

Raport 30.06.2018

**Opracowanie algorytmów predykcji
parametrów cieczy
na podstawie drgań rury**

Towarzystwo Konsultantów Polskich
Oddział Gdańsk

Gdańsk, dnia 30 czerwca 2018 r.

1 Wprowadzenie

Niniejszy raport przedstawia wyniki badań dla zmodyfikowanej instalacji laboratoryjnej służącej wykrywaniu ilości przepływu cieczy na podstawie mierzonych drgań rury. Modyfikacje przeprowadzono na podstawie wniosków i uwag z Raportu 10.05.2018. Na Rys. 1 i Rys. 2 zaprezentowano zastosowaną zmodyfikowaną instalację wykrywania przepływu cieczy. Omawiane stanowisko laboratoryjne składa się dodatkowo z drugiego zbiornika na ciecz umieszczonego powyżej rury PCV. Jak widać również z Rys. 1 nachylenie rury wynosi 0 stopni.



Rysunek 1: Schemat instalacji laboratoryjnej – widok ogólny

2 Rezultaty testów i analiza uzyskanych pomiarów w instalacji laboratoryjnej

W oparciu o opracowane powyższe stanowisko laboratoryjne przeprowadzono szereg testów przepływowych. Uzyskano zademonstrowane poniżej wyniki, które dotyczą w szczególności wskazań akcelometru dla kolejnych poziomów szybkości przepływu (poczynając od minimalnej w tej instalacji wartości przepływu) dokładnie: 2, 20, 40, 60 i 80 litrów/minutę. Dla pełnego wyjaśnienia problemu, dodatkowo pomierzono wskazania czujnika przy zerowym przepływie.

W pierwszej serii pomiarowej, zastosowano zatem zgodnie z ustaleniami, natężenia niezerowego przepływu: 2, 20, 40, 60 oraz 80 litrów na minutę. Stan ustalony osiągnąć był po około



Rysunek 2: Schemat instalacji laboratoryjnej – rura transportowa

55 s (fragmentaryczne dane uwzględnione na rysunku sugerują czas ustalania 5 – 6 s). Akcelerometr wykonywał pomiary z częstotliwością 500 Hz (w równych odstępach czasu co 2 ms). W wynikach eksperymentów można zaobserwować stopień wypełnienia rury w zakresie od 0% do 75% ze względu na konstrukcję mechaniczną.

Dla przepływu:

- od 0 do 20 l/min wypełnienie rury wynosi do około 25%,
- od 30 do 50 l/min wypełnienie rury jest na poziomie około 50%,
- od 70 do 80 l/min rura wypełnia się do około 75%.

Powyższe oszacowania są to jedynie przybliżone. W celu dokładnej oceny wypełnienia rury transportowej należało by zamontować urządzenie wykrywające poziom w rurze.

Wnętrze rury transportowej przy wypełnieniu na poziomie około 50% przedstawiono na Rys. 3.



Rysunek 3: Wnętrze rury transportowej przy wypełnieniu około 50%

Korzystając z ultradźwiękowego czujnika przepływu (wykonującego pomiar z częstotliwością 1 Hz) dokonano pomiaru wartości zadanego (generowanego) przepływu, dla sześciu punktów

pracy (szybkości przepływu), tj. 0 l/min, 2 l/min, 20 l/min, 40 l/min, 60 l/min oraz 80 l/min. Wyniki przedstawiono na kolejnych Rysunkach. 4–9.

Ponieważ stabilne przepływy otrzymano dla próbek o numerach (około) od 5000 do 25000, do tego przedziału ograniczono analizę sygnałów z akcelerometru. Sygnały z akcelerometru oraz odpowiadające im widma (FFT), dla wszystkich sześciu zadanych przepływów przedstawiono na Rys. 10–27.

3 Podsumowanie i wnioski

Najważniejszy wniosek z przedstawionych wyników, to że wyznaczenie przepływu na podstawie sygnału z akcelerometru, nawet przy stałym przepływie, jest trudne. Dla przykładu, widma dla współrzędnej Z, dla przepływu 2 l/min oraz 20 l/min różnią się bardzo niewiele, głównie składową dla 200 Hz. Niestety nie udało się wyjaśnić pochodzenia składowych, które występują w sygnałach dla częstotliwości około 50 Hz, 100 Hz oraz 200 Hz. Niepokojące jest to, że pojawiają się one (składowa dla około 50 Hz) również dla zerowego przepływu (Rys. 12), co sugeruje, że są one generowane przez zewnętrzne czynniki zakłócające. Zatem dane takie nie mogą stanowić podstawy dla budowy modelu.

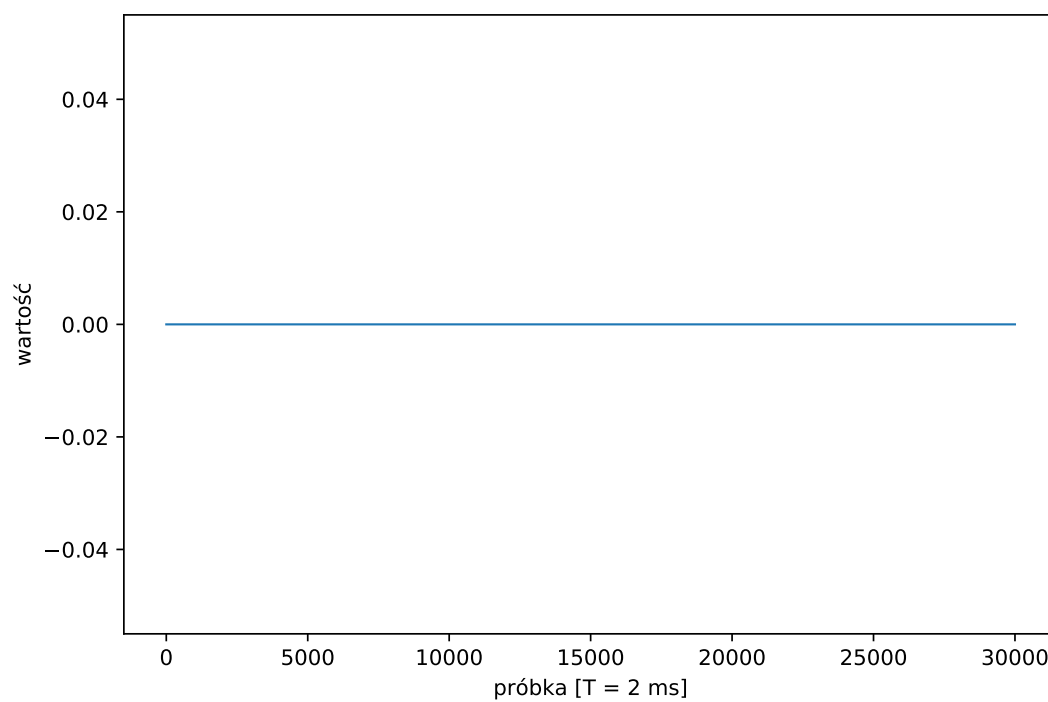
Nie można również oprzeć się na hipotezie, że energia widocznych składowych jest zależna od przepływu, co widać, dla przykładu, analizując widmo dla współrzędnej Z, dla przepływów 20, 40, 60 oraz 80 l/min (odpowiednio Rys. 18, 21, 24 oraz 27). Widać, że nie istnieje prosta relacja między przepływem a energią w widmie dla składowych około 50 Hz, 100 Hz oraz 200 Hz.

Warto również zwrócić uwagę, że pierwotne dane z instalacji (nie przedstawione w tym raporcie) dotyczyły procesu przejściowego, na podstawie którego budowa modelu byłaby jeszcze trudniejsza.

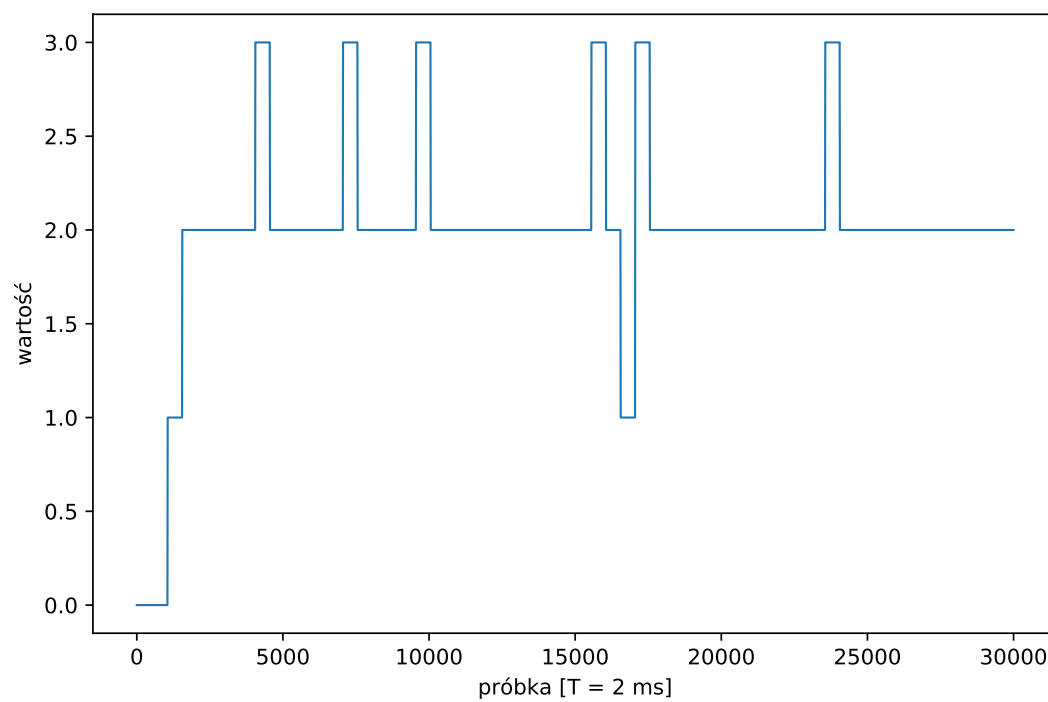
Ostateczna konkluzja po analizie przedstawionych danych jest niestety pesymistyczna; w odróżnieniu od Raportu 10.05.2018, gdzie widoczna była zaskakująco silna korelacja widma z rzeczywistą szybkością przepływu, dane osiągnięte w nowej instalacji laboratoryjnej nie pozwoliły na określenie takiej zależności.

W szczególności, przy niepełnym opisie układu eksperymentu, brak jest podstaw do pełnej identyfikacji i oceny zjawisk fizycznych zachodzących w zestawionej instalacji laboratoryjnej. Spośród wielu niepewności wymienić można: nieznaną relację pomiędzy przepływem a wypełnieniem rury transportowej, nieprecyzyjnie określone rozmieszczenie akcelerometrów, nieznanne parametry materiału z jakiego jest wykonana rura, brak informacji o częstotliwościach rezonansowych układu mechanicznego (na jakim zamontowana jest rura), względnie duża moc sygnału przy zerowym przepływie, jak również brak jakiegokolwiek regularności (nawet w analizowanej próbce sygnałów akcelerometrycznych, bez odniesienia do badań statystycznych). Wszystko to, oraz na przykład bezskuteczność identyfikacji źródła pochodzenia składowych o częstotliwościach około 50 Hz, 100 Hz i 200 Hz pojawiających się uzyskanym widmie sygnału z akcelerometrów, nie pozwoliło na znalezienie efektywnej korelacji pomiędzy danymi z akcelerometrów oraz szybkością przepływu cieczy w rurociągu.

