

Raport 10.05.2018

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

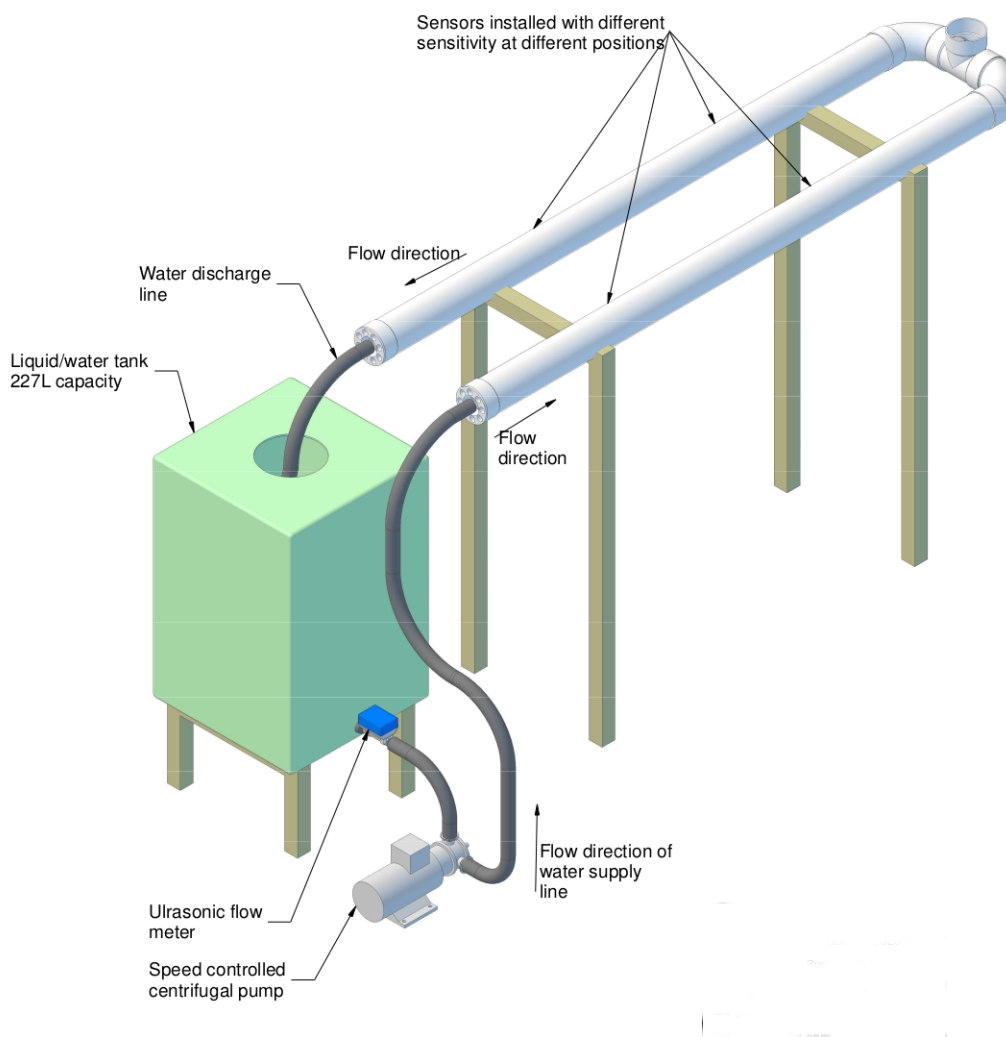
Towarzystwo Konsultantów Polskich
Oddział Gdańsk

Gdańsk, dnia 10 maja 2018 r.

1 Wprowadzenie

Niniejszy raport przedstawia wyniki badań dla zastosowanej instalacji laboratoryjnej służącej wykrywaniu ilości przepływu cieczy na podstawie mierzonych drgań rury. Na Rys. 1 zaprezentowano zastosowaną instalację wykrywania przepływu cieczy. Omawiane stanowisko laboratoryjne składa się z:

- rury PCV,
- zbiornika wody o pojemności 227 litrów,
- przepływomierza ultradźwiękowego,
- pompy odśrodkowej sterowanej prędkością,
- linii zaopatrzenia i odprowadzania wody,
- czujników o różnej czułości zainstalowanych dla różnych położeń na rurze (akcelerometr).



Rysunek 1: Schemat instalacji laboratoryjnej

2 Rezultaty testów i analiza uzyskanych pomiarów w instalacji laboratoryjnej

Dla opracowanego powyższego stanowiska laboratoryjnego przeprowadzono szereg testów, w których pomierzono wskazania akcelerometru (niezależnie w trzech współrzędnych: X, Y oraz Z) dla kolejnych poziomów przepływu poczynając od minimalnej w tej instalacji wartości przepływu 13 litrów na minutę do wartości 41 litrów na minutę. Pomiarów dokonano w równych odstępach czasu co 500 ms.

Pierwszym krokiem umożliwiającym zbudowanie modelu było wyznaczenie widma FFT dla wszystkich zebranych danych. Przykładowe wyniki dla przepływu 13 litrów/minutę, 27 litrów na minutę oraz 41 litrów na minutę, niezależnie dla wszystkich trzech współrzędnych X, Y oraz Z przedstawiono na Rys. 2–10, gdzie górny wykres przedstawia dane zebrane bezpośrednio z akcelerometru, w odniesieniu do wartości średniej, dla odpowiedniego przepływu oraz odpowiedniej współrzędnej, natomiast dolny wykres przedstawia widmo częstotliwościowe tych danych.

Analiza energii w sygnale na Rys. 2–10, prowadzi do hipotezy badawczej, że energia w sygnale jest zależna od przepływu.

Dla przykładu, dla współrzędnej X, przy przepływie 13 l/min (Rys. 2) amplituda widma jest średnio na poziomie około 0.5, dla 27 l/min (Rys. 5) osiąga średnią około 1.0, podczas gdy dla przepływu 41 l/min (Rys. 8) wartość średnia jest na poziomie około 2.0. Po dostrzeżeniu tej zależności wykreślono, dla każdej współrzędnej niezależnie, sumaryczną energię sygnału w zależności od przepływu. Dodatkowo, dla każdej z tych zależności dopasowano przybliżony model liniowy. Wyniki przedstawiono w Tabeli 1 i na Rys. 11.

Tabela 1: Parametry przybliżonych modeli liniowych

Zmienna	Model liniowy	Współczynnik determinacji r^2
Energia X	$y = 63.5x - 587.56$	0.799
Energia Y	$y = 42.1x + 179.76$	0.497
Energia Z	$y = 37.34x - 80.85$	0.562

Z wyników przedstawionych na Rys. 11 i w Tabeli 1 wynika, że model liniowy jest adekwatny zasadzie tylko dla energii we współrzędnej X. Dla Energi Y dane nie mają charakterystyki liniowej, gdyż następuje szybkie narastanie energii w przedziale przepływu 17-23 l/min, a potem wartość energii utrzymuje się w miarę na stałym poziomie. Natomiast dla Energi Z, dane mają charakterystykę liniową, ale dla wartości 25 l/min występuje nietypowo duża wartość - około 1800. Wyniki dla tego przepływu, dla współrzędnej Z przedstawiono na Rys. 12.

Na Rys. 12 widać wyraźnie, że w danych z akcelerometru występuje gruby błąd. Po usunięciu tego błędu, wyniki otrzymane dla współrzędnej Z przedstawiono na Rys. 13.

