

Łódź.11-08-2010.

Sprawozdanie nr. 27/2/2010

## S P R A W O Z D A N I E

### z dynamicznych pomiarów platformy antywibracyjnej konstrukcji firmy PRO AUDIO BONO, Mysiadło ul. Polnych Kwiatów 21.

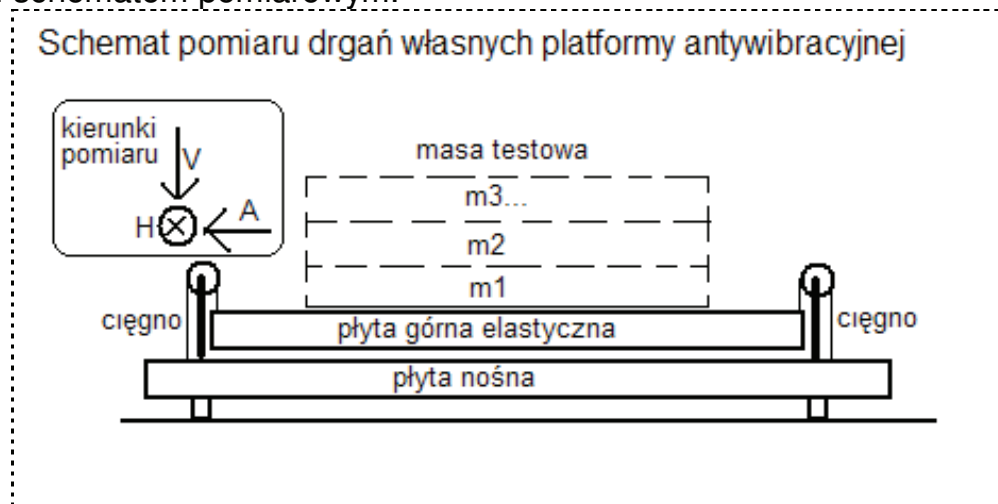
**Treść sprawozdania:****str:**

1. Metodyka pomiarów .....	2
2. Wnioski z pomiarów .....	2
3. Zalecenia .....	4
4. Wyniki pomiarów .....	4
♦ Tabela 0. Tabela rezonansów platformy antywibracyjnej dla kierunków A, H, V.....	5
♦ Wykres 0. Charakterystyka rezonansowa platformy antywibracyjnej dla kierunków pomiaru A, H, V .....	6
♦ Tabela 1. Drgania maszyny testowej w różnych warunkach podparcia .....	7
♦ Wykres 1. Charakterystyki amplitudowo-częstościowe łożyska nr.1 wykonane na swobodnym wybiegu maszyny testowej posadowionej na posadzce betonowej .....	8
♦ Wykres 2. Charakterystyki amplitudowo-częstościowe łożyska nr.1 wykonane na swobodnym wybiegu maszyny testowej posadowionej na platformie antywibracyjnej .....	9
♦ Wykres 3. Charakterystyki amplitudowo-częstościowe łożyska nr.1 wykonane na swobodnym wybiegu maszyny testowej posadowionej na płycie i stopkach antywibracyjnych wariant 1. ....	10
♦ Wykres 4. Charakterystyki amplitudowo-częstościowe łożyska nr.1 wykonane na swobodnym wybiegu maszyny testowej posadowionej na płycie i stopkach antywibracyjnych wariant 2. ....	11
♦ Wykres 5. Charakterystyki amplitudowo-częstościowe łożyska nr.1 wykonane na swobodnym wybiegu maszyny testowej posadowionej na płycie i sprężynach .....	12
♦ Tabela 2. Profilogram drgań platformy antywibracyjnej wymuszonych pracą maszyny testowej .....	13

## 1. Metodyka pomiarów.

Celem wykonanych pomiarów dynamicznych platformy antywibracyjnej konstrukcji firmy PRO AUDIO BONO było poznanie właściwości dynamicznych platformy, opisanie drgań własnych i zachowań dynamicznych w kontekście późniejszych jej zastosowań jako podstawy do sprzętu audio-wideo. Pomiary wykonano w dwóch etapach.

Etap 1. Wykonanie pomiarów drgań własnych górnej płyty platformy w trzech kierunkach A, H, V, przy różnych obciążeniach masą testową w zakresie do 46,7 kg, symulującą ewentualne obciążenie sprzętem. Pomiary wykonano zgodnie z poniżej naniesionym schematem pomiarowym.



Zastosowano metodę wymuszeń płyty górnej dla kierunku A i H przez jej odchylenie od stanu równowagi, dla kierunku V przez uderowe wymuszanie drgań. Pomiary wykonano przy pomocy sprzętu komputerowego ksd.400 Sensor oraz piezoelektrycznego czujnika drgań typu PCB/UM353 (masa 5 g), przymocowanego do płyty górnej przy pomocy obustronnie klejonej taśmy. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 0. i na wykresie 0.

Etap 2. Wykonanie pomiarów dynamicznych z maszyną testową posadowioną na płycie górnej w sposób opisany w pomiarach 1-5 tabeli 1. Maszyną testową była szlifierka z dwoma rozważonymi wirnikami, generującymi drgania (prędkości wirowania 2960 obr/min, ciężar maszyny 9,5 kg). Podczas eksperymentu nie zmieniano wielkości wymuszeń – niewywagi wirników. Bez wyłączenia posadowiono ją w różnych wariantach opisanych w tabeli 1. Maszyna była wyposażona w 3 czujniki drgań mocowane do korpusu łożyska 1, dodatkowo mierzone były obroty wału w celu utworzenia charakterystyk wybiegowych zawartych w tym opracowaniu w postaci wykresów 1-5.

W dalszej kolejności tego etapu badań wykonano profilogram drgań konstrukcji wsporczej maszyny antywibracyjnej w jej punktach charakterystycznych, naniesionych na schemacie pomiarowym tabeli 2. Pomiary te wykonano przy stałych obrotach szlifierki – takim samym poziomie wymuszeń dynamicznych. Wyniki tych pomiarów przedstawiono w tabeli 2. Do tych pomiarów użyto czujnika PCB/UM353.

## 2. Wnioski z pomiarów.

Do oceny dynamicznej konstrukcji wsporczej platformy antywibracyjnej Pro Audio Bono przyjęto następujące kryteria ocen:

- **kryterium 1.** – w paśmie słyszalnym dla człowieka i zakresie częstotliwości odtwarzanego dźwięku (16-20 000 Hz) nie mogą występować drgania własne – rezonanse konstrukcji;
- **kryterium 2.** – występuje dobra dynamiczna separacja wzajemna na linii płyta górna i podłoże i odwrotnie – podłoże i płyta górna;
- **kryterium 3.** – jest zachowana izotropowość sztywności drgań w trzech kierunkach pomiaru: A, H, V, co w praktyce objawia się zbliżonymi wartościami drgań własnych dla poszczególnych kierunków pomiarowych.

2.1. Z etapu 1. pomiarów dynamicznych przedstawionych w tabeli 0. i na wykresie 0. wynikają niskie wartości drgań własnych (4 Hz) górnej płyty platformy antywibracyjnej dla kierunków pomiaru H i A (w poziomie). Jest więc spełnione kryterium 1. Wynikłe różnice drgań własnych dla kierunków pomiarowych H (3,75 Hz) i A (4,00 Hz) – pomiar bez masy, należy uznać za dopuszczalne, a sztywność podparcia w H i A należy zaliczyć do izotropowych. Jest spełnione kryterium 3. Drgania własne dla kierunku V (w pionie) nieobciążonej płyty wynoszą 14 Hz, a więc są znacznie wyższe od sztywności zmierzonej w kierunkach H i V. Sztywność kierunku V podpory uznaje się za anizotropową w stosunku do sztywności kierunków H i A. Nie jest więc spełnione kryterium 3. Tutaj trzeba jednak dodać, że częstotliwość pionowych drgań płyty górnej platformy antywibracyjnej (kierunek V) jest mniejsza od dolnej wartości granicznej pasma słyszalnego. Można wobec tego przypuszczać, że drgania płyty w tym kierunku nie będą ograniczały bardzo dobrych właściwości antyrezonansowych platformy Pro Audio Bono, wykorzystywanej w trakcie odtwarzania dźwięków, czy obrazów.

Przy obciążeniu masą testową do 10 kg szczyt rezonansu dla kierunku V wynosi 14 Hz, zaś zakres rezonansowy (10-16) Hz (dla platformy posadowionej na blacie stołu). Po jej posadowieniu na stoliku antywibracyjnym uzyskano natomiast odpowiednio: 17 Hz oraz 15-18 Hz. Są to wyniki na pograniczu zakresu kryterium 1. Należy dodać, że wraz z dociążaniem masą testową drgania własne obniżają swoją wartość, co pozytywnie wpływa na odstrojenie się od częstotliwości (16-20 000) Hz.

Dla kierunku pomiarowego H drgania rezonansowe po obciążeniu masą testową 46,7 kg obniżyły się z 3,75 na 2,50 Hz. Przebieg zmian częstotliwości rezonansowych dla poszczególnych kierunków pomiaru zobrazowano na wykresie 0. Naniesione na wykresie 0. drgania dla kierunku V o nieziennej wartości 2 Hz należy zaliczyć do drgań wynikłych ze sposobu wymuszeń (metoda udarowa). Na tym etapie badań trudno je więc zaliczyć do drgań krytycznych – rezonansowych. Interpretacja i kwalifikacja tych drgań wymaga dalszych badań.

2.2. Wyniki pomiarów dynamicznych etapu 2. przedstawiono w tabeli 1. i na wykresach 1-5. Podczas pomiarów w maszynie testowej zmieniano sztywność jej podparcia i obserwowano wpływ tego na dynamikę. Poziom wymuszeń dynamicznych maszyny był ten sam w różnych stanach pomiaru, dlatego też uzyskane różnice jej drgań są tylko rezultatem zmian sztywności podparcia. Drgania dla kierunku V przy stałych obrotach 2960/min i sztywnym podparciu maszyny wynoszą 18,6 mm/s (pom. 1.) oraz przykładowo 9,16 mm/s przy posadowieniu maszyny na platformie (pom. 2.) i 6,20 mm/s po jej ustawieniu na sprężynach (pom. 5.). **Świadczy to o wielkim wpływie sposobu podparcia maszyny testowej na wielkość jej drgań i występowanie częstotliwości krytycznych – rezonansowych.**

W tabeli 1. przedstawiono szczyty częstotliwości rezonansowych maszyny testowej, których wartości odczytano z wykresów 1-5. Z wykonanego zestawienia (jak również z charakterystyk) wynika, że rezonanse zależą przede wszystkim od sztywności podparcia maszyny. Wysokie drgania maszyny w kierunku V – 18,6 mm/s posadowionej na posadzce ceramicznej (pomiar 1.) wynikają z rezonansowego oddziaływania podparcia i sztucznego zawyżenia drgań dla tego kierunku pomiaru, szczyt częstotliwości rezonansowych wynosi 2600, a obroty wirnika – 2960/min, a więc znajdują się w zakresie oddziaływania rezonansu. Zastosowanie platformy antywibracyjnej PAB (pom. 2.) spowodowało obniżenie sztywności podparcia maszyny i obniżenie częstotliwości rezonansowej z 2600 na 1150 obr/min oraz odsunięcie częstotliwości rezonansowych od obrotów pracy i stąd obniżenie dynamiki maszyny. Po posadowieniu maszyny na platformie w zakresie pomiarowym, nie było rezonansu dla poziomego kierunku H. To znaczy, że przemieścił się on poniżej dolnej granicy częstotliwości, przy której wykonano pomiary. Z wykonanych pomiarów płyty posadowionej na stopkach antywibracyjnych w wariacie konstrukcyjnym 1. i 2. wynika, że uzyskane rezonanse dla kierunku V (1780 i 1660 obr/min) są wyższe niż dla platformy antywibracyjnej (1150 obr/min). Ten wynik pozwala wnioskować,

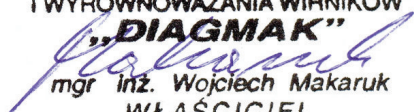
że sztywność podparcia na stopkach antywibracyjnych jest większa niż na platformie i dlatego uznaje się, że jest to gorszy sposób podparcia (warto tu jednak zauważyć, że rezonanse dla kierunku V na stopkach antywibracyjnych są prawie o 40% niższe od wartości uzyskanych na podłożu sztywnym). Znamienna jest także różnica częstotliwości dla wariantów 1. i 2.

Różne kształty krzywych wybiegowych, lokalizacji rezonansów dla kierunków pomiaru H i V pomiaru przy odmiennych podparciach maszyny testowej, uzyskane w pomiarach 1-4 (tabela 1.), wynikają z dużej asymetrii drgań – anizotropowości sztywności podparcia. Nie jest więc spełnione kryterium 3. Najlepsze parametry posadowienia dla maszyny testowej uzyskano w pom.5. – po ustawieniu płyty ze sklejki olchowej na sprężynach. Uzyskane częstotliwości rezonansowe 6,3 i 8,0 Hz spełniają warunki kryterium 1. i 3., a więc z fizycznego punktu widzenia są najlepszym sposobem podparcia maszyny testowej.

2.3. W celu sprawdzenia właściwości poprawnej separacji dynamicznej płyty górnej i podstawy platformy antywibracyjnej wykonano profilogramy ich drgań. Wyniki tych pomiarów zestawiono w tabeli 2. Płytę górną pobudzono do drgań przy pomocy maszyny testowej, a następnie pomierzono drgania w charakterystycznych miejscach konstrukcyjnych platformy antywibracyjnej. Drgania jej płyty górnej przedstawiono w punktach 1,4,7 i 10., drgania płyty nośnej – w punktach 2,5,8 i 11., a drgania posadzki ceramicznej – w punktach 3,6,9 i 12. Z wykonanych analiz wynika, że drgania płyty nośnej dla kierunku pomiaru H i A są niskie (rzędu 0,4 mm/s) i niewiele różnią się od tła drgań zobrazowanych przez punkty posadzki. Można więc stwierdzić, że platforma antywibracyjna PAB ma bardzo dobre warunki separacyjne w poziomie (kierunki A i H). Dla tych kierunków drgania jej płyty górnej, wymuszone pracą maszyny testowej, są prawie w całości niwelowane na cięgnach – zawiesiach. Natomiast dla kierunku pionowego (V) niektóre drgania przenoszą się z płyty górnej na nośną (i odwrotnie). Należy więc uznać, że w badanym urządzeniu kierunek pionowy jest gorzej separowany. Jeśli jednak wziąć pod uwagę, że w pomieszczeniach odsłuchowych i salach kina domowego (gdzie najczęściej będzie wykorzystywana platforma antywibracyjna PAB), przeważają wibracje poziome, związane głównie z pracą kolumn głośnikowych, większe drgania pionowe (ale przecież balansujące na granicy pasma słyszalnego) są nieszkodliwe i w niewielkim stopniu obniżają walory użytkowe tej platformy.

## 2. Zalecenia.

Na podstawie wyników badań dynamiki platformy antywibracyjnej Pro Audio Bono należy sugerować jej twórcom potrzebę testowania nowych rozwiązań i materiałów konstrukcyjnych, które pozwolą obniżyć w pionowe drgania własne tej konstrukcji i poprawić wzajemne zdolności separacyjne połączenia płyt. Pomiary na maszynie testowej dowodzą, że najlepiej byłoby w tym celu zastosować sprężyny o odpowiedniej sztywności. Praktyka – doświadczenie producenta, pokazuje jednak, że w pomieszczeniach odsłuchowych, gdzie występują ciągle drgania związane z pracą głośników, będą one stale pobudzane i mogą wpływać na tzw. kołysanie się dźwięku, z powyższym można sugerować przekonstruowanie platformy antywibracyjnej i wykorzystanie w nich kilku warstw materiałów pochłaniających drgania, takich jak guma, teflon, filc czy małe piłki gumowe. Te proste sposoby powinny wystarczyć do obniżenia drgań własnych o połowę (do ok. 6-7 Hz), a więc sprowadzenia ich znacznie poniżej dolnej granicy pasma słyszalnego przez człowieka i poprawienia zdolności separacyjnych z podłożem.

ZAKŁAD DIAGNOSTYKI WIBRACYJNEJ  
I WYRÓWNOWAŻANIA WIRNIKÓW  
„DIAGMAK”  
  
mgr inż. Wojciech Makaruk  
WŁAŚCICIEL



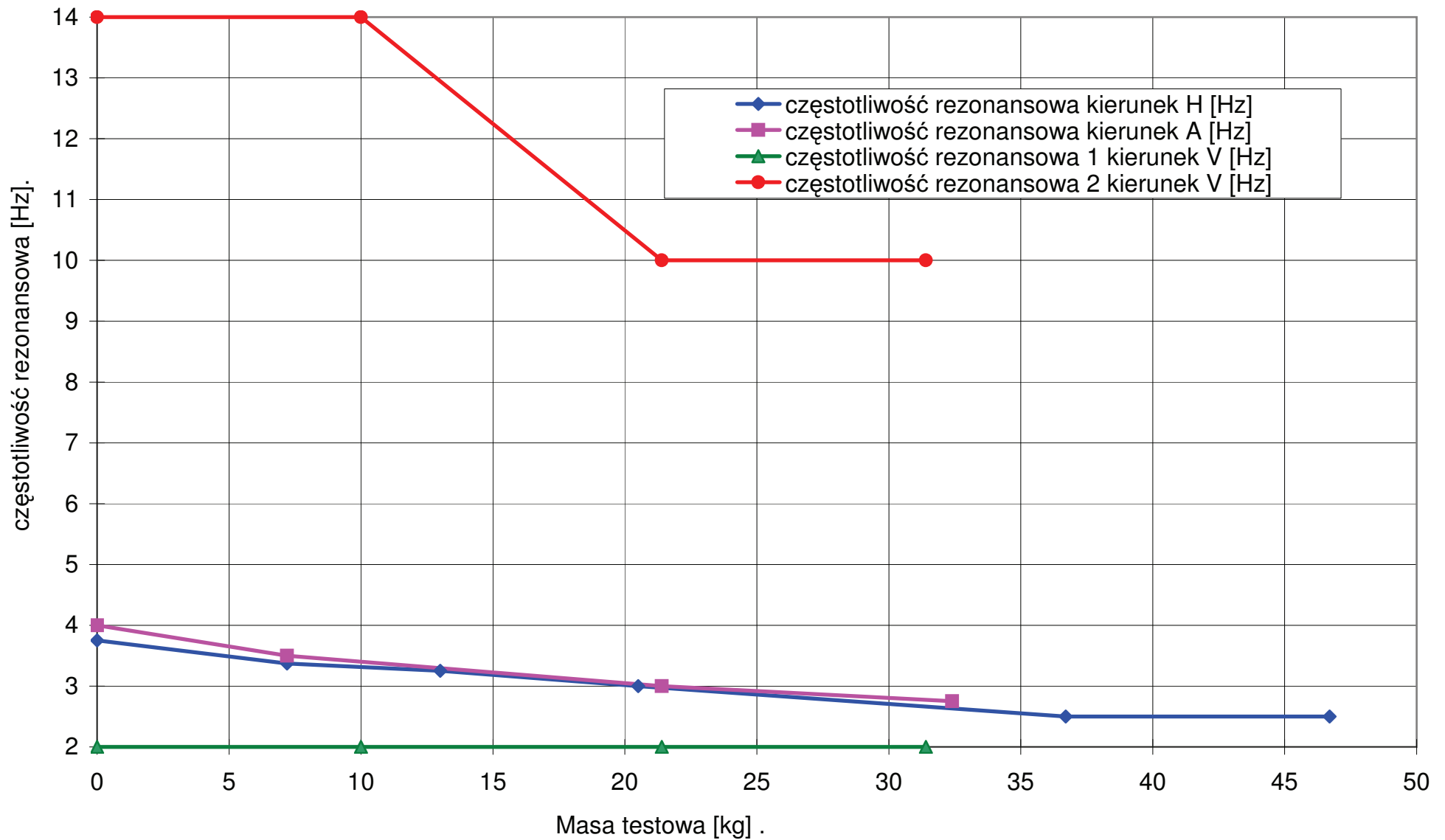
**Tabela - 0.** Tabela rezonansów platformy antywibracyjnej dla kierunków pomiaru A, H, V w funkcji obciążenia masą testową górnej płyty. Data pomiarów 05-08-2010.

Kierunek pomiaru (schem.)	Nr. pom.	Zakres częstotliwości rezonansowych [Hz]	Szczyt częstotliwość i rezonansu [Hz]	Masa testowa [kg]	Uwagi:
H	1	2,75 – 4,75	3,75	0	Platforma antywibracyjna posadowiona na blacie stołu.
	2	2,50 – 4,00	3,37	7,2	
	3	2,25 – 3,75	3,25	13,0	
	4	2,50 – 3,50	3,00	20,5	
	5	1,75 – 3,00	2,50	36,7	
	6	1,75 – 3,00	2,50	46,7	
A	7	3,00 – 4,75	4,00	0	
	8	3,00 – 4,00	3,50	7,2	
	9	2,50 – 3,50	3,00	21,4	
	10	2,5 – 3,50	2,75	32,4	
V	11	1,00- 6,00	2,00	0	
		10,00 – 16,00	14,00		
	12	1,00 – 6,00	2,00	10,0	
		10,00 – 16,00	14,00		
	13	1,00 – 6,00 8,00 – 14,00	2,00 10,0	21,4	
14	1,00 – 6,00 8,00 – 14,00	2,00 10,00	31,4		
15	1,00 – 6,00 15,00 – 18,00	2,00 17,00	21,4	Platforma posadowiona na blacie szafki antywibracyjnej.	

Uwagi:

1. Wyniki pomiarów zawarte w tabeli zobrazowano na wykresie „Wykres – 0”.
2. Kierunki pomiaru A, H, V zgodne ze schematem pomiarowym.

Wykres-0. Charakterystyka rezonansowa platformy antywibracyjnej dla kierunków pomiaru A, H, V w funkcji obciążenia górnej płyty masą testową. Data pomiarów 05-08-2010.





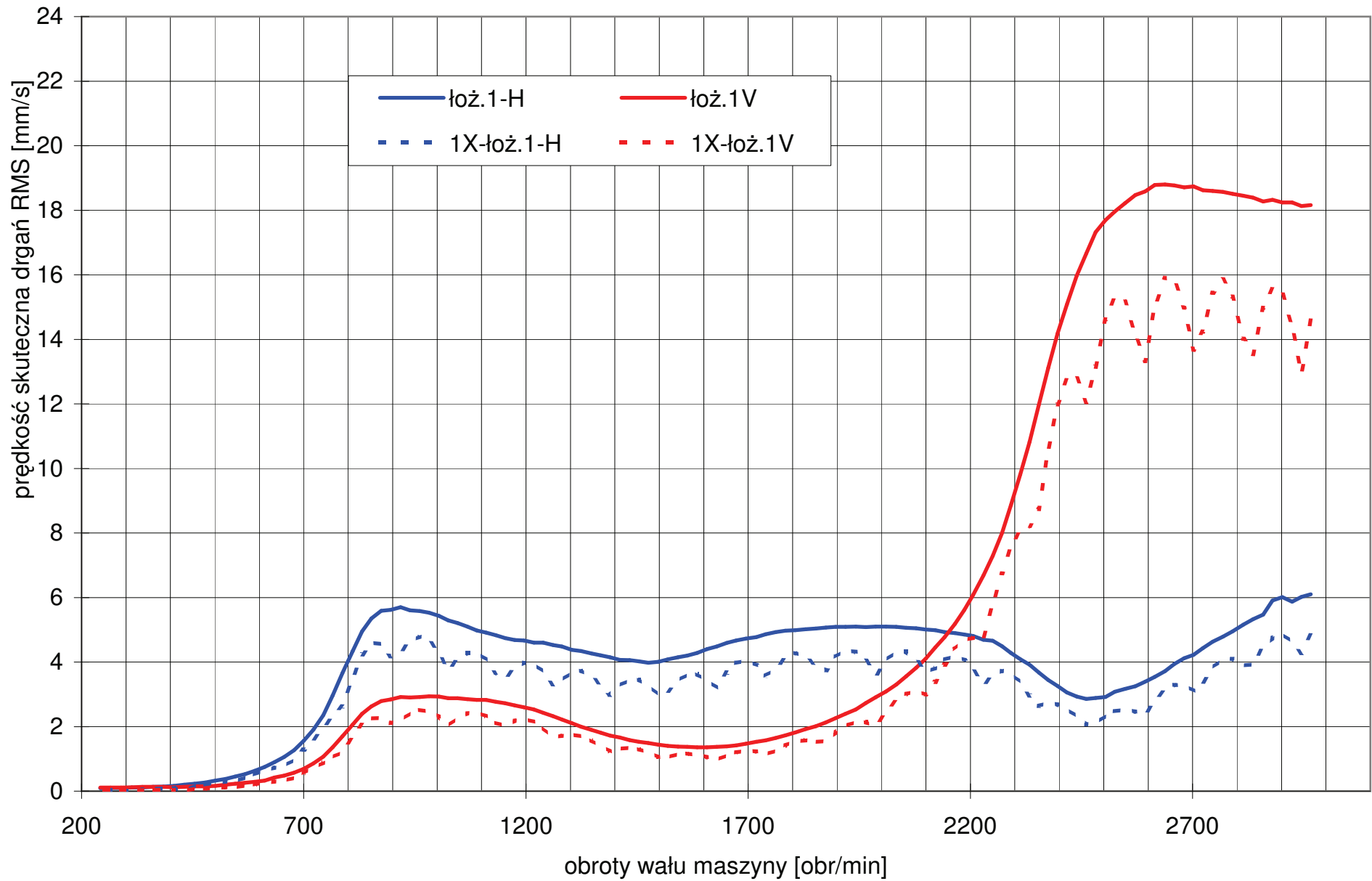
11-08-2010.

**Tabela - 1. Drgania maszyny testowej w różnych warunkach podparcia przy maksymalnych obrotach pracy 2960 obr/min i wykaz częstotliwości rezonansowych.**

Data pomiarów 05-08-2010.

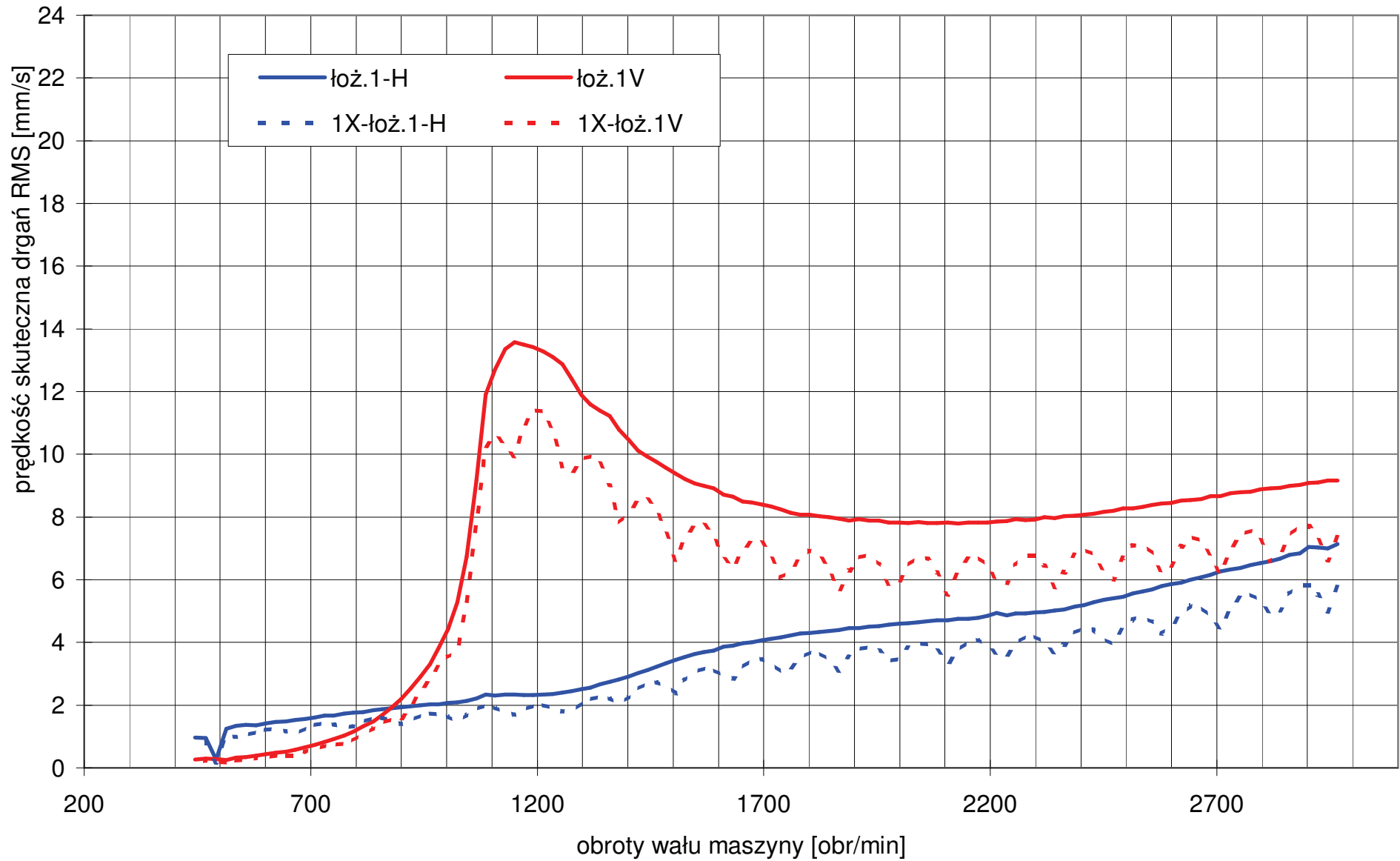
Nr. pom.	Amplituda prędkości drgań RMS, [mm/s] obroty maszyny 2960 obr/min (49,3 Hz)		Główne częstotliwości rezonansowe maszyny testowej obr/min (Hz.)		Warunki podparcia maszyny testowej. (numer wykresu)
	kierunek H	kierunek V	kierunek H	kierunek V	
1	6,10	18,6	900 (15)	900 (15) 2600 (43,3)	Maszyna testowa posadowiona bezpośrednio na posadzce ceramicznej. (Wykres 1).
2	7,14	9,16	brak	1150 (19,2)	Maszyna testowa posadowiona na platformie antywibracyjnej, platforma na posadzce ceramicznej. (Wykres 2).
3	9,03	14,09	800 (13,3)	700 (11,7) 1780 (29,7)	Maszyna testowa posadowiona na płycie podpartej na 3 stopkach antywibracyjnych wariant 1 (Wykres 3).
4	8,54	12,86	720 (12)	640 (10,7) 1660 (27,7)	Maszyna testowa posadowiona na płycie podpartej na 3 stopkach antywibracyjnych wariant 2 (Wykres 4).
5	8,81	6,20	380 (6,3)	480 (8,0)	Maszyna testowa posadowiona na płycie podpartej na 3 sprężynach (Wykres 5).

Wykres-1. Charakterystyka amplitudowo-częstościowa łożyska 1, wykonana na swobodnym wybiegu maszyny testowej posadowionej bezpośrednio na posadce betonowej. Data pomiarów 05-08-2010.

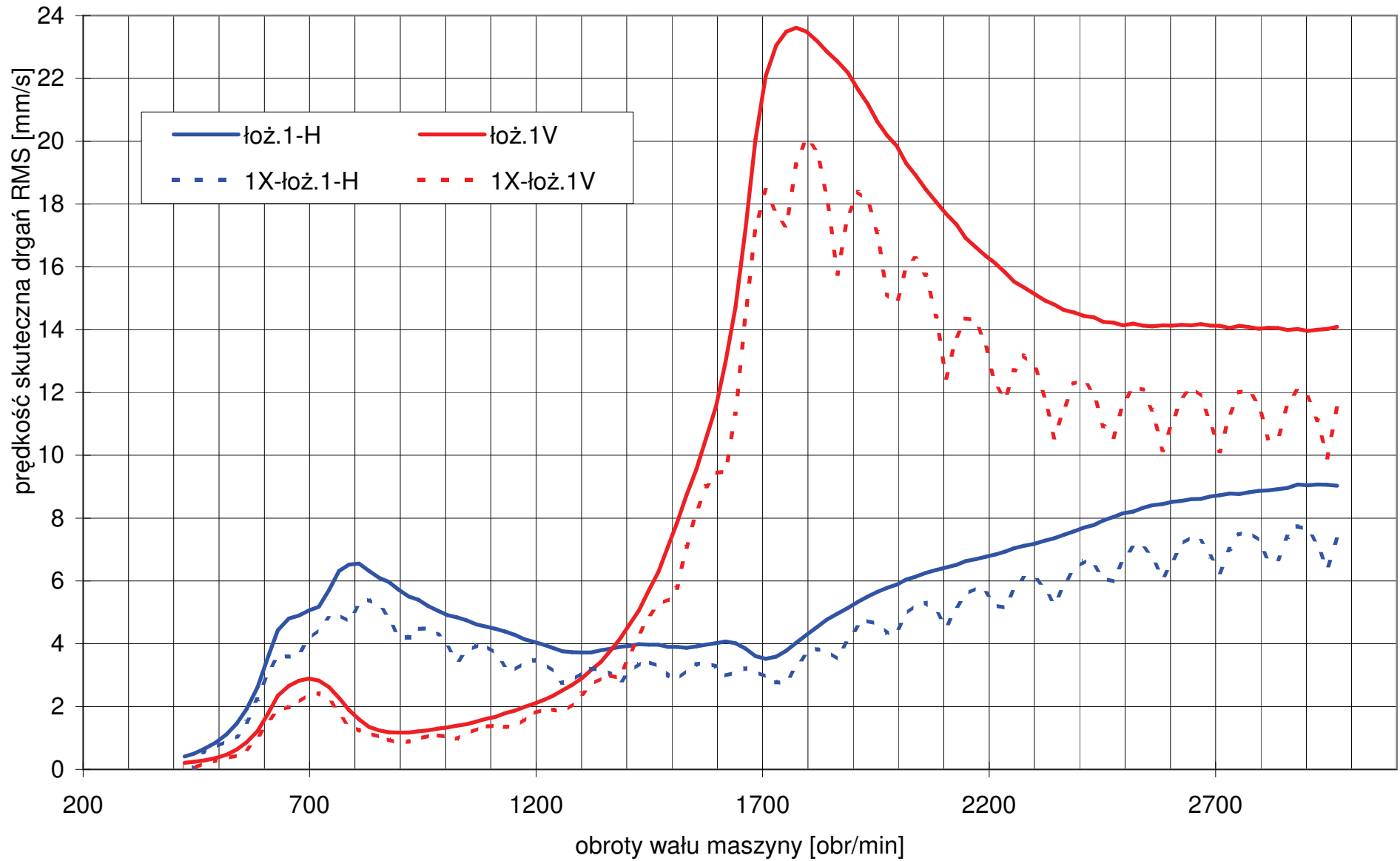




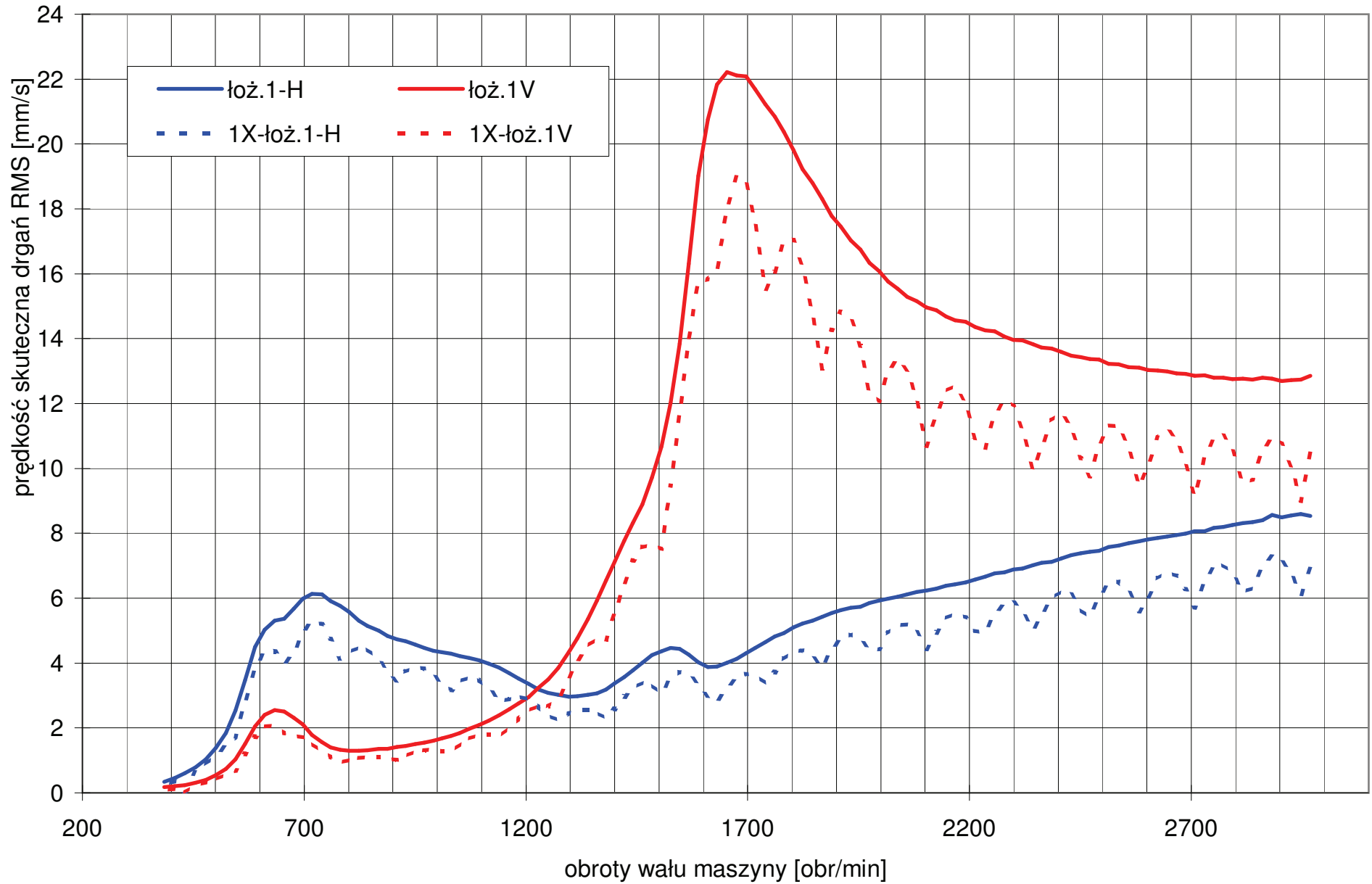
Wykres-2. Charakterystyka amplitudowo-częstościowa łożyska 1, wykonana na swobodnym wybiegu maszyny testowej posadowionej na platformie antywibracyjnej . Data pomiarów 05-08-2010.



Wykres-3. Charakterystyka amplitudowo-częstościowa łożyska 1, wykonana na swobodnym wybiegu maszyny testowej posadowionej na stopkach antywibracyjnych wariant-1. Data pomiarów 05-08-2010.



Wykres-4. Charakterystyka amplitudowo-częstościowa łożyska 1, wykonana na swobodnym wybiegu maszyny testowej posadzonej na stopkach antywibracyjnych wariant-2. Data pomiarów 05-08-2010.



Wykres-5. Charakterystyka amplitudowo-częstościowa łożyska 1, wykonana na swobodnym wybiegu maszyny testowej posadowionej na trzech sprężynach. Data pomiarów 05-08-2010.

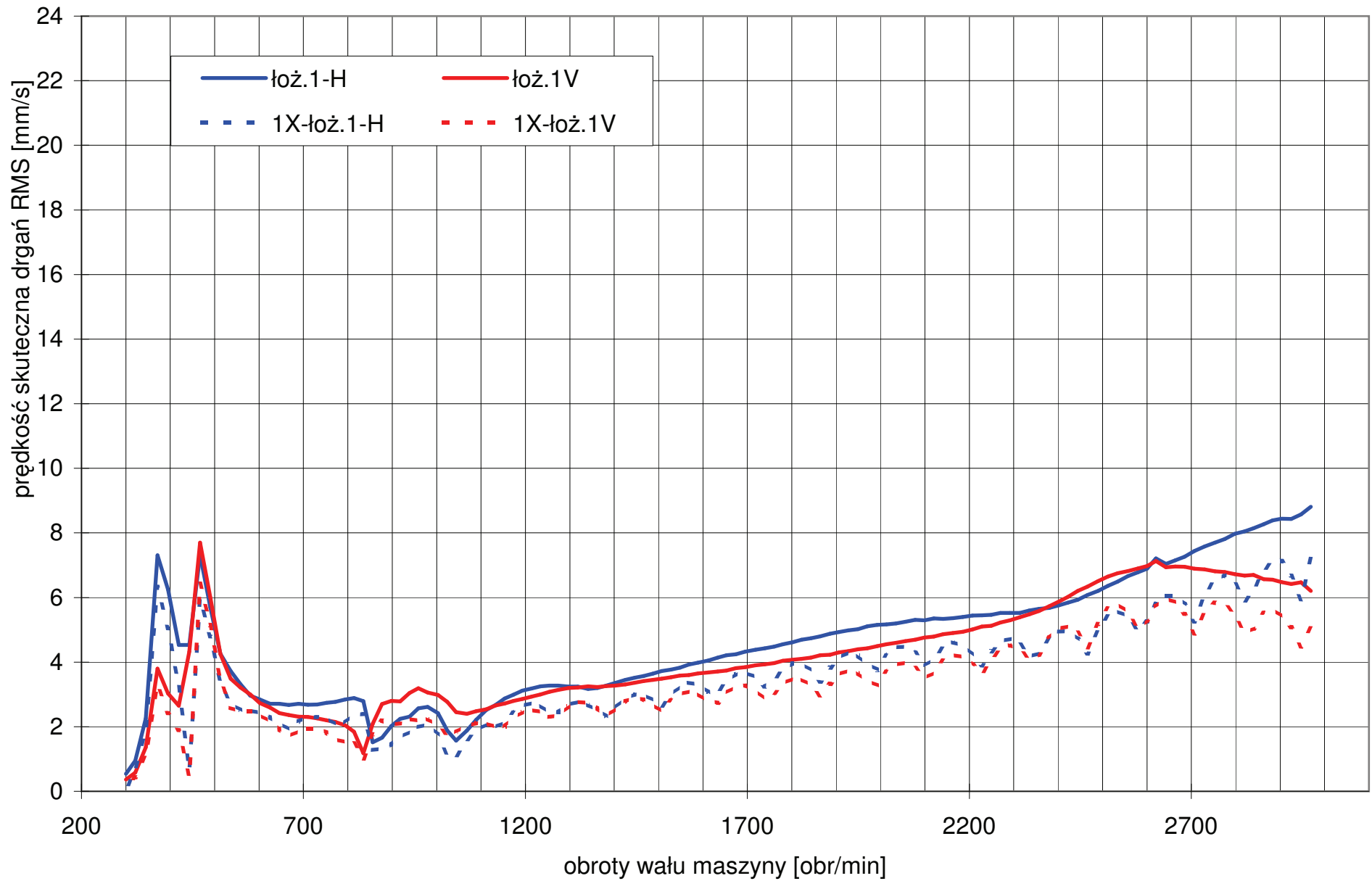


Tabela 2. Profilogram drgań platformy antywibracyjnej wymuszonych pracą maszyny testowej.  
 Data pomiarów: 05-08-2010.

Nr. punktu pomiarowego	Kierunek pomiaru	Amplituda prędkości drgań – RMS [mm/s]	Nr. punktu pomiarowego	Kierunek pomiaru	Amplituda prędkości drgań – RMS [mm/s]
1	V	6,70	7	V	6,22
	H	2,44		H	2,71
	A	3,22		A	1,90
2	V	0,93	8	V	0,22
	H	0,20		H	0,79
	A	0,35		A	0,40
3	V	0,20	9	V	0,25
	H	0,20		H	0,23
	A	0,30		A	0,22
4	V	6,76	10	V	6,91
	H	5,70		H	3,86
	A	2,70		A	1,91
5	V	1,20	11	V	1,26
	H	0,28		H	0,40
	A	0,40		A	0,32
6	V	0,40	12	V	0,22
	H	0,18		H	0,24
	A	0,21		A	0,29