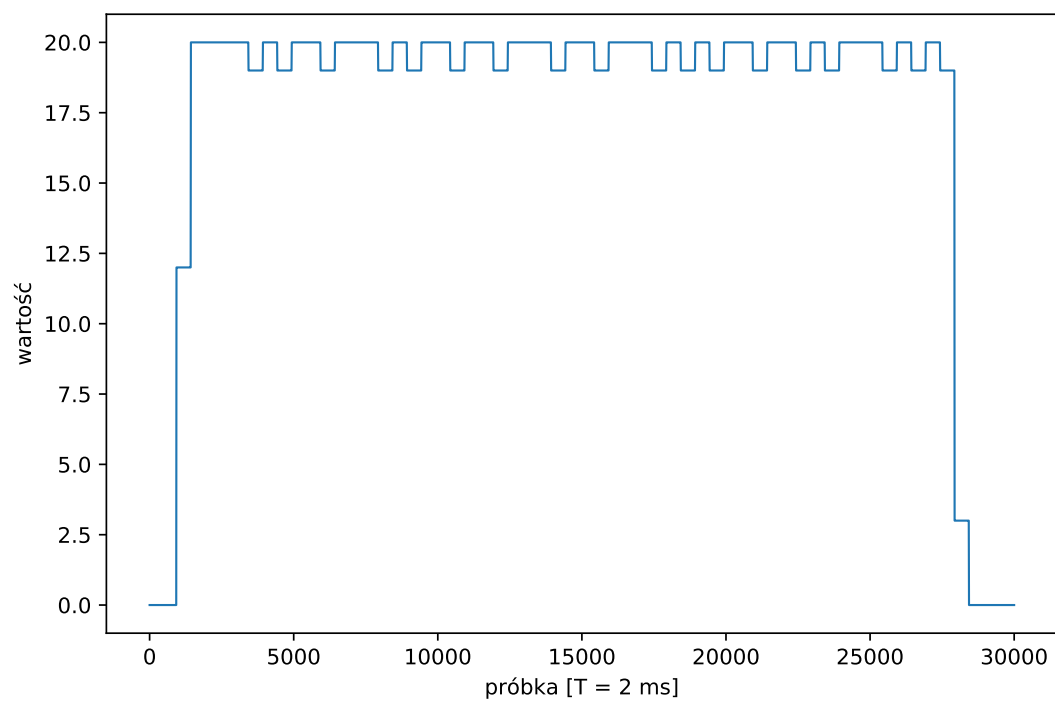
Wobec powyższego, po przeprowadzonej analizie – w ostatecznej konkluzji – należy stwierdzić, że stworzenie modelu wyznaczającego szybkość przepływu cieczy w instalacji laboratoryjnej na podstawie sygnałów z akcelerometru zamontowanego na rurze transportowej, nie mogło być skuteczne.



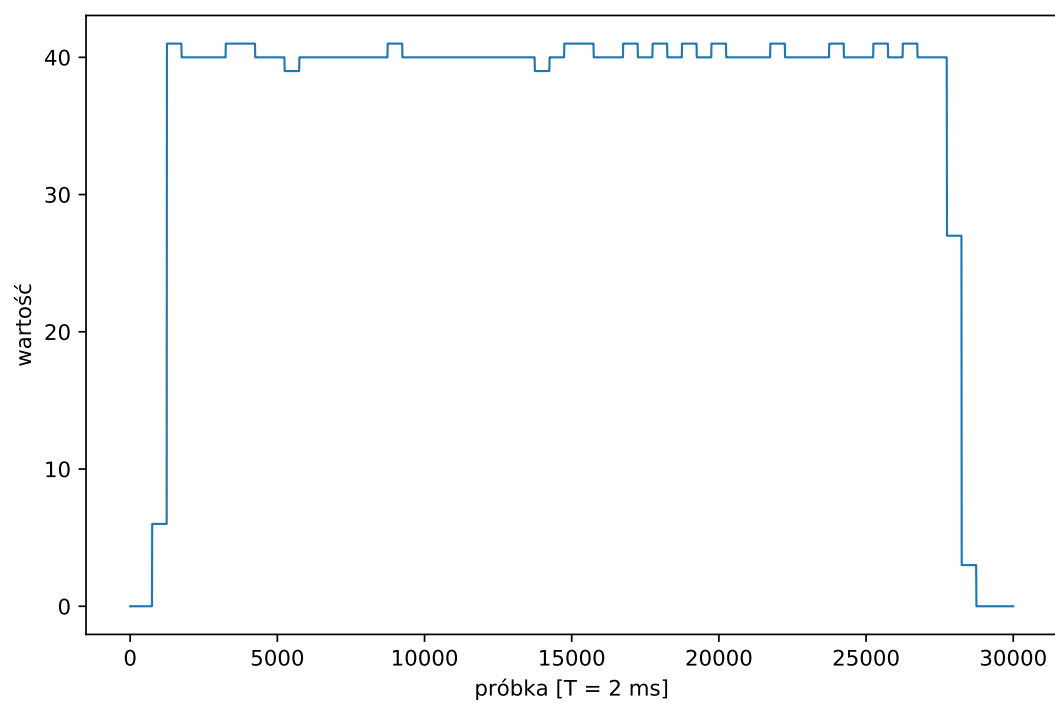
Rysunek 4: Wyniki pomiaru przepływu zerowego (dla 0 l/min)



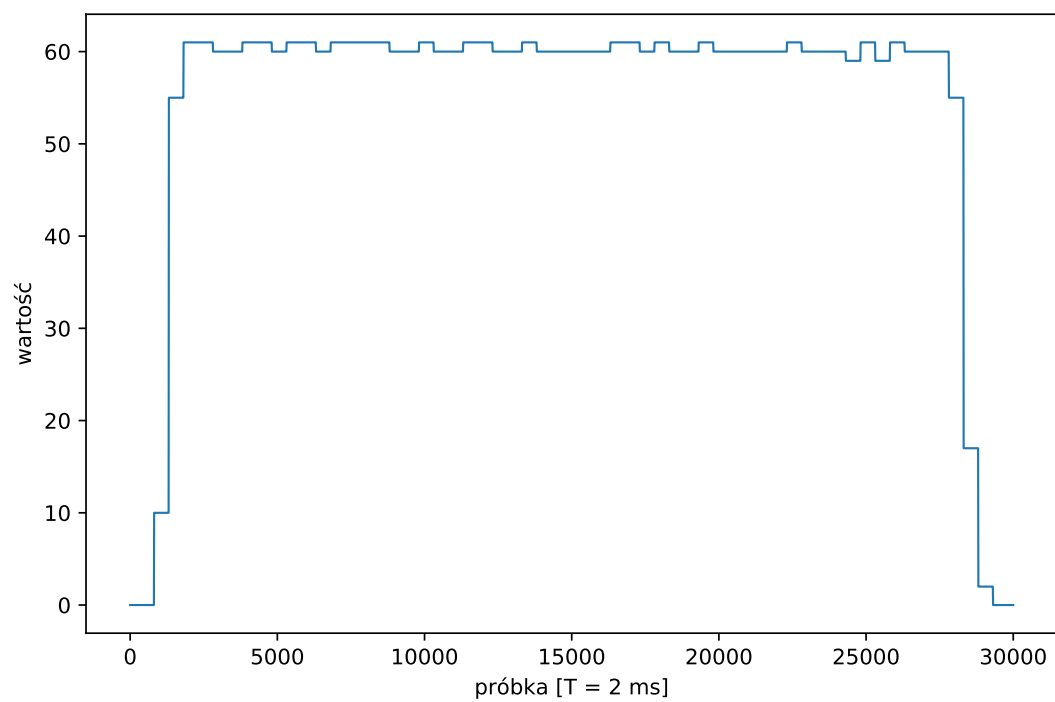
Rysunek 5: Wyniki pomiaru przepływu dla zadanej szybkości 2 l/min



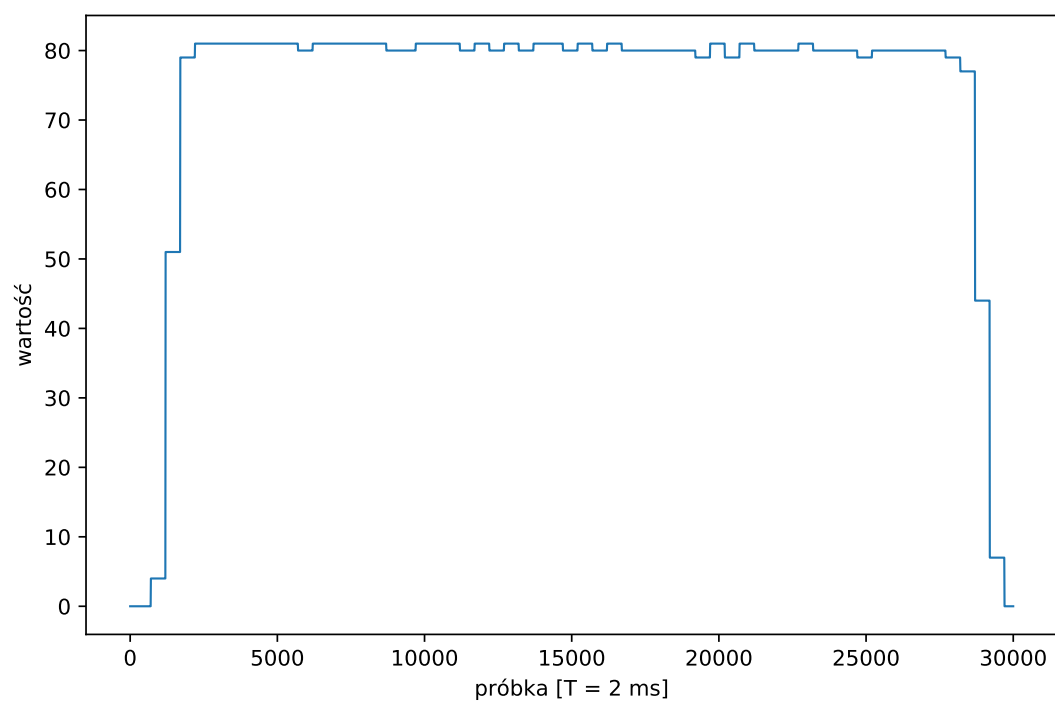
Rysunek 6: Wyniki pomiaru przepływu przy zadanej szybkości 20 l/min



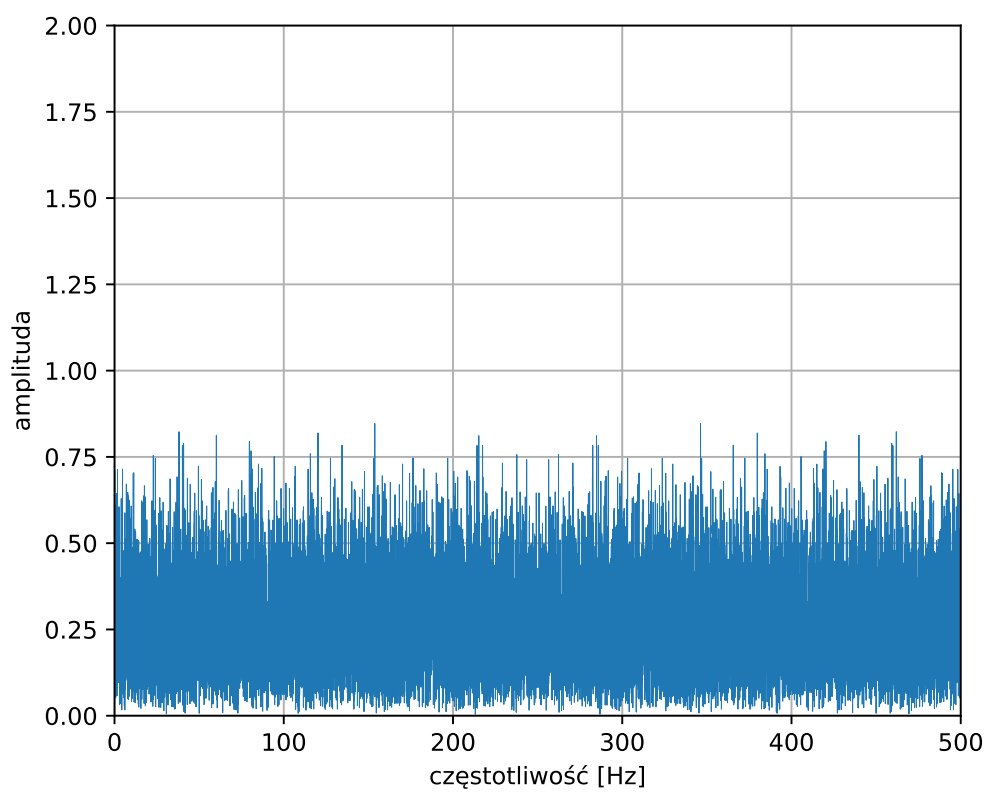
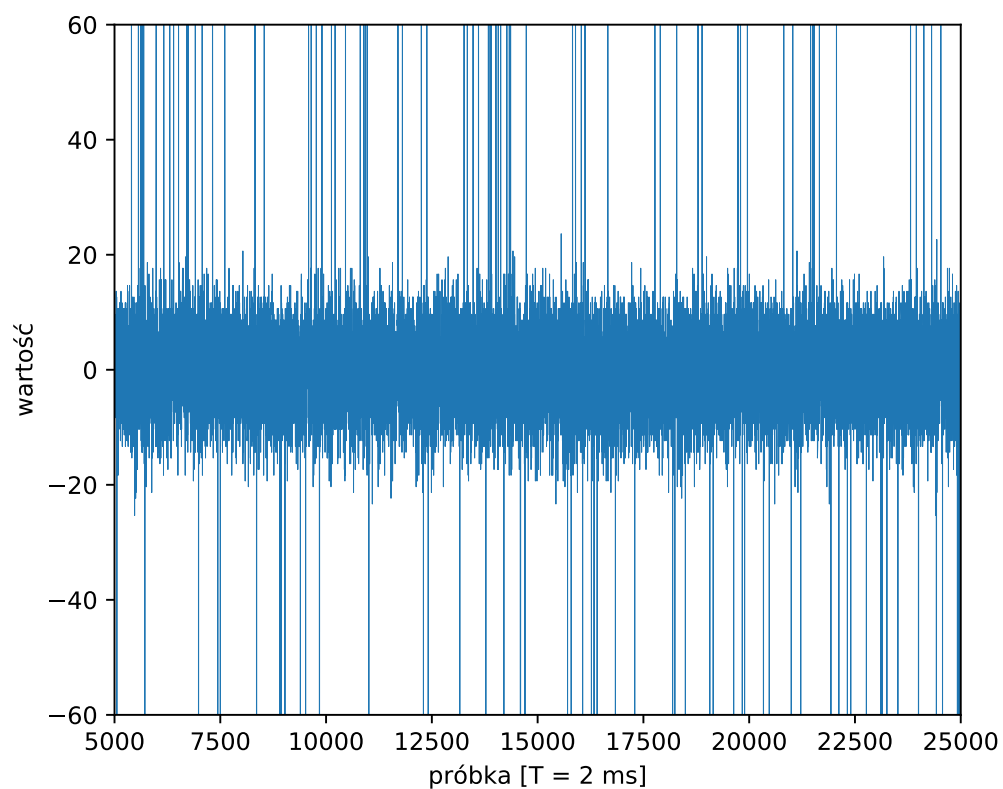
Rysunek 7: Wyniki pomiaru przepływu dla wartości zadanej 40 l/min



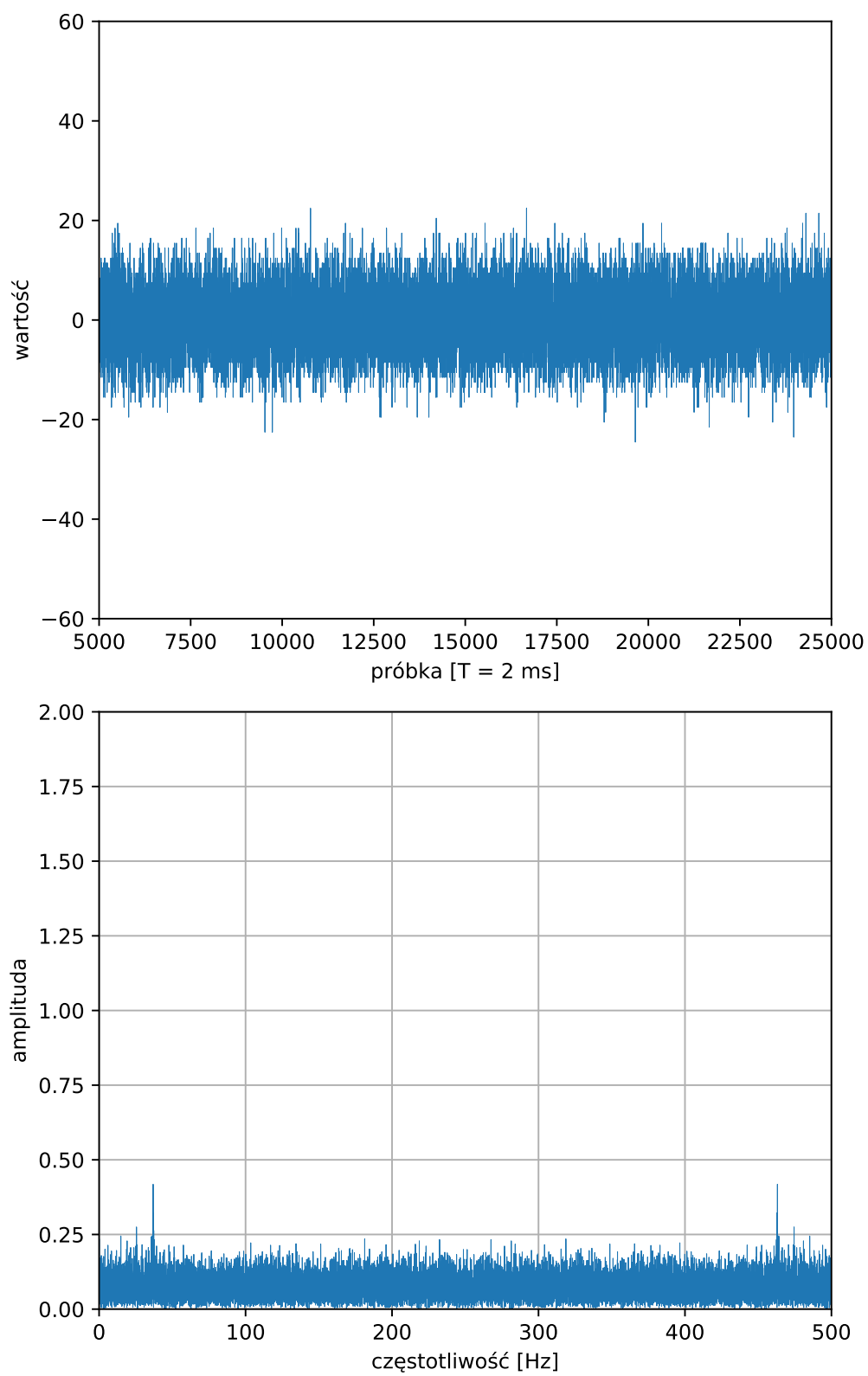
Rysunek 8: Wyniki pomiaru przepływu dla wartości zadanej 60 l/min



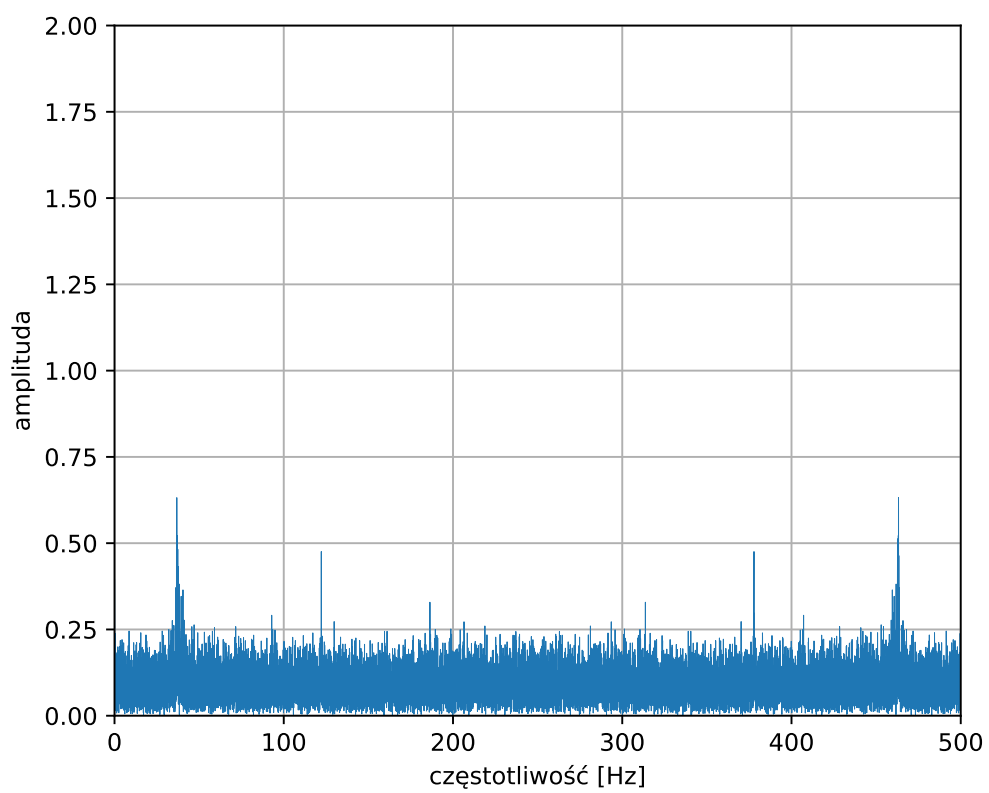
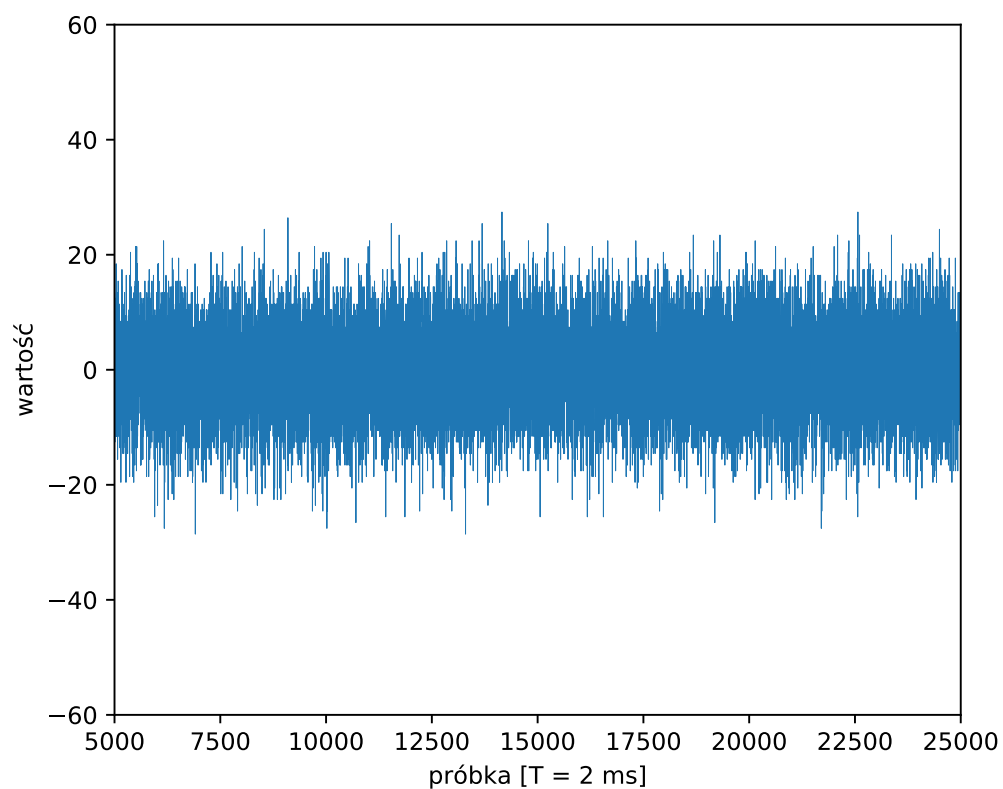
Rysunek 9: Wyniki pomiaru przepływu dla wartości zadanej przepływu 80 l/min



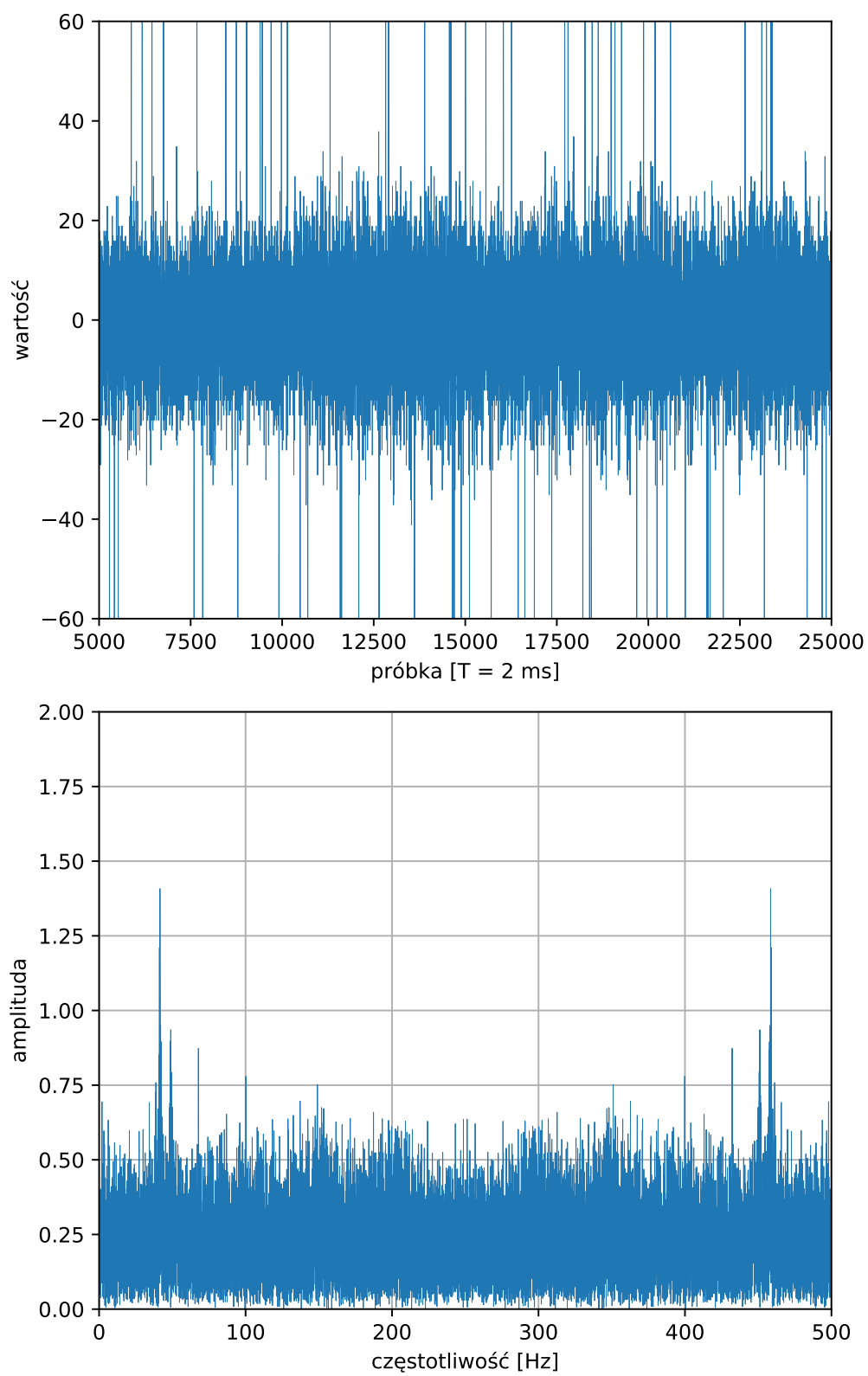
Rysunek 10: Sygnał oraz widmo współrzędnej X przy zerowym przepływie (0 l/min)



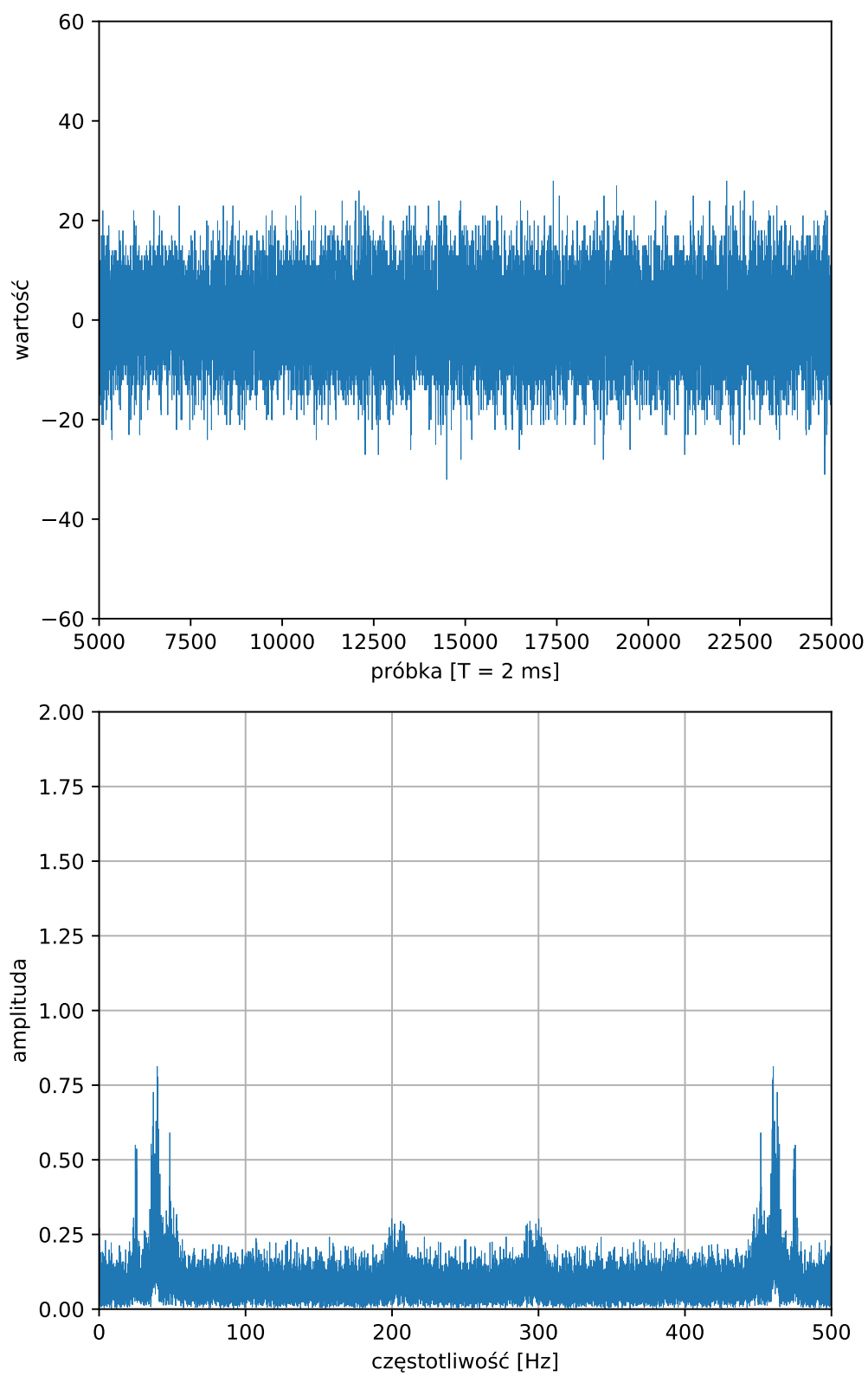
Rysunek 11: Sygnał oraz widmo współrzędnej Y przy zerowym przepływie (0 l/min)



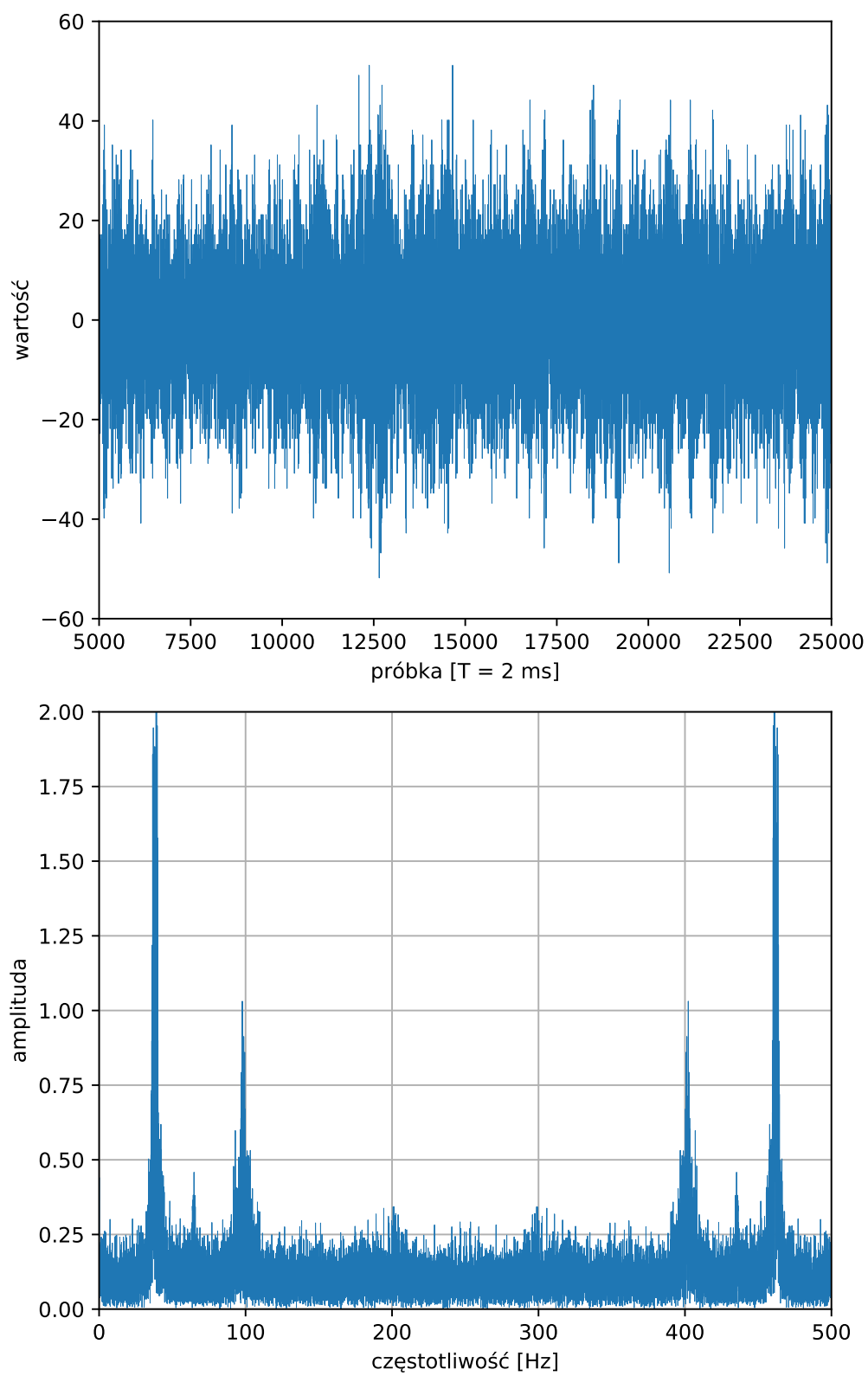
Rysunek 12: Sygnał oraz widmo współrzędnej Z przy zerowym przepływie (0 l/min)



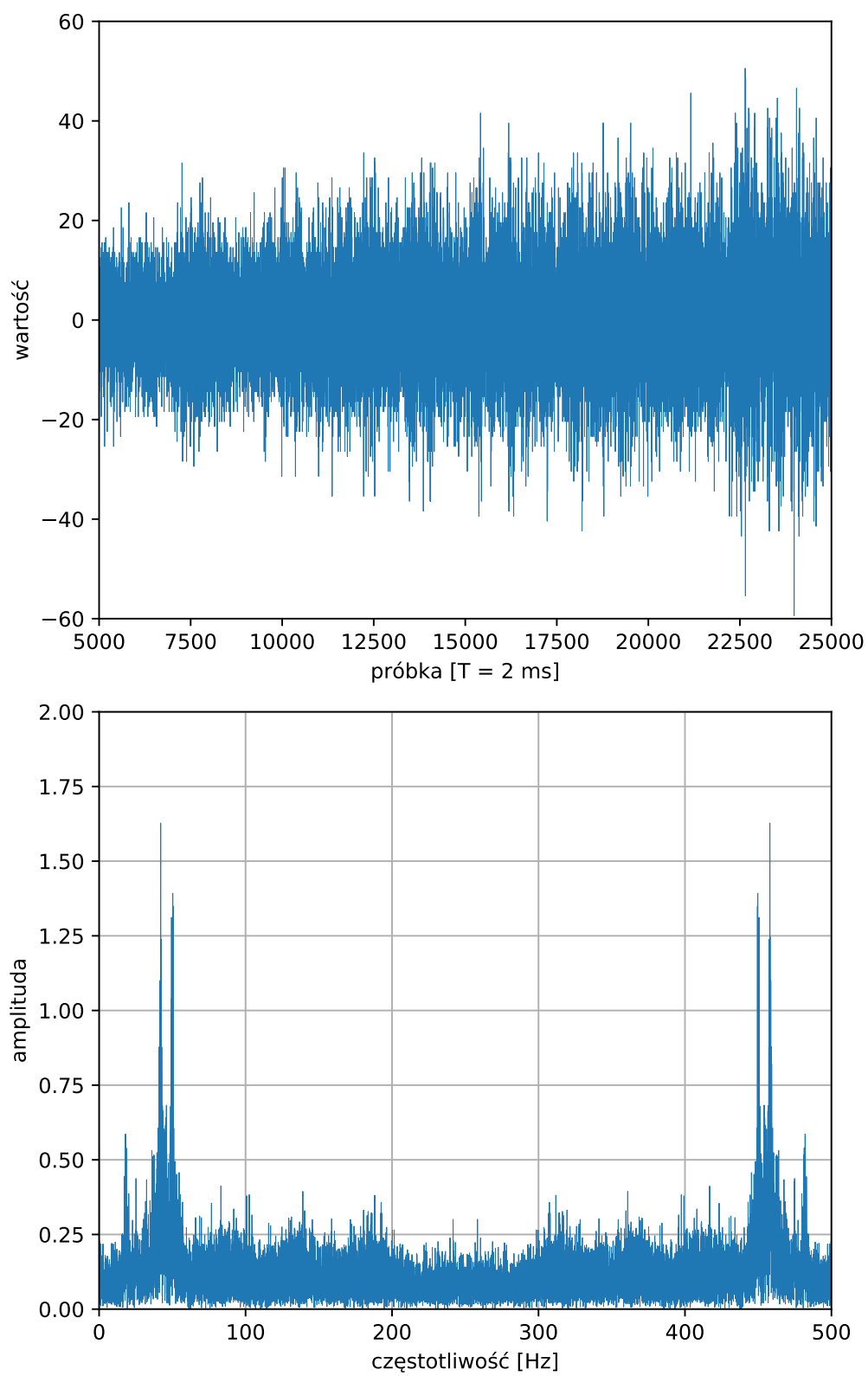
Rysunek 13: Sygnał oraz widmo współrzędnej X przy przepływie 2 l/min



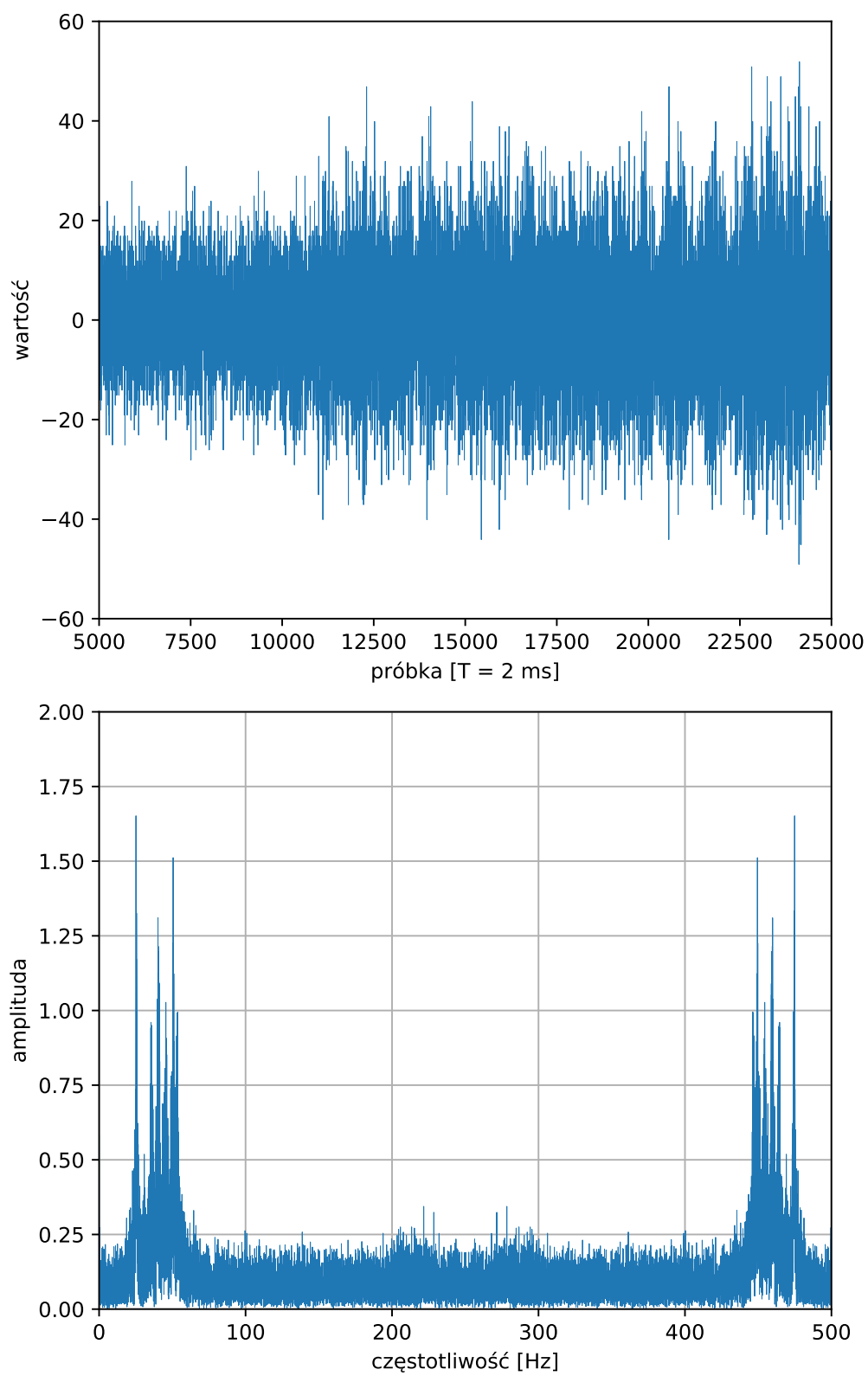
Rysunek 14: Sygnał oraz widmo współrzędnej Y przy przepływie 2 l/min



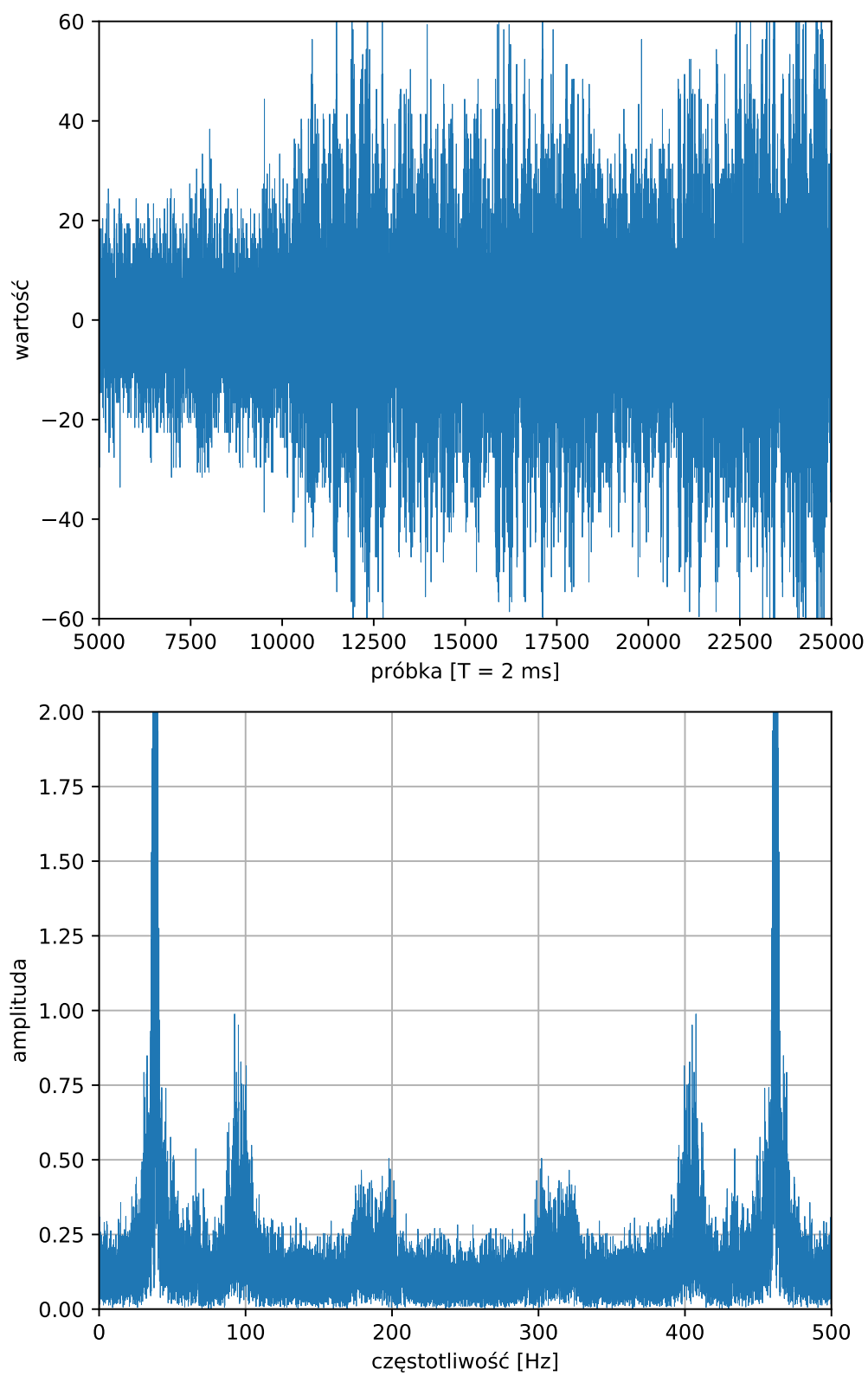
Rysunek 15: Sygnał oraz widmo współrzędnej Z przy przepływie 2 l/min



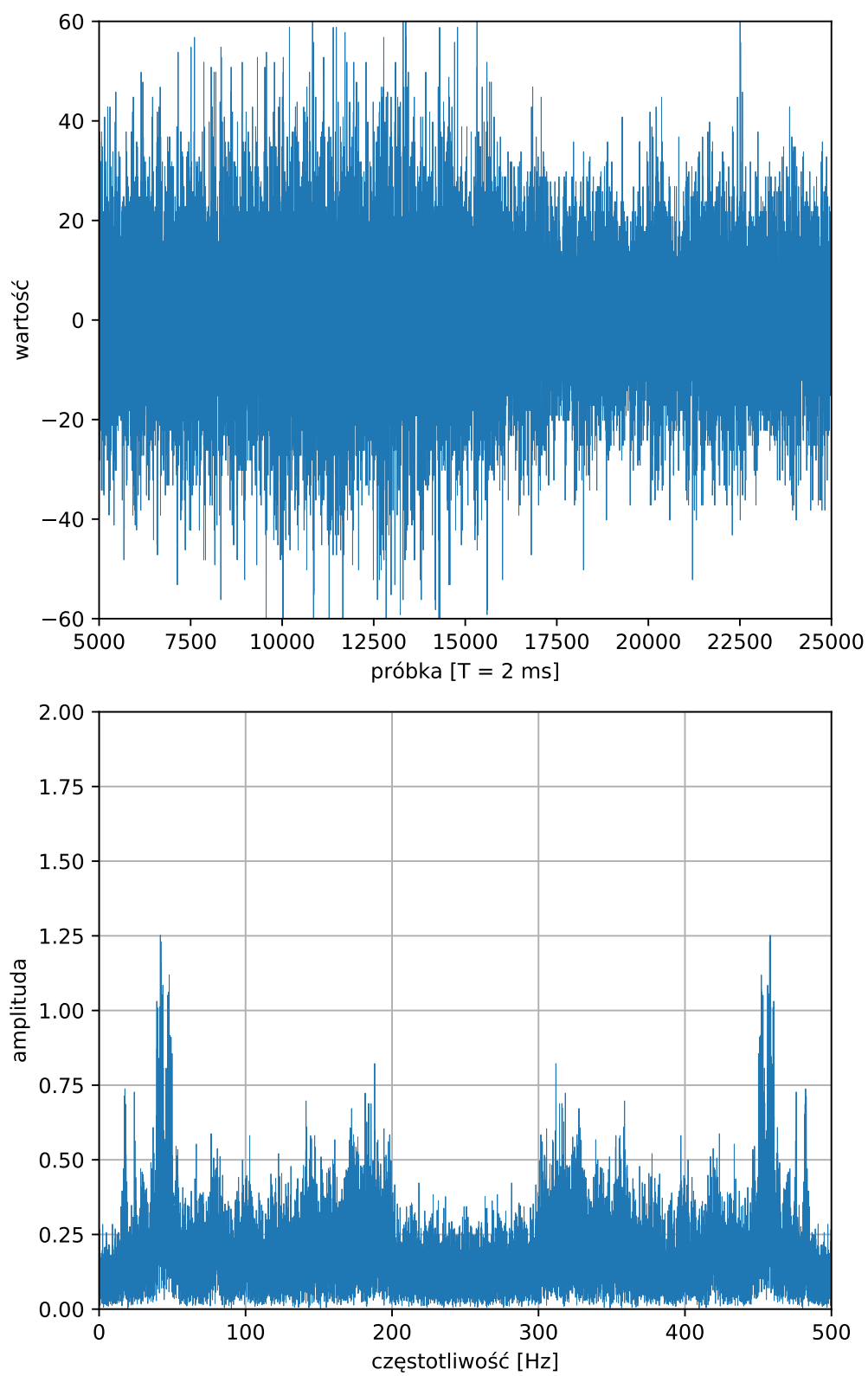
Rysunek 16: Sygnał oraz widmo współrzędnej X przy przepływie 20 l/min



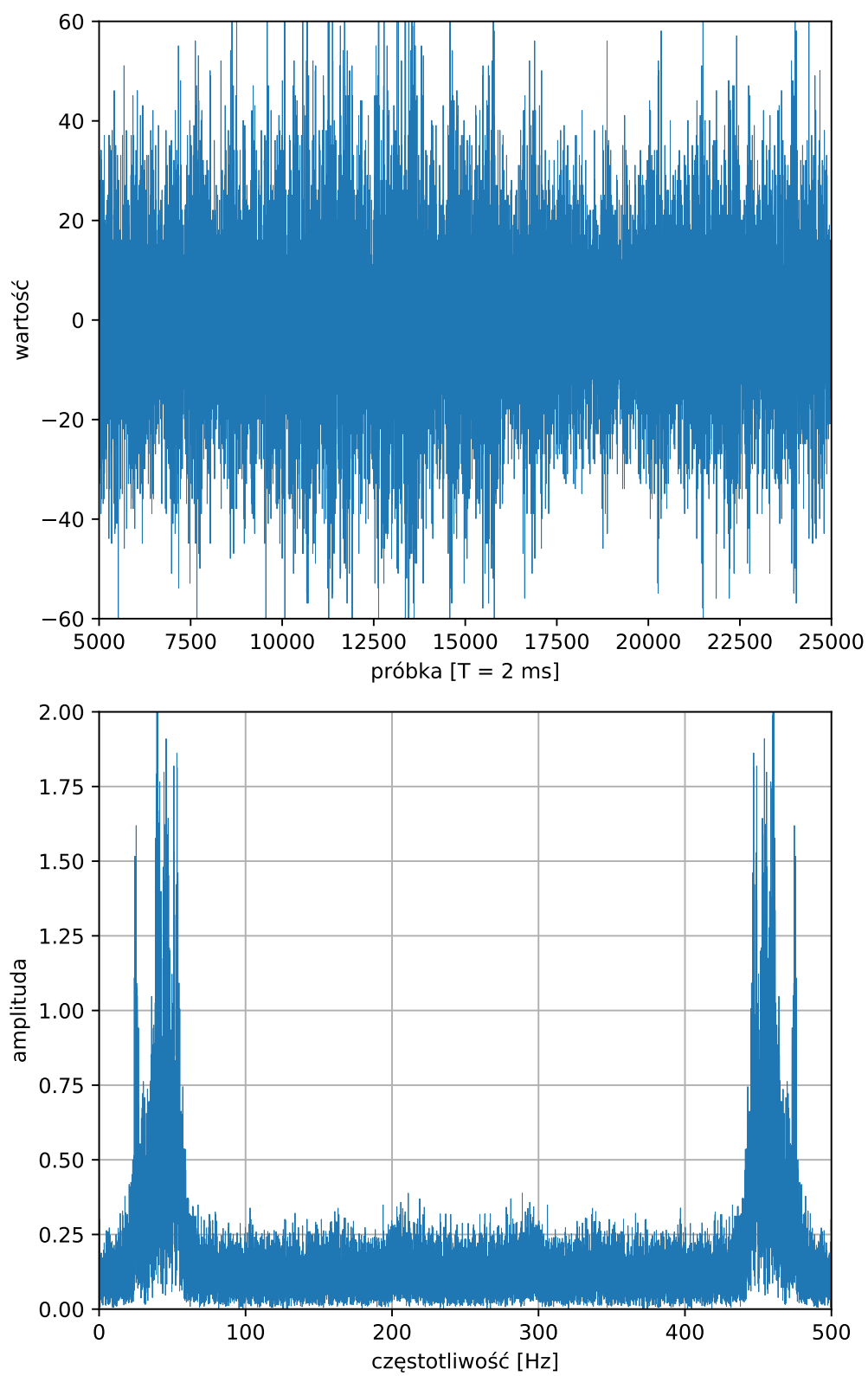
Rysunek 17: Sygnał oraz widmo współrzędnej Y przy przepływie 20 l/min



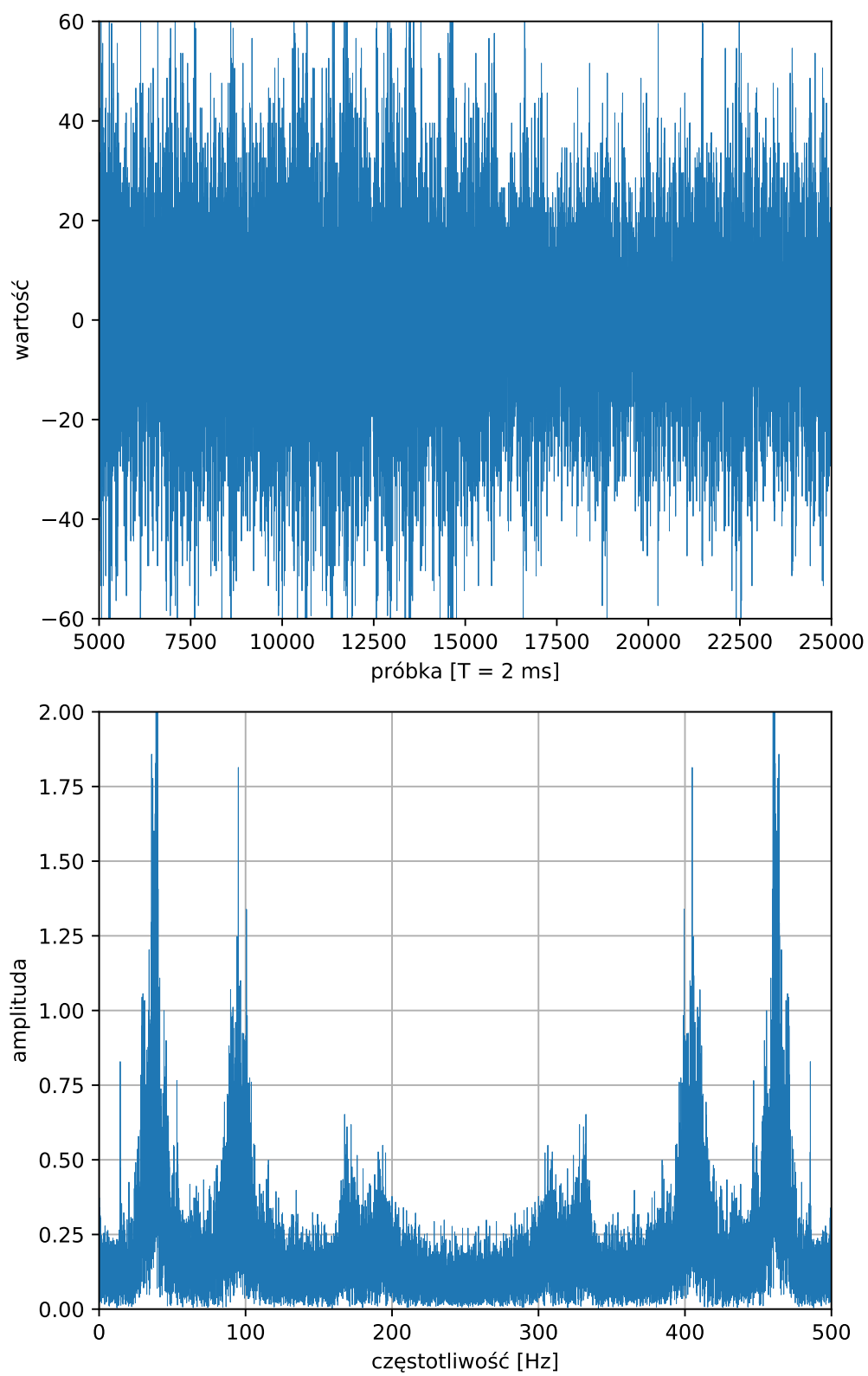
Rysunek 18: Sygnał oraz widmo współrzędnej Z przy przepływie 20 l/min



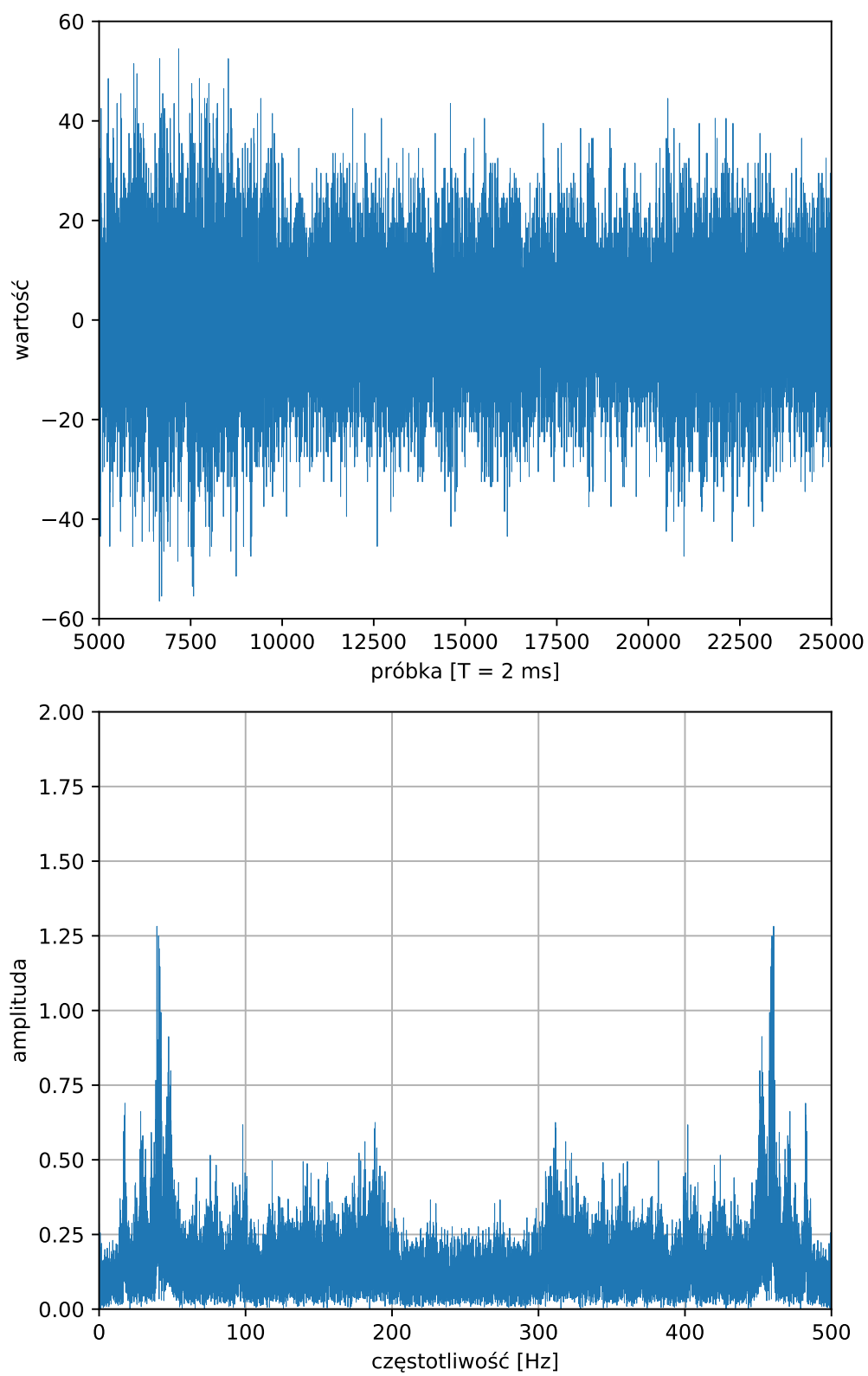
Rysunek 19: Sygnał oraz widmo współrzędnej X przy przepływie 40 l/min



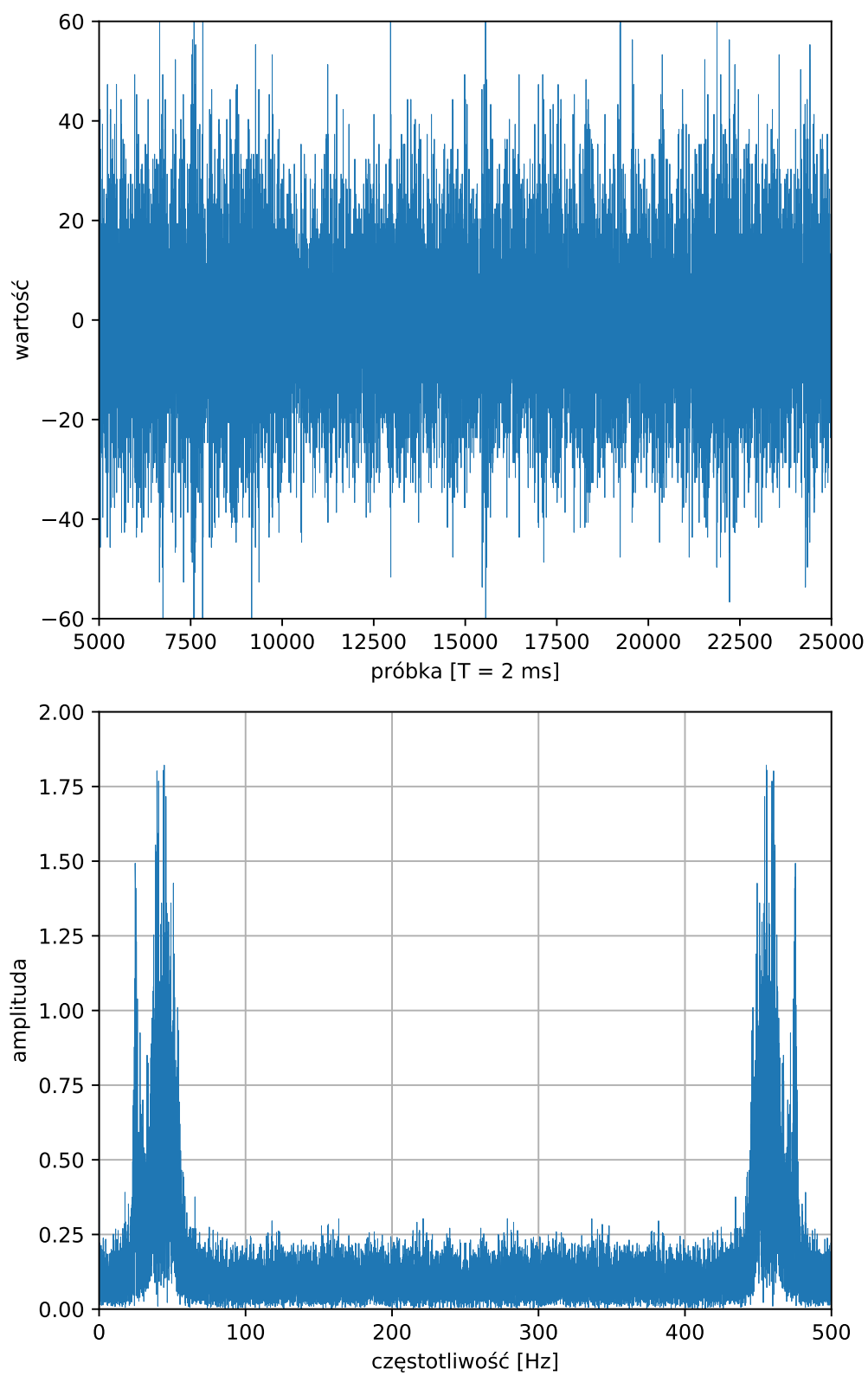
Rysunek 20: Sygnał oraz widmo współrzędnej Y przy przepływie 40 l/min



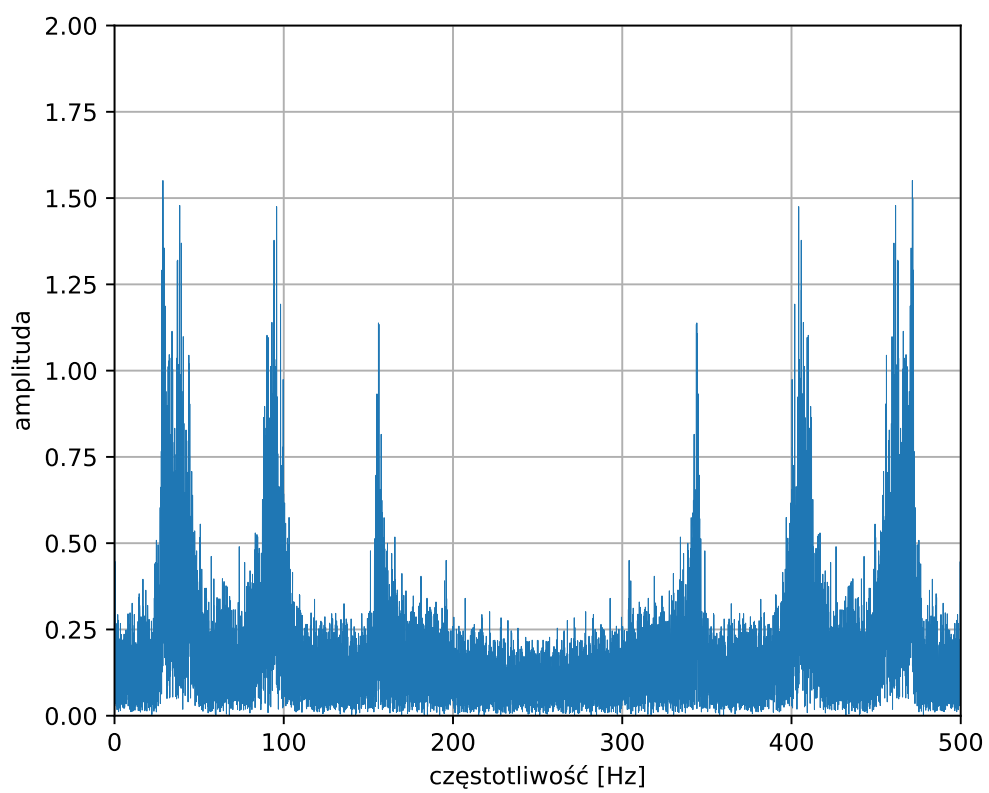
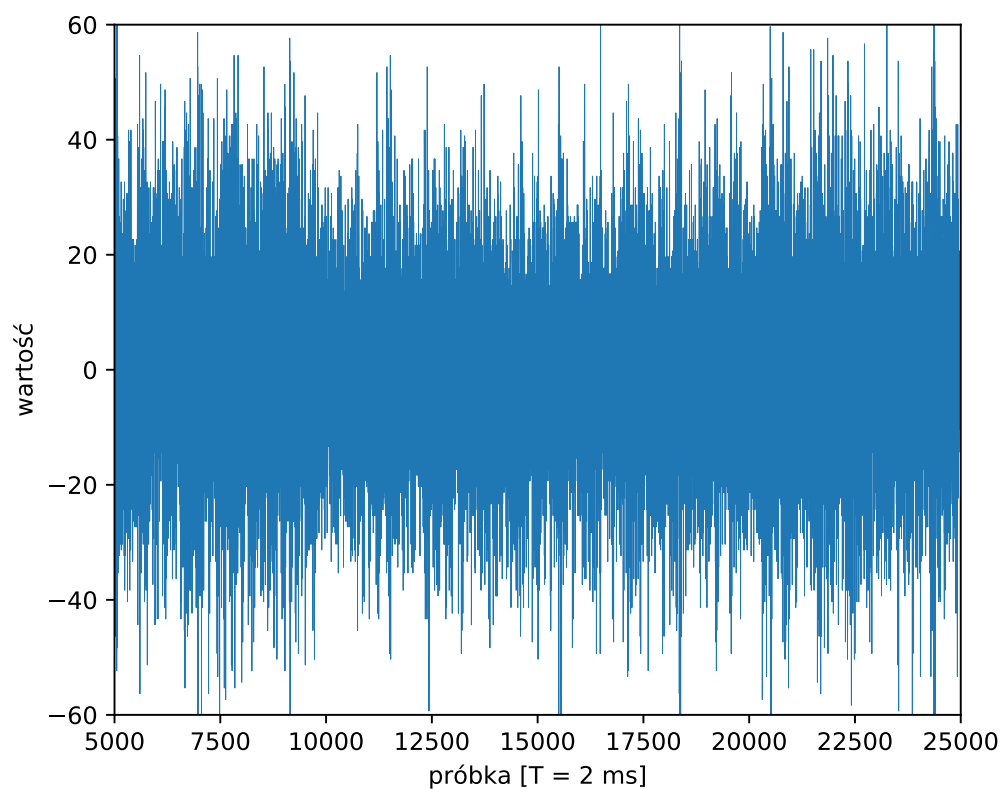
Rysunek 21: Sygnał oraz widmo współrzędnej Z przy przepływie 40 l/min



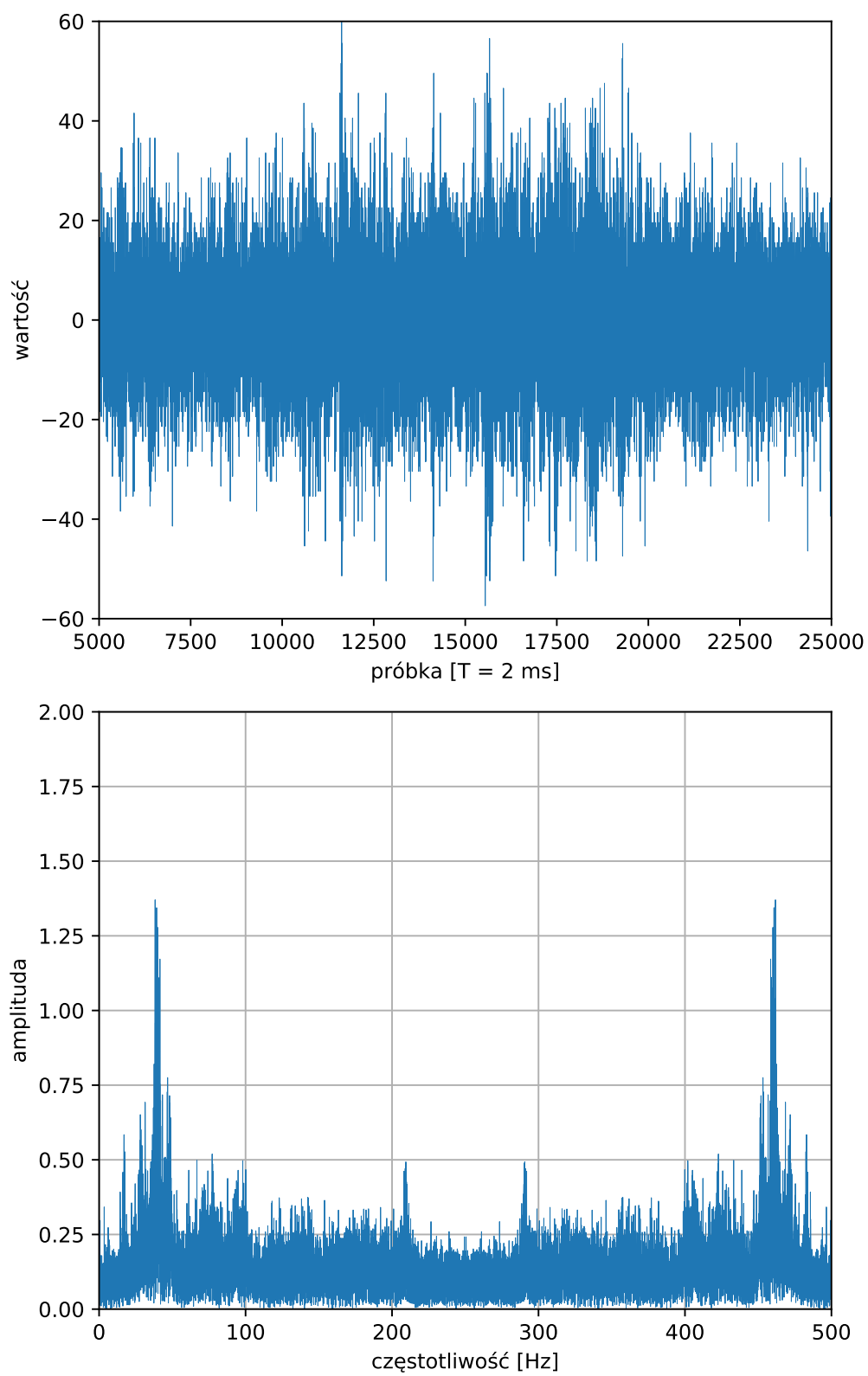
Rysunek 22: Sygnał oraz widmo współrzędnej X przy przepływie 60 l/min



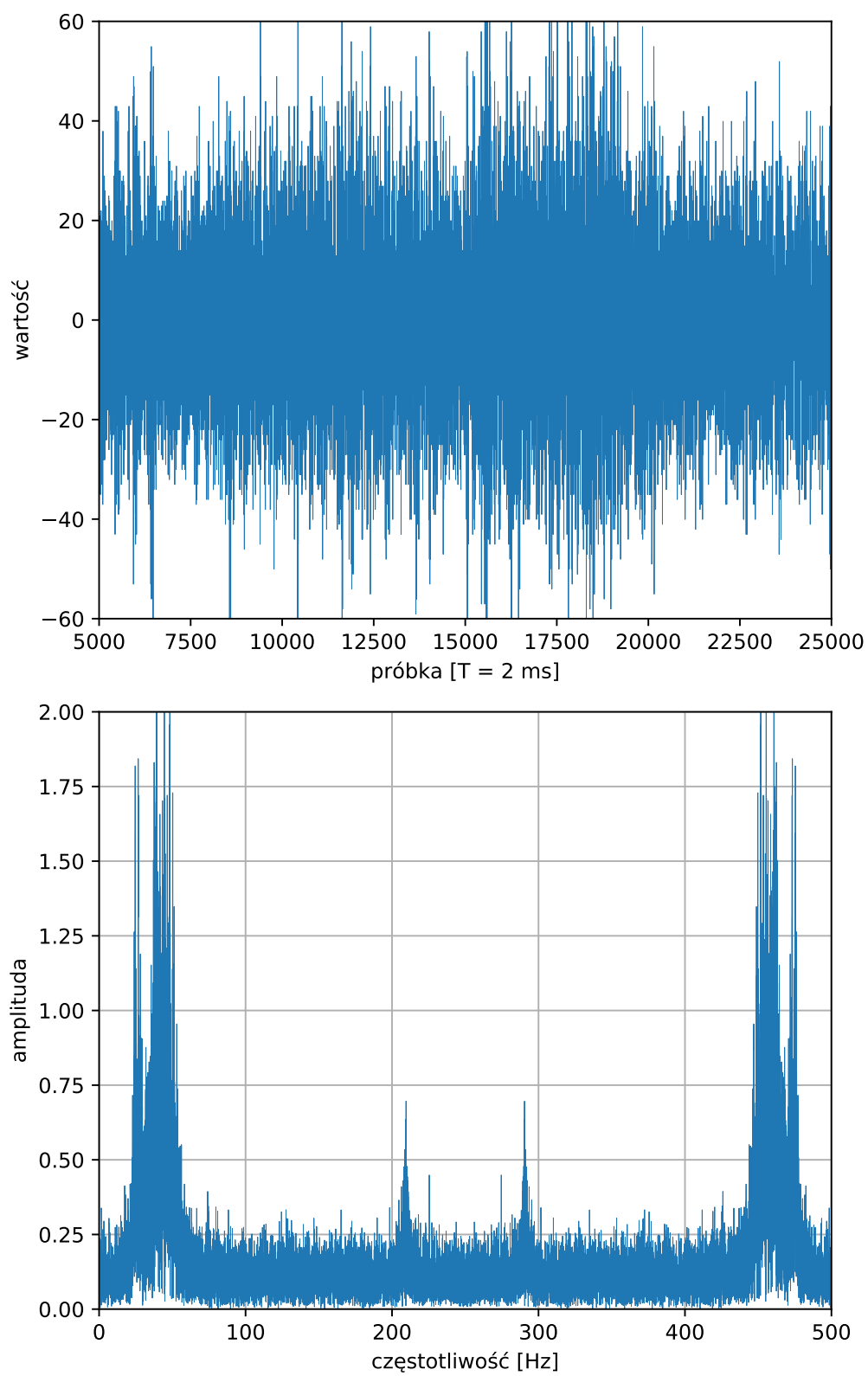
Rysunek 23: Sygnał oraz widmo współrzędnej Y przy przepływie 60 l/min



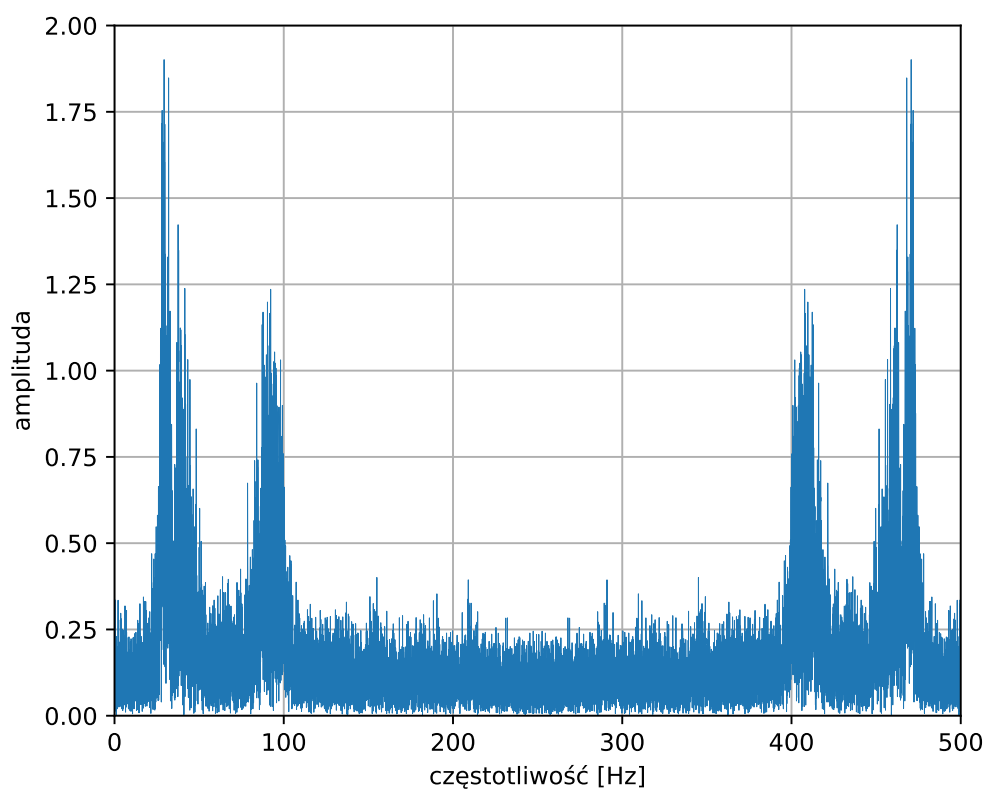
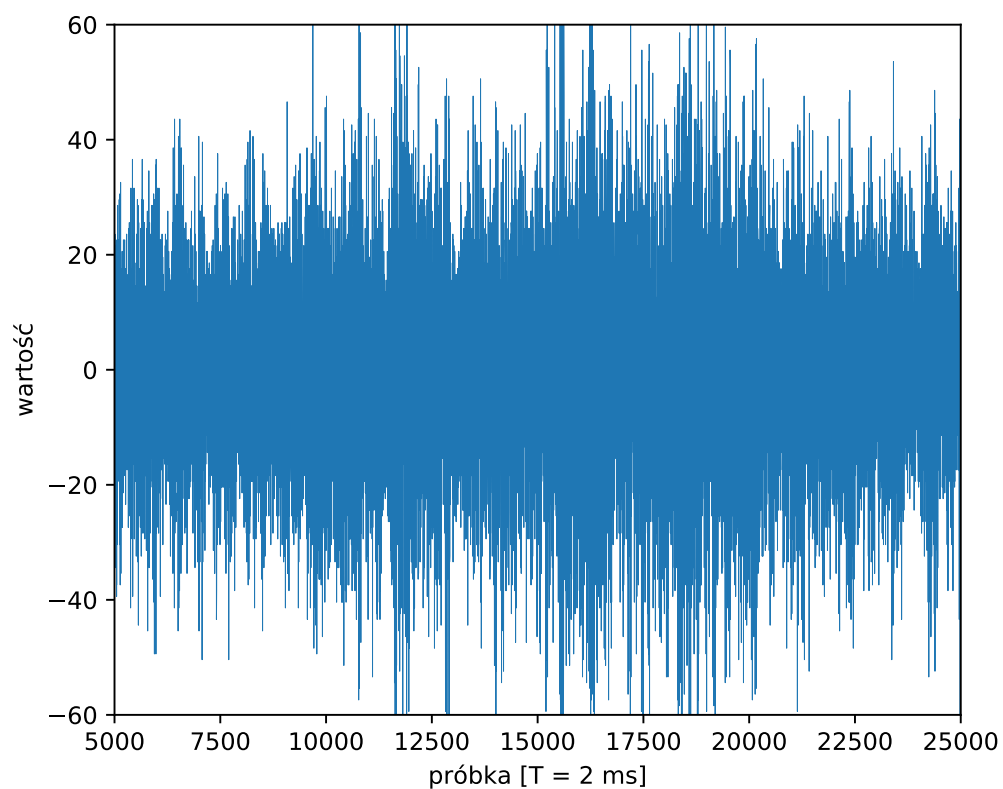
Rysunek 24: Sygnał oraz widmo współrzędnej Z przy przepływie 60 l/min



Rysunek 25: Sygnał oraz widmo współrzędnej X przy przepływie 80 l/min



Rysunek 26: Sygnał oraz widmo współrzędnej Y przy przepływie 80 l/min



Rysunek 27: Sygnał oraz widmo współrzędnej Z przy przepływie 80 l/min