Liniowy model dopasowany do danych przedstawiony jest w Tabeli 2. Otrzymano zatem

Tabela 2: Parametry poprawionego modelu dla współrzędnej Z

Zmienna	Model liniowy	Współczynnik determinacji r^2
Energia Z	$y = 39.28x - 205.93$	0.864

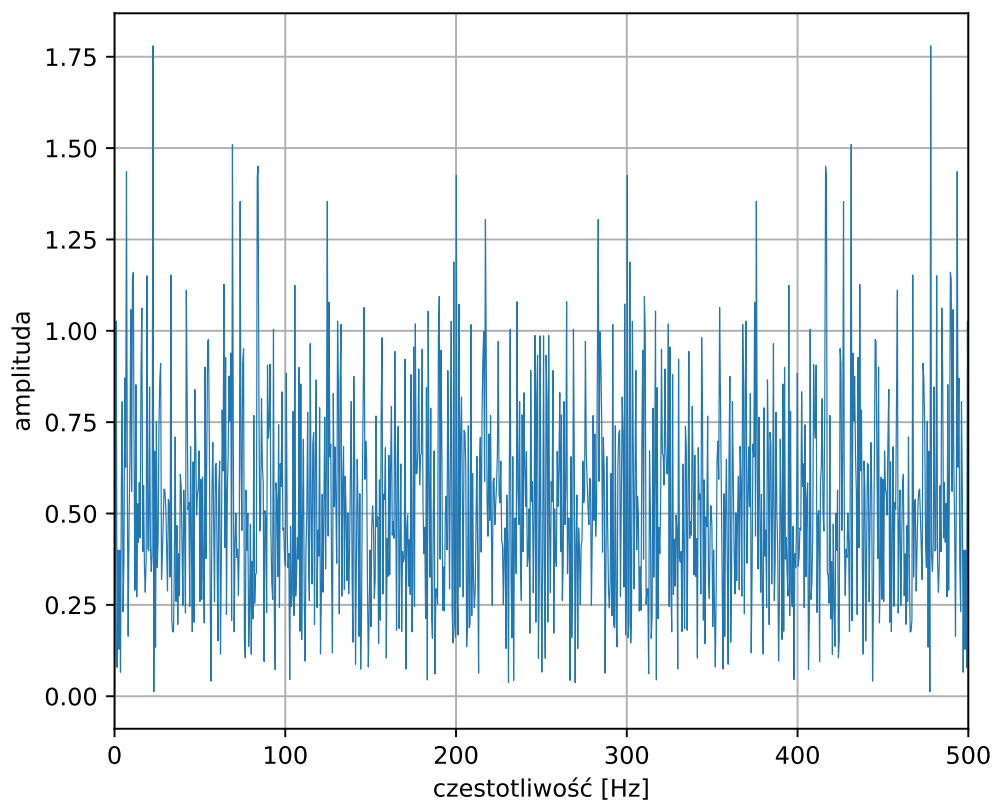
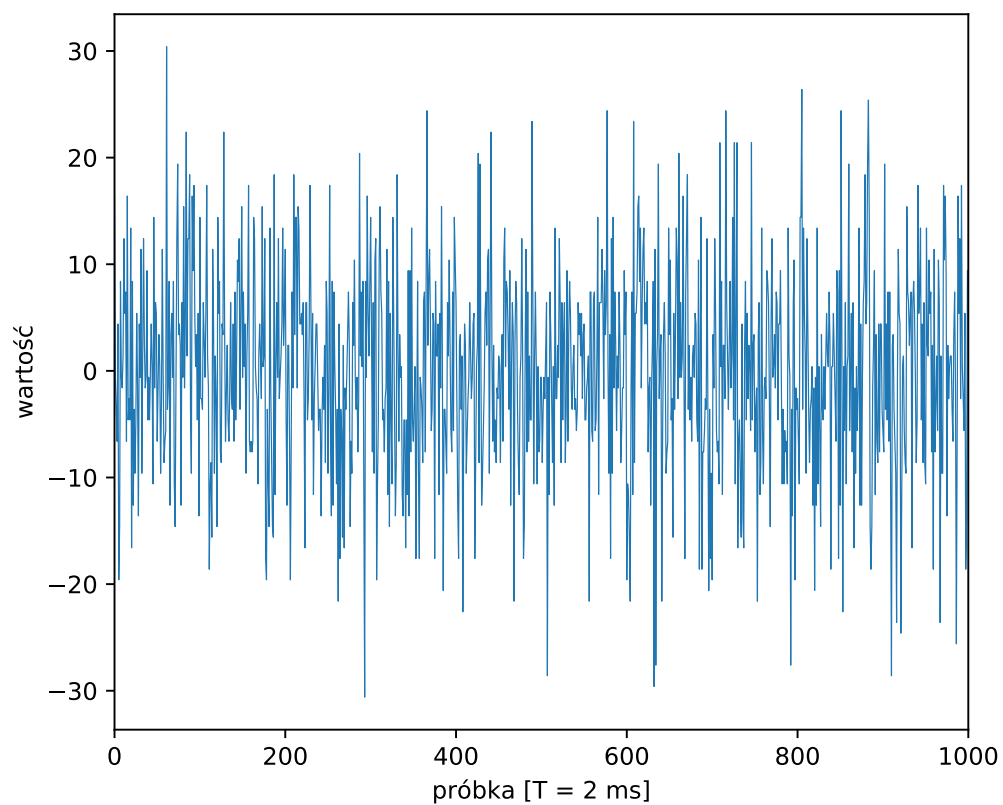
najlepszy model ze wszystkich.

3 Podsumowanie

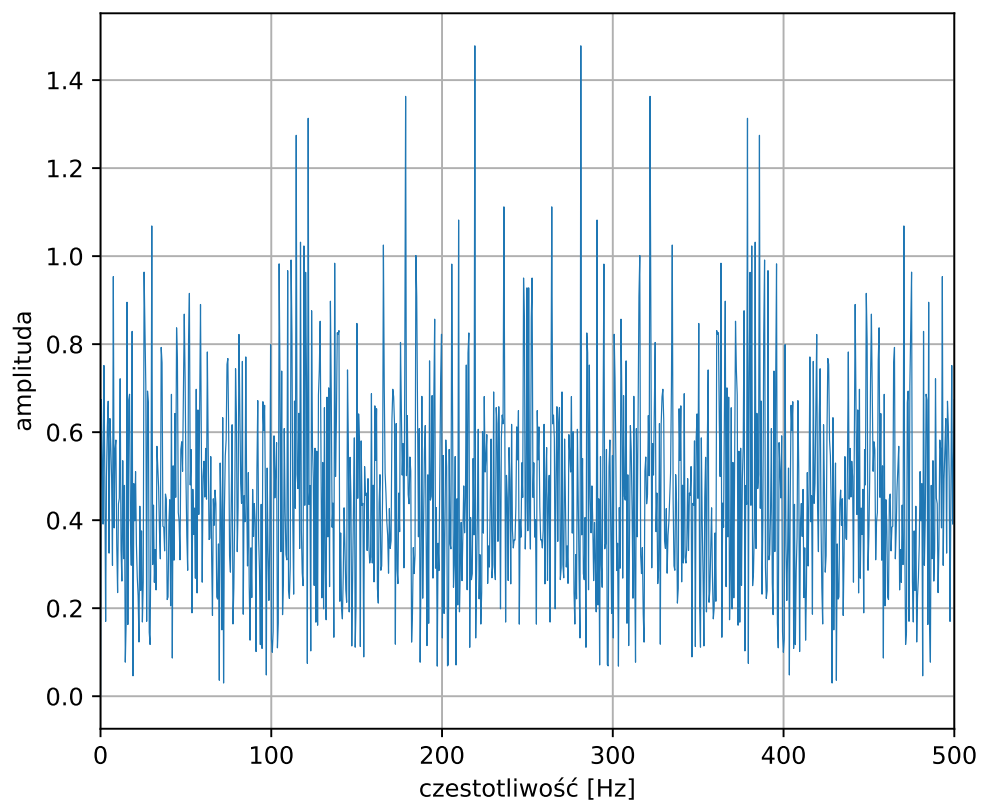
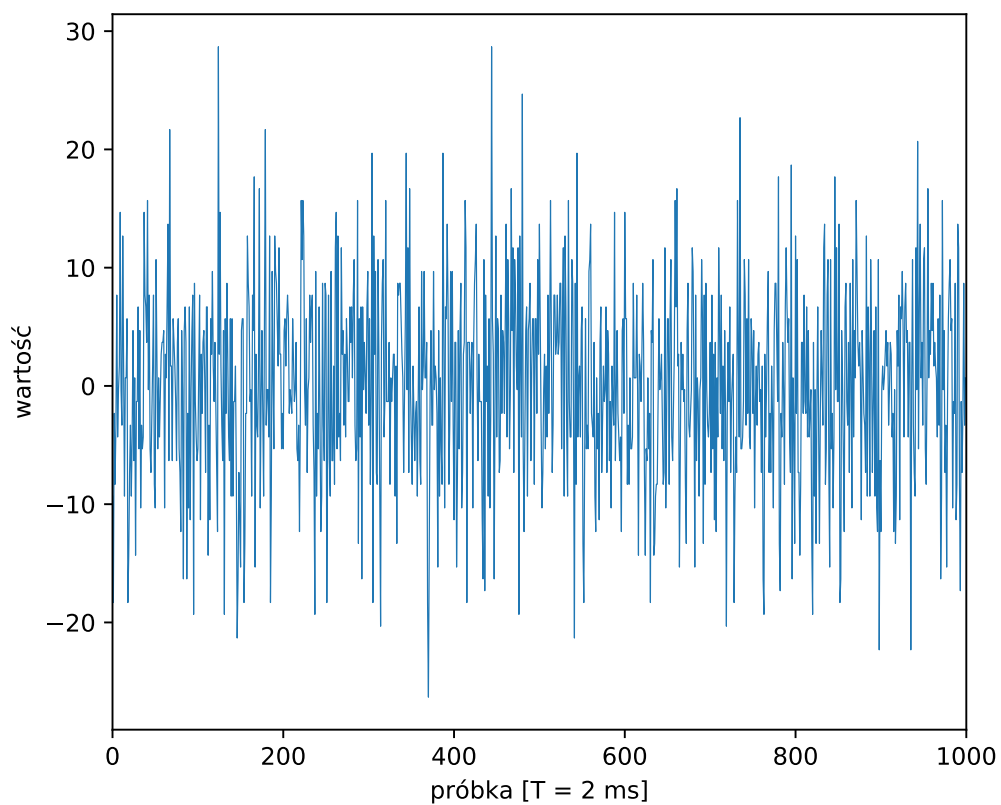
Znaleziono zależność pomiędzy przepływem a energią w sygnale. Najlepszy model liniowy otrzymano dla współrzędnej Z (współczynnik determinacji r^2 równy 0.864). Model dla współrzędnej X jest również dość dobry (współczynnik determinacji r^2 równy 0.799). Niestety model dla współrzędnej Y jest słaby i powinien zostać odrzucony. Opisana w niniejszym opracowaniu metoda pozwala w łatwy sposób, korzystając z opracowanych modeli, ocenić przepływ na podstawie energii sygnału, odwracając relacje przedstawione poniżej. Zatem dysponując np. pomiarami dla współrzędnej Z, wyznaczamy widmo częstotliwościowe oraz sumaryczną energię tego widma, a następnie korzystamy z relacji (na podstawie równania $y = 39.28x - 205.93$)

$$\text{PRZEPŁYW} = (\text{ENERGIA_Z} + 205.93) / 39.28$$

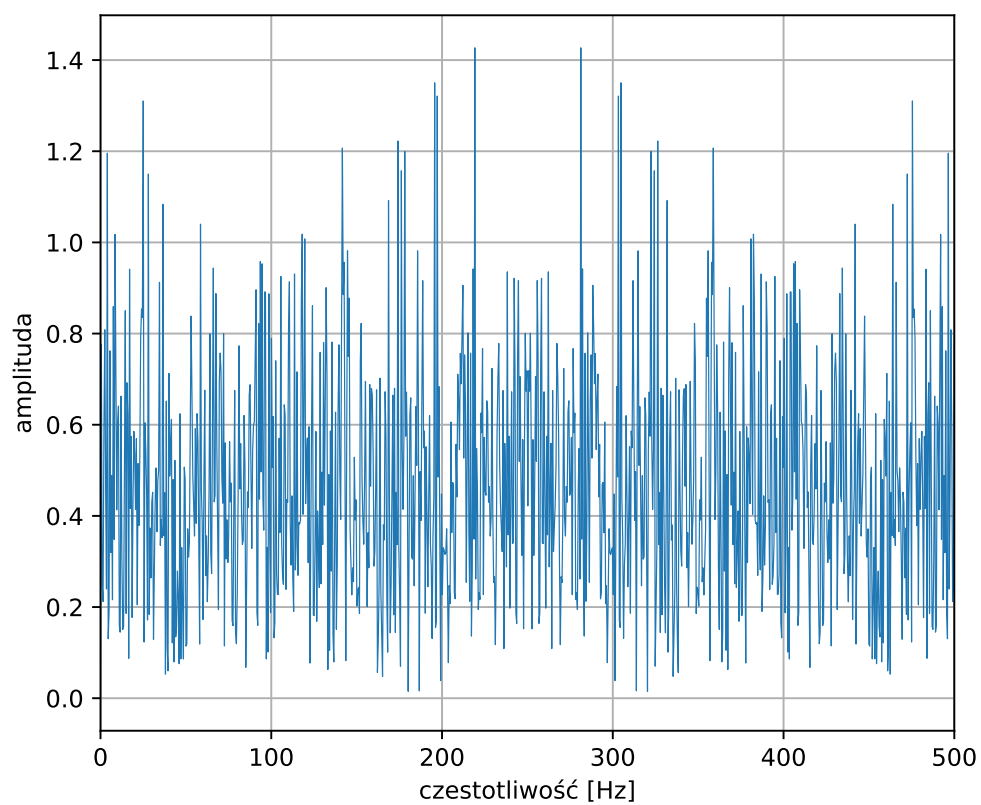
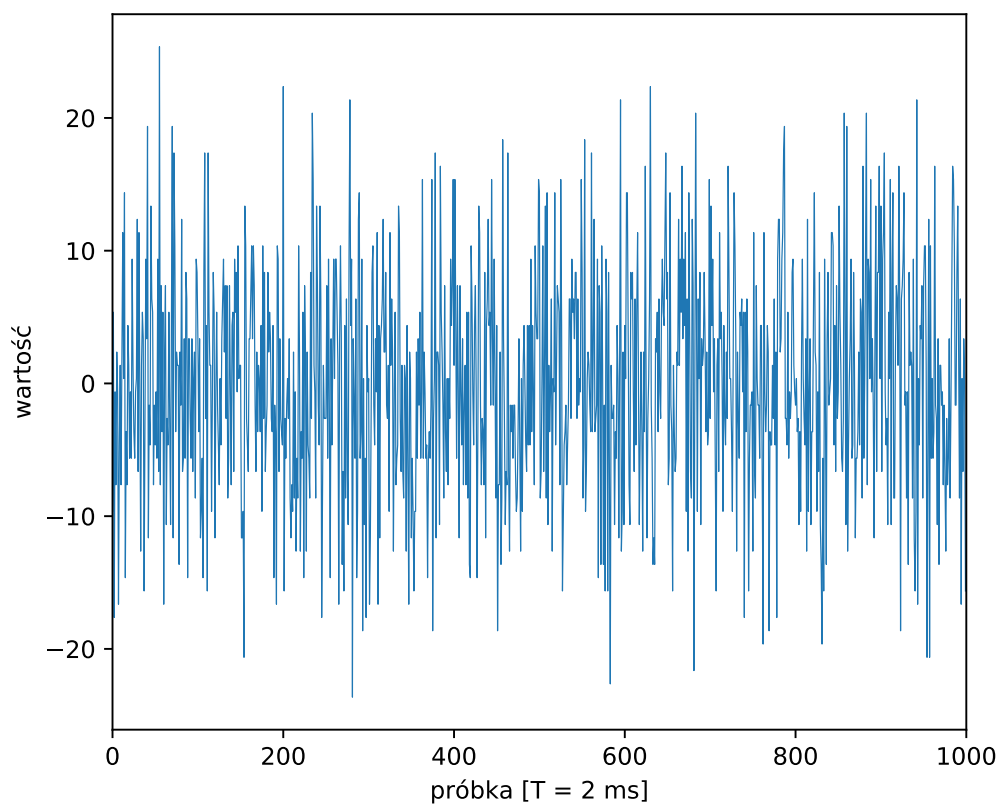
Wobec powyższych liniowych zależności oraz analizy laboratoryjnej układu eksperymentu, powstaje wątpliwość, czy zrealizowany pomiar nie obejmuje w dominującym stopniu szkodliwych (ubocznych) sygnałów akustycznych generowanych przez pompę, która być może znajduje się w zbyt bliskim otoczeniu akcelerometru. Jeżeli taka teza jest wiarygodna, to wyznaczone powyżej modele są nieużyteczne na potrzeby wyznaczania szybkości przepływu, zaś instalacja laboratoryjna powinna zostać tak zmodyfikowana, aby wyeliminować oboczny wpływ pompy na dane uzyskiwane z akcelerometru.



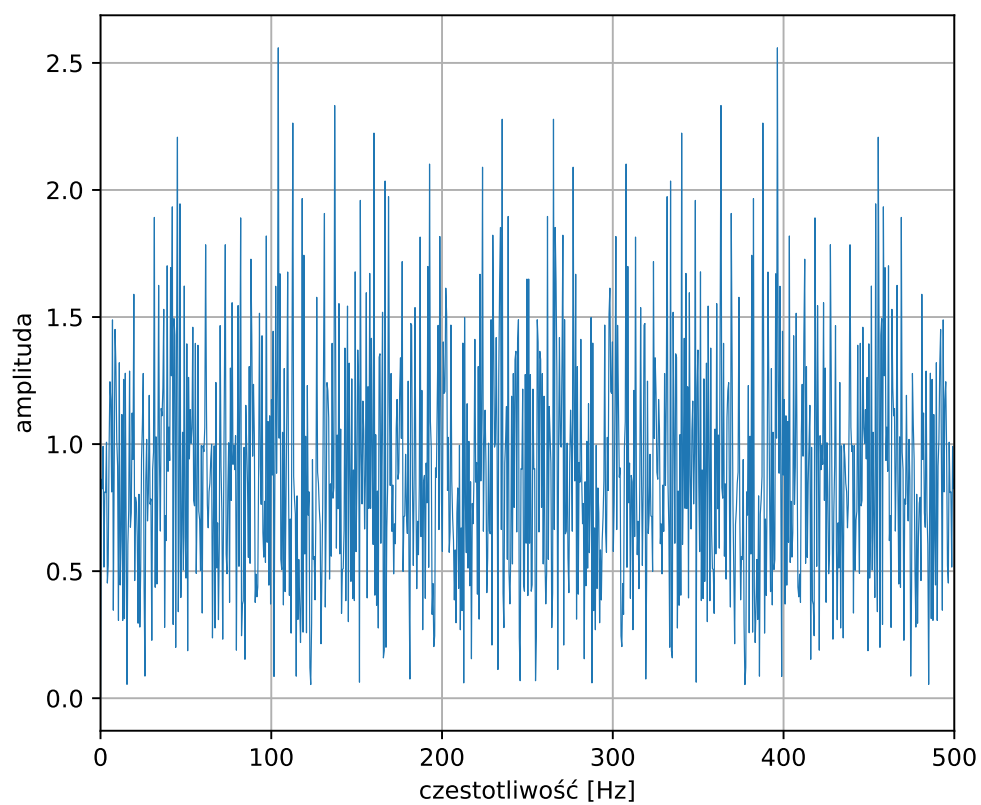
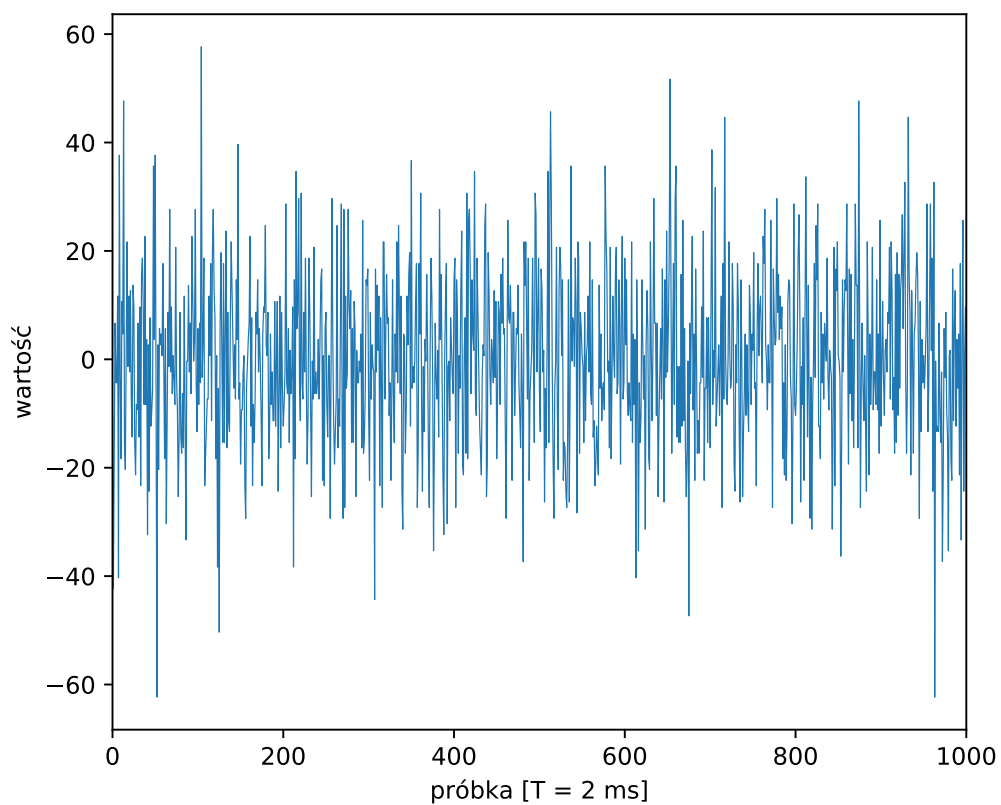
Rysunek 2: Eksperyment 13 l/min — współrzędna X



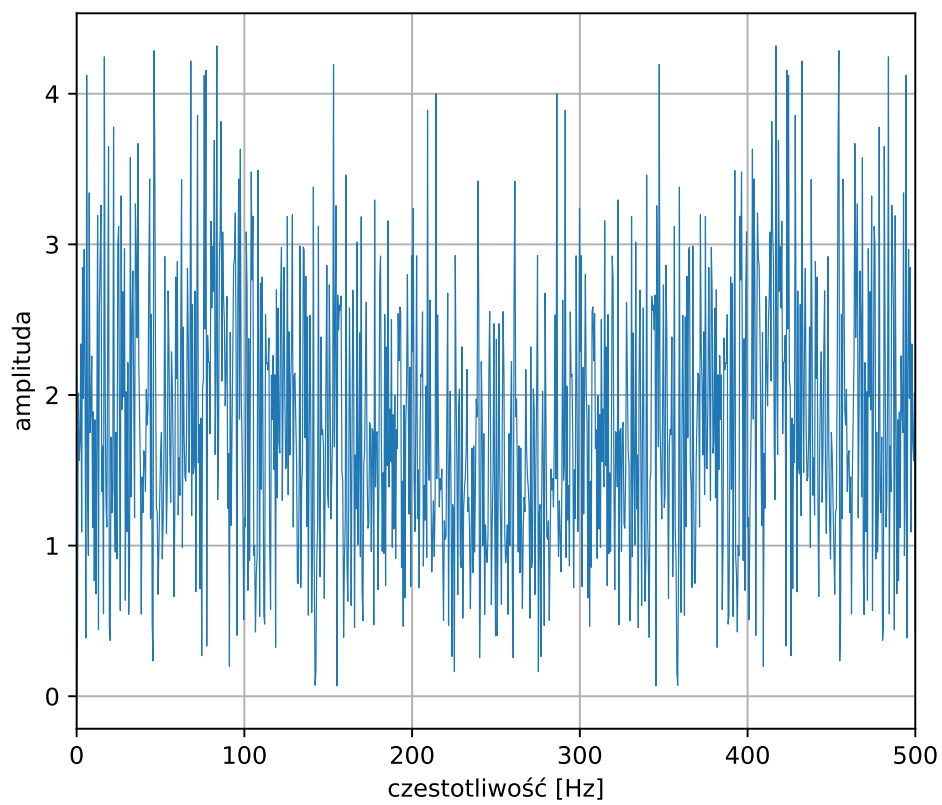
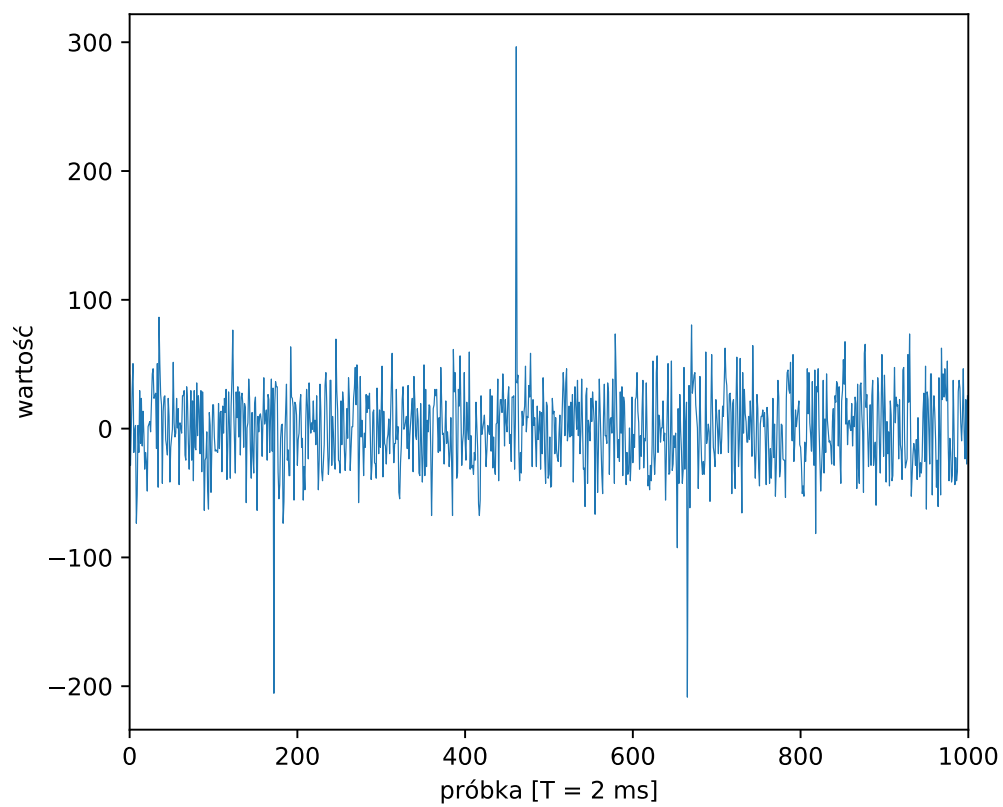
Rysunek 3: Eksperyment 13 l/min — współrzędna Y



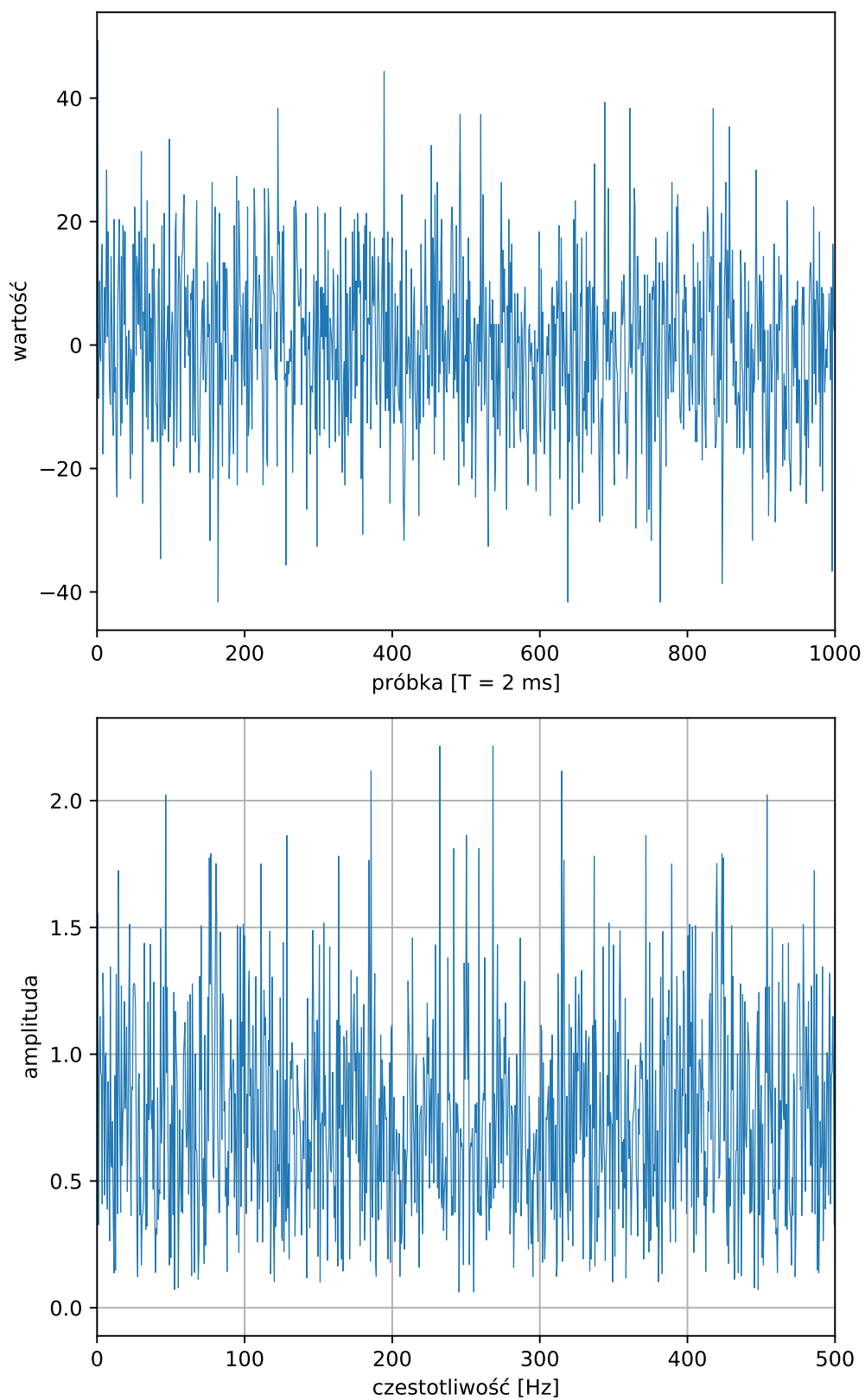
Rysunek 4: Eksperyment 13 l/min — współrzędna Z



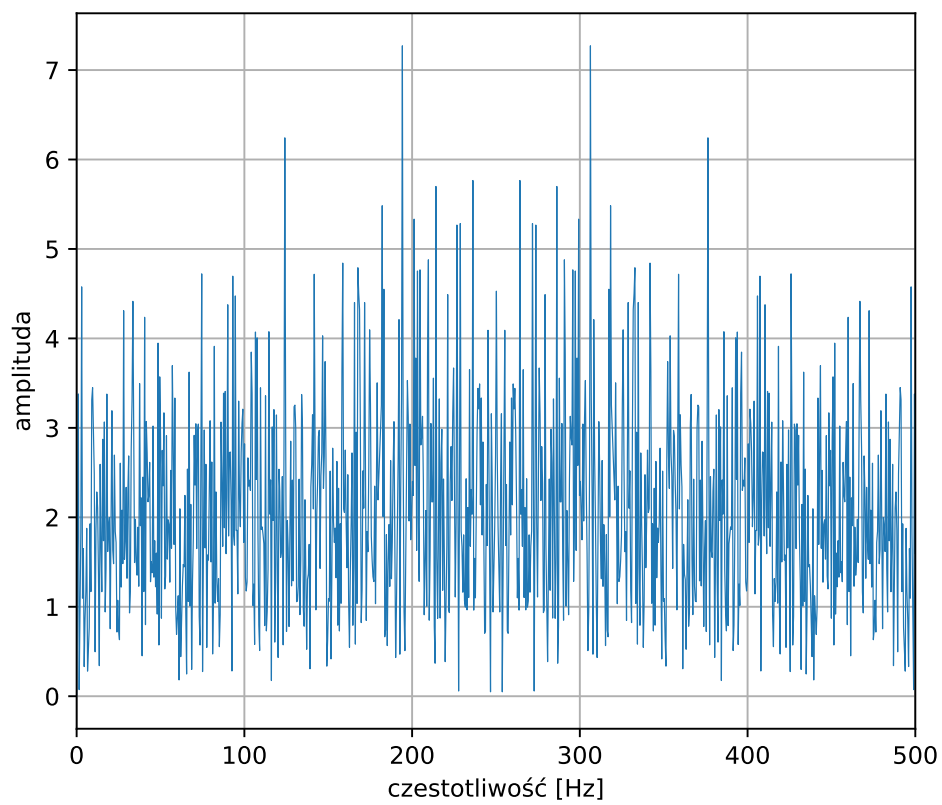
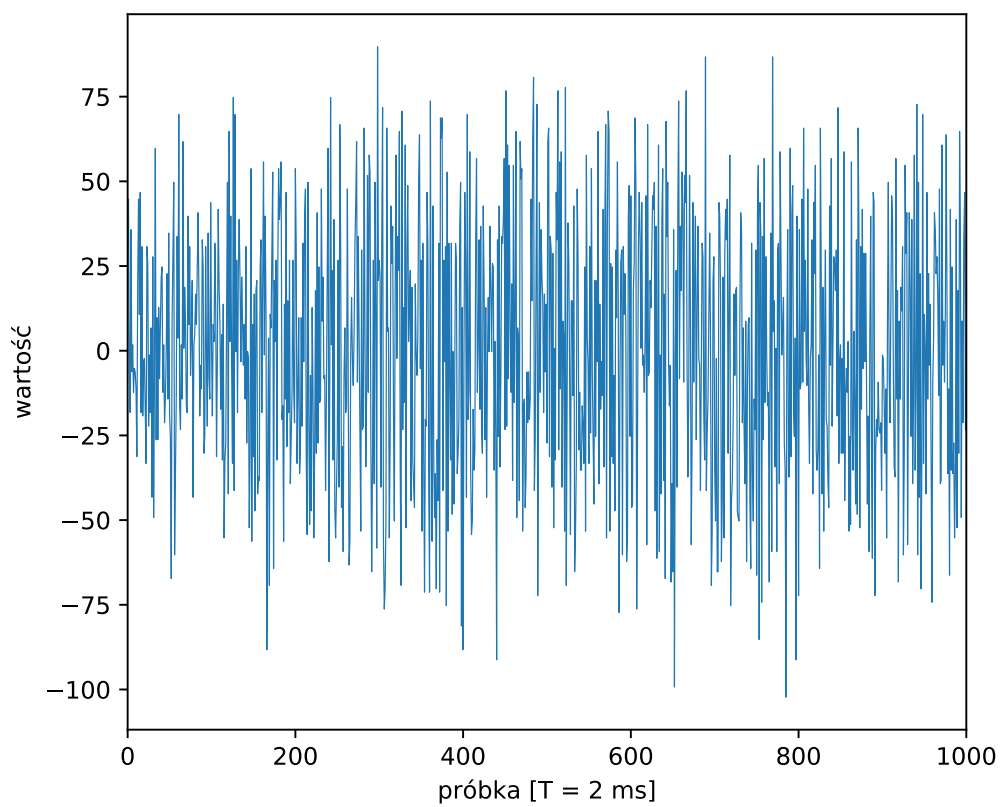
Rysunek 5: Eksperyment 27 l/min — współrzędna X



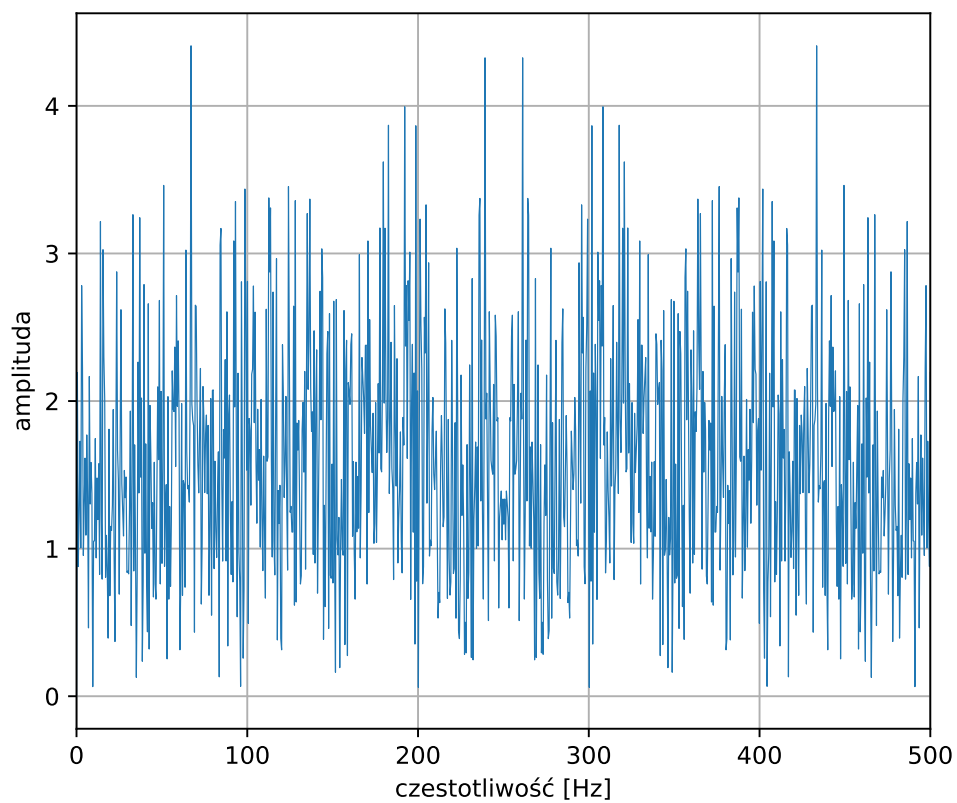
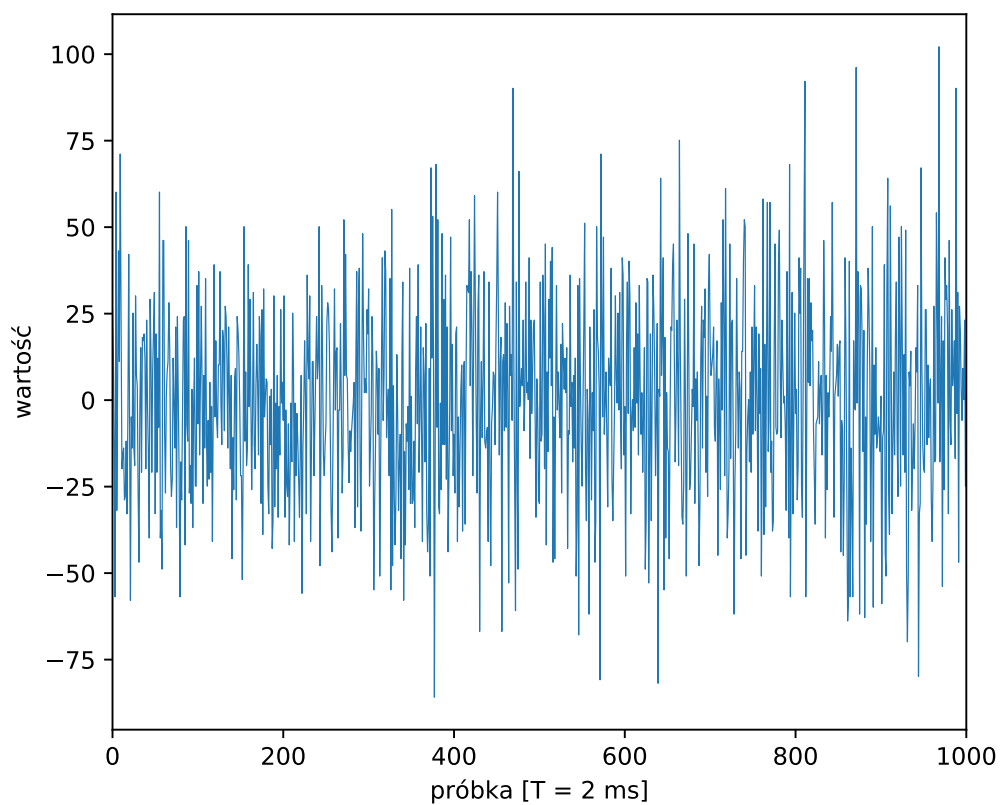
Rysunek 6: Eksperyment 27 l/min — współrzędna Y



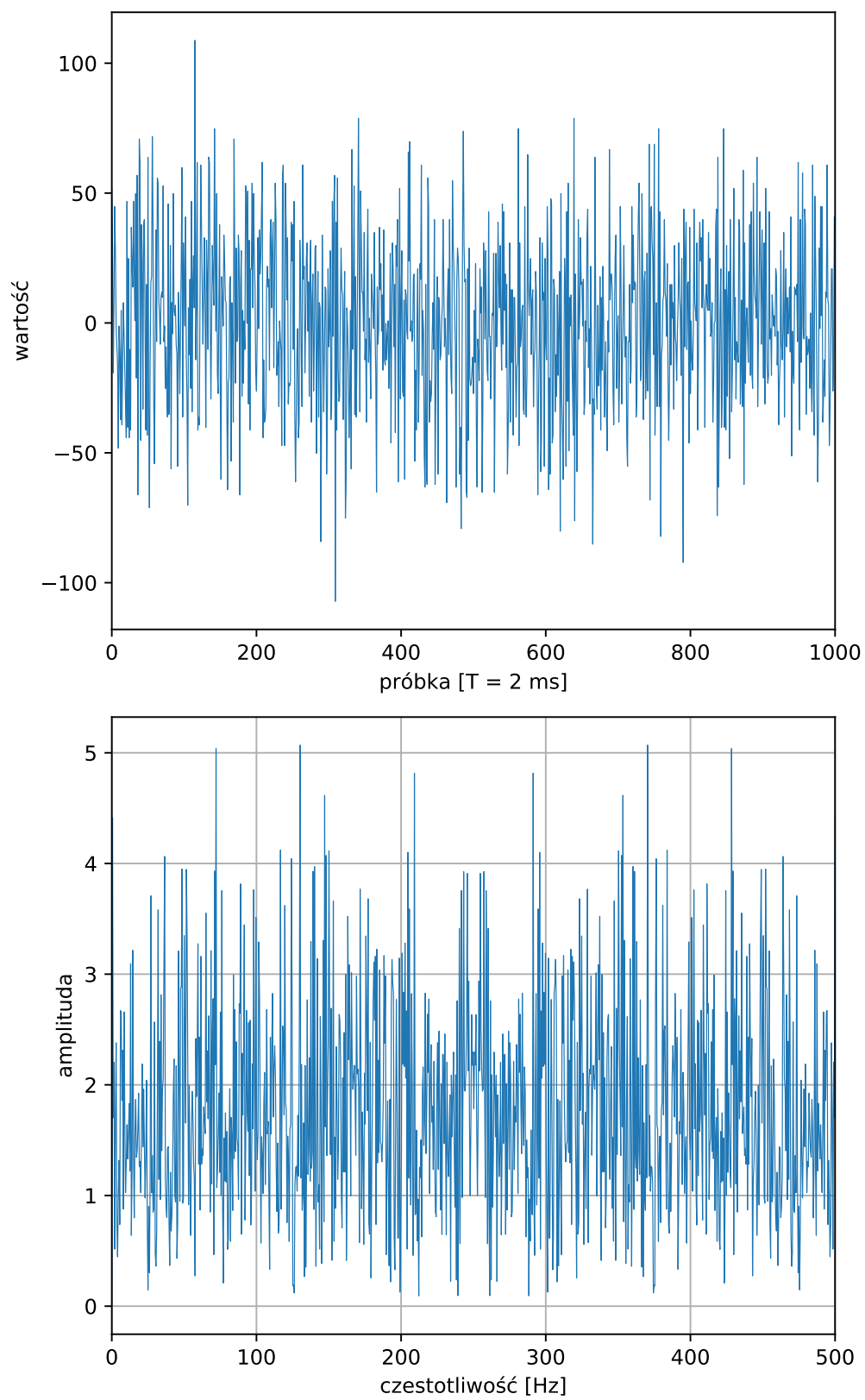
Rysunek 7: Eksperyment 27 l/min — współrzędna Z



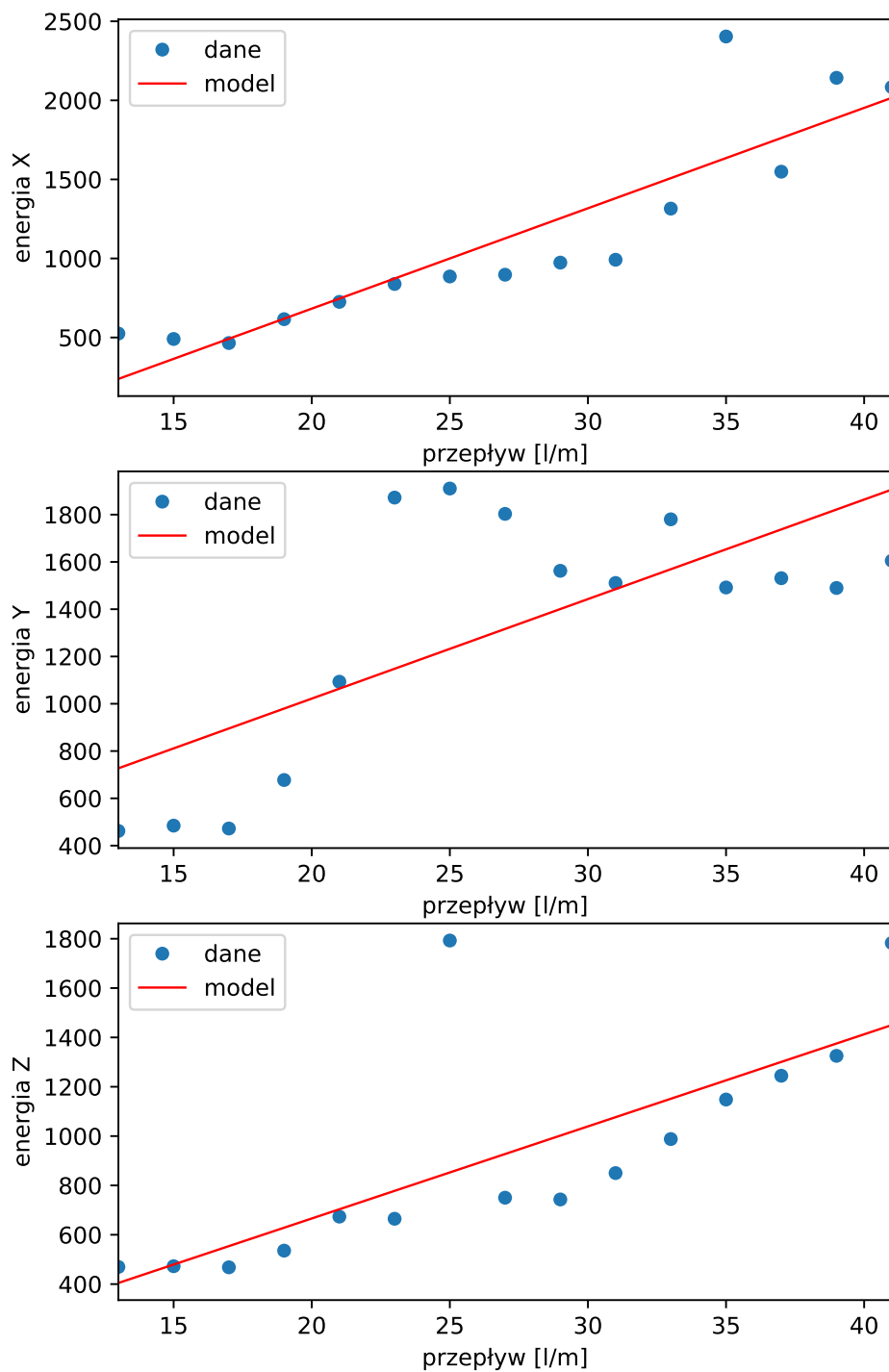
Rysunek 8: Eksperyment 41 l/min — współrzędna X



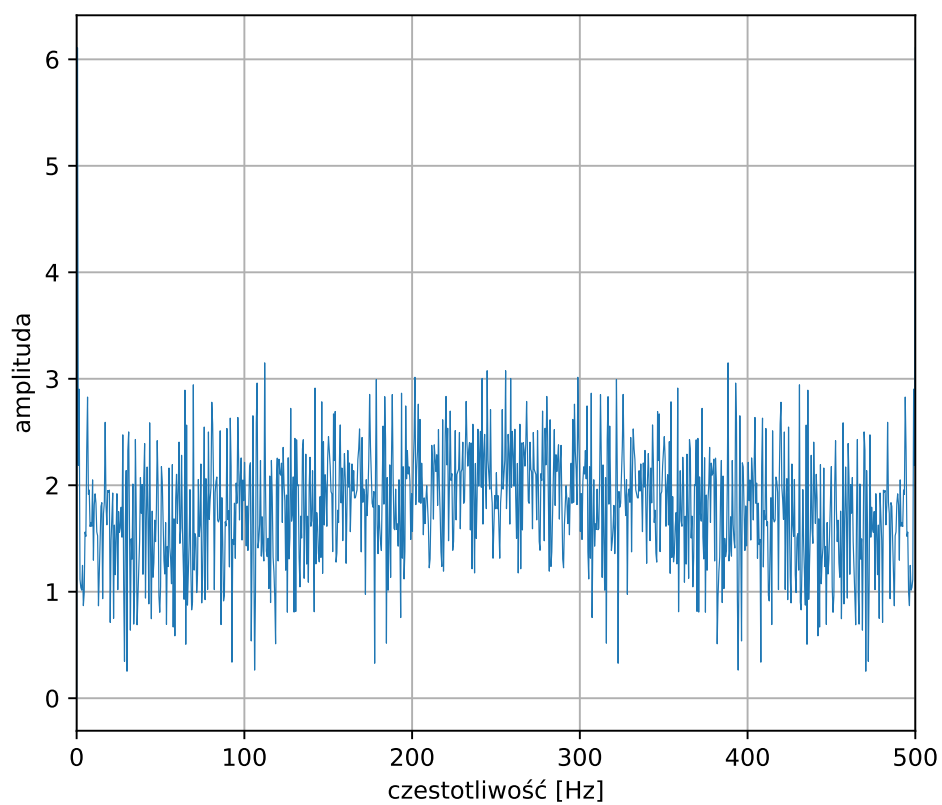
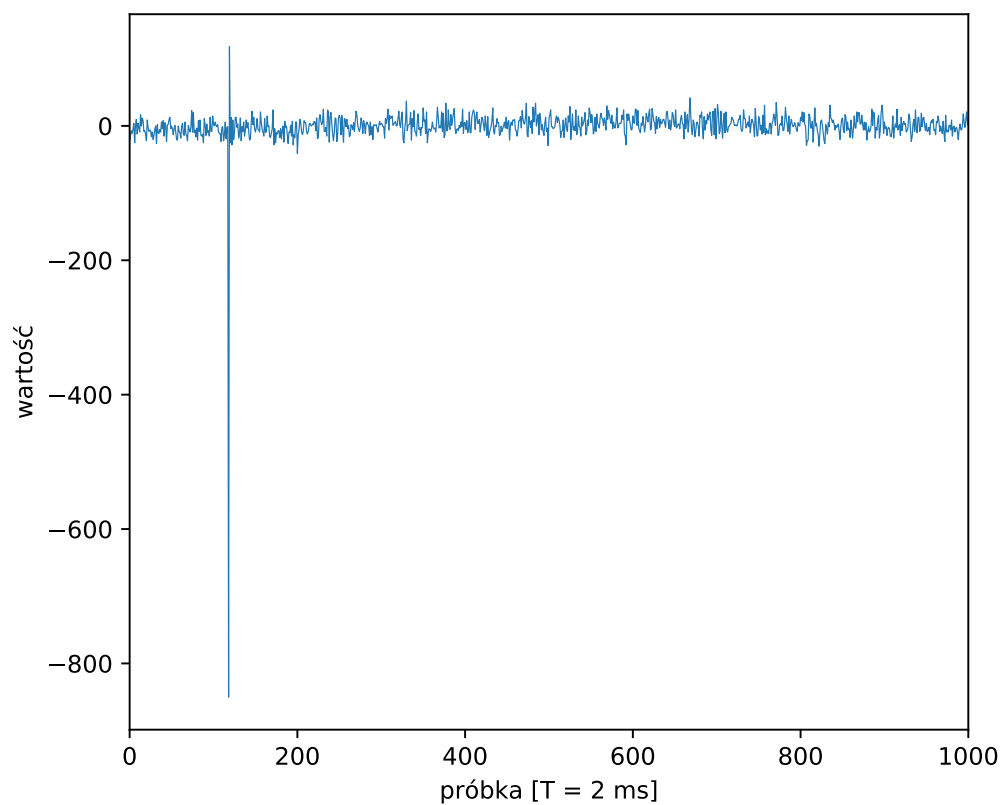
Rysunek 9: Eksperyment 41 l/min — współrzędna Y



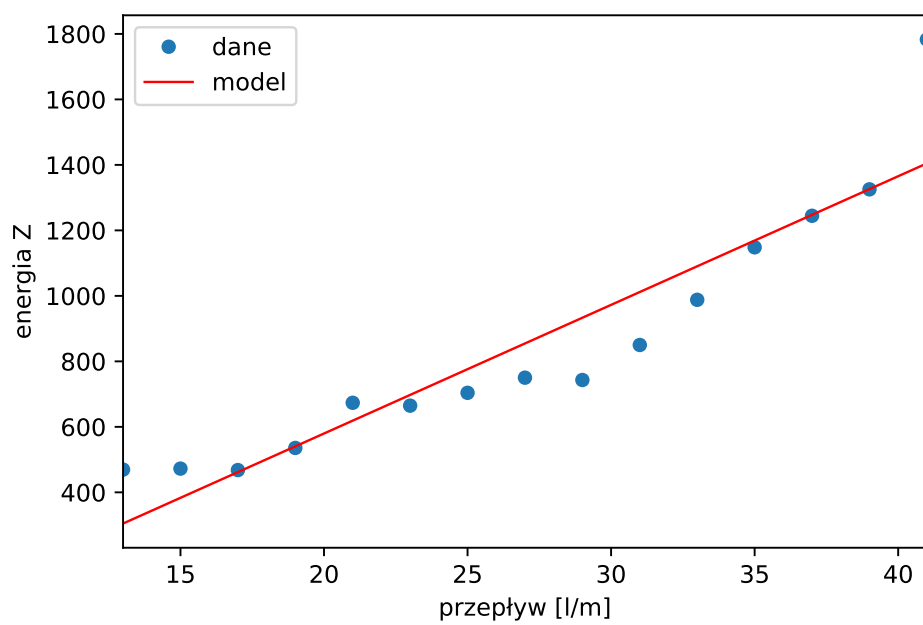
Rysunek 10: Eksