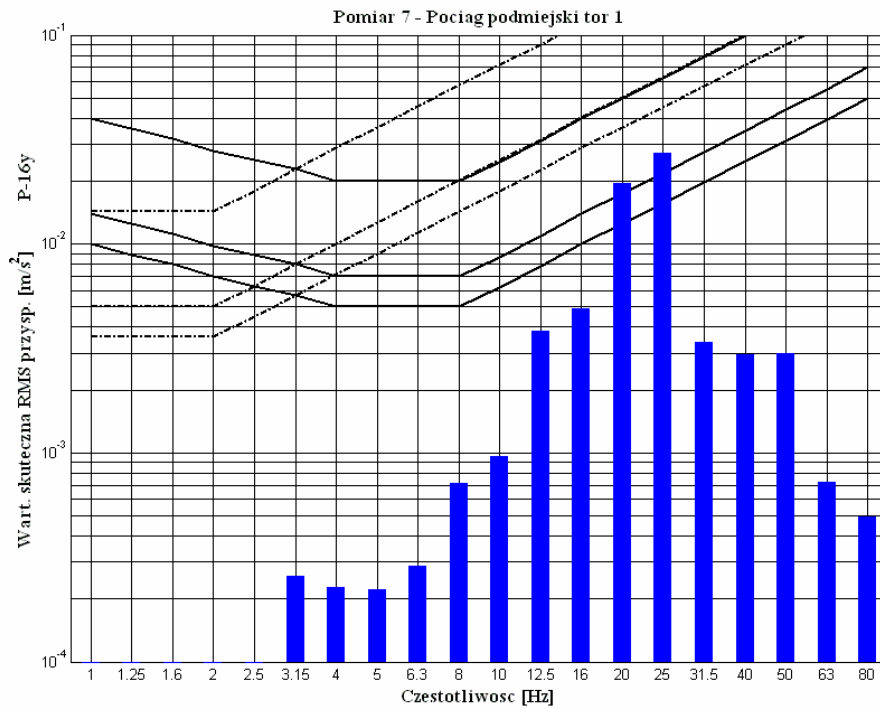
W budynku przy ul. Lubelskiej 33 drgania pionowe stropów wywołane przejazdami pociągów po najbliższym torze przekraczają próg odczuwalności drgań przez ludzi – rys. 30, natomiast drgania poziome nie przekraczają tego progu – rys. 31.



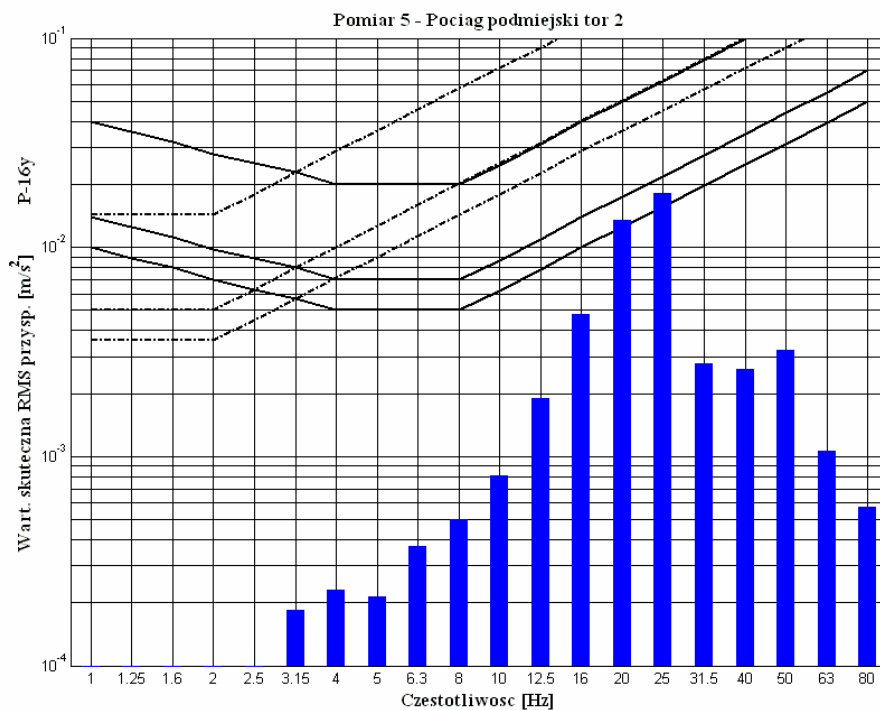
Rys. 26. Budynek przy ul. Lubelskiej 30/32 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi pionowych drgań stropu wywołanych przejazdem pociągu po torze 1



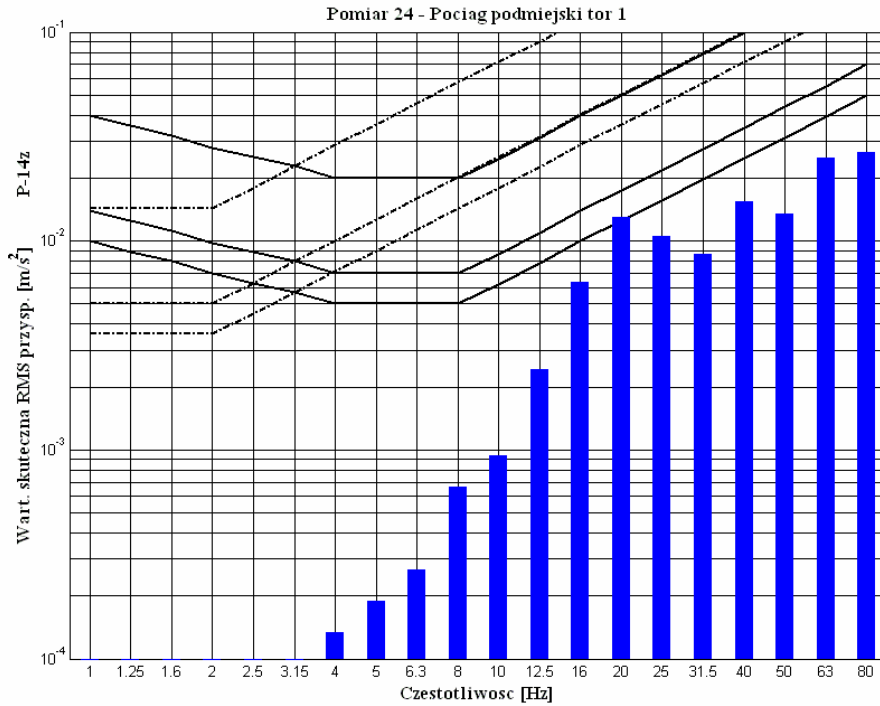
Rys. 27. Budynek przy ul. Lubelskiej 30/32 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi pionowych drgań stropu wywołanych przejazdem pociągu po torze 2



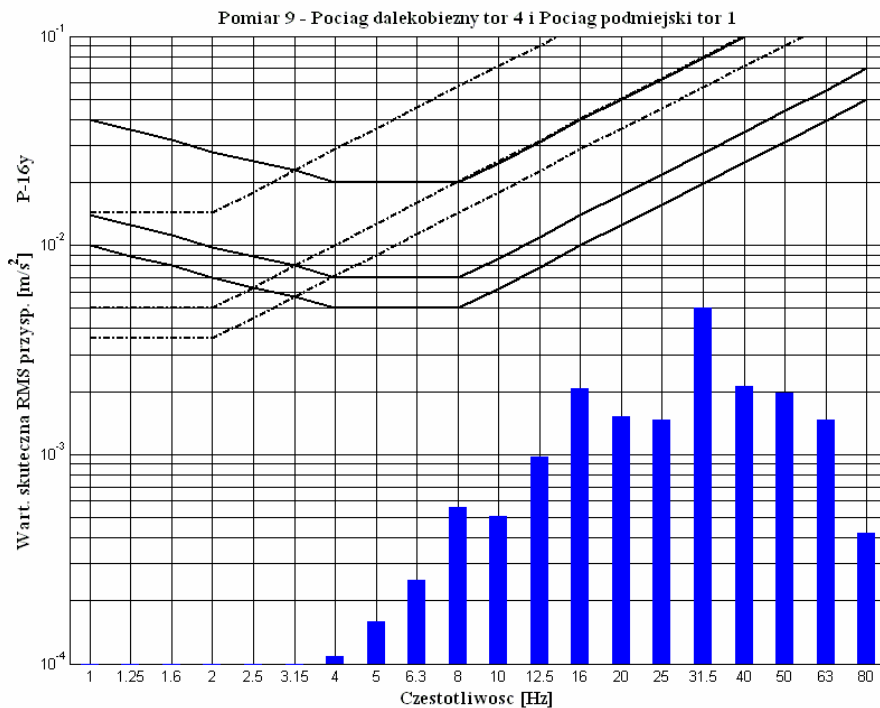
Rys. 28. Budynek przy ul. Lubelskiej 30/32 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi poziomych drgań stropu wywołanych przejazdem pociągu po torze 1



Rys. 29. Budynek przy ul. Lubelskiej 30/32 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi poziomych drgań stropu wywołanych przejazdem pociągu po torze 2



Rys. 30. Budynek przy ul. Lubelskiej 33 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi pionowych drgań stropu wywołanych przejazdem pociągu po torze 1



Rys. 31. Budynek przy ul. Lubelskiej 33 – najbardziej znaczące wyniki analizy wpływu na ludzi poziomych drgań stropu wywołanych przejazdem pociągu po torze 1

6. Wnioski

Na podstawie wyników przeprowadzonych pomiarów drgań i ich analiz przedstawionych w punkcie 5 oraz w Załączniku do niniejszego opracowania sformułowano następujące wnioski:

6.1. **Ogólna ocena wpływu drgań na konstrukcję badanych budynków.** Jedynie w budynku ul. Lubelska 30/32 drgania osiągają drugą strefę skali SWD-II (por. rys. 5), czyli można je zakwalifikować jako drgania odczuwalne dla konstrukcji tego budynku, mogące powodować przyspieszone jego zużycie a także pojawianie się rys na tynkach budynku i wyprawach malarskich. W odniesieniu do pozostałych budynków objętych niniejszym opracowaniem stwierdza się, iż drgania wywołane przejazdami pociągów nie są odczuwalne dla konstrukcji tych budynków.

6.2. **Ogólna ocena wpływu drgań na ludzi przebywających w budynkach.** W odniesieniu do wszystkich rozważanych budynków drgania poziome stropów wykazywały mniejszy wpływ na ludzi niż drgania pionowe. W odniesieniu do drgań poziomych stropów stwierdzono przekroczenie progu odczuwalności drgań przez ludzi jedynie w budynku przy ul. Lubelskiej 30/32.

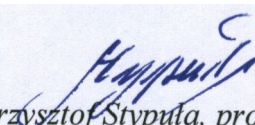
W budynkach przy Al. Jerozolimskich 33, ul. Św. Franciszka Salezego 6, ul. Solec 93, ul. Kijowskiej 8, ul. Żelaznej 16 i ul. Targowej 14 drgania pionowe stropów również nie przekraczają progu odczuwalności drgań przez ludzi. Jednakże w odniesieniu do ostatniego z tych budynków poziom drgań sytuuje się blisko linii progu odczuwalności drgań przez ludzi.

W usytuowanych najbliżej dalekobieżnej części tunelu średnicowego budynkach przy Al. Jerozolimskich 28 i ul. Smolnej 9 największe wartości uzyskane z analizy pomierzonych drgań pionowych przekraczały próg odczuwalności tych drgań przez ludzi podczas przejazdów pociągów w tej części tunelu, w której nawierzchnia nie została jeszcze zmodernizowana. Podobnie w budynkach przy ul. Lubelskiej 33 i ul. Solec 36A (Dom Opieki Społecznej) stwierdzono przekroczenia progu odczuwalności przez ludzi drgań pionowych. W pierwszym z tych budynków dotyczyło to przejazdów po najbliższym torze, w drugim zaś przypadku zarówno przejazdów pociągów po torze najbliższym budynku (tor 1) jak i najdalszym (tor 4).

Największy wpływ drgań na ludzi wystąpił w budynku przy ul. Lubelskiej 30/32, gdzie stwierdzono, że drgania pionowe stropów wywołane przejazdami pociągów po dwu najbliższych torach (tory 1 i 2) przekraczają górny poziom zapewnienia niezbędnego komfortu ludziom przebywającym w pomieszczeniach mieszkalnych; przekroczenia wymagań dotyczących zapewnienia niezbędnego komfortu są znaczne i dotyczą zarówno pory dnia jak i nocy.

- 6.3. Biorąc pod uwagę wyniki analizy wpływu drgań na ludzi w budynkach przy Al. Jerozolimskich 28 i ul. Smolnej 9 oraz fakt, iż usunięcie z tunelu tłucznia (stanowiącego element tłumiący) oraz zwiększenie sztywności nowej nawierzchni spowoduje wzrost poziomu drgań generowanych w dalekobieżnej części tunelu średnicowego, stwierdza się konieczność zastosowania wibroizolacji w konstrukcji nowej nawierzchni szynowej w tunelu. Powinna ona zapewnić obniżenie poziomu wpływu drgań na ludzi w budynkach do poziomu poniżej progu odczuwalności drgań przez ludzi. Jak wynika z doświadczeń uzyskanych podczas modernizacji części podmiejskiej tunelu efekt ten można uzyskać stosując dwustopniową wibroizolację, złożoną z systemu EBS i mat wibroizolacyjnych, pod warunkiem poprawnego zaprojektowania wibroizolacji. Skuteczność doboru parametrów wibroizolacji powinna zostać potwierdzona obliczeniami symulacyjnymi wpływu drgań na sąsiednie budynki i ludzi w nich przebywających.
- 6.4. W świetle wyników oceny wpływu drgań na ludzi w pozostałych budynkach oraz biorąc pod uwagę funkcję tych budynków, zaleca się zastosowanie wibroizolacyjnych mat podtłuczniowych na następujących odcinkach:
- na odcinku ok. 300 m od jezdni ul. Leona Kruczkowskiego wzdłuż budynków szpitala a następnie w sąsiedztwie budynku przy ul. Solec 36A - pod wszystkimi czterema torami,
 - na odcinku ok. 500 m od jezdni ulicy Targowej, wzdłuż budynków przy ul. Lubelskiej 33 i ul. Lubelskiej 30/32 – co najmniej pod dwoma torami usytuowanymi najbliżej tych budynków.
- 6.5. Po wykonaniu modernizacji nawierzchni torów należy przeprowadzić pomiary kontrolne drgań w budynkach objętych niniejszym opracowaniem (w miarę możliwości w tych samych punktach pomiarowych).

Za zespół autorski



Dr hab. inż. Krzysztof Stypuła, prof. PK

Konsultacja naukowa:

Prof. dr hab. inż. Janusz Kawecki

Kraków, 27.07.2009 r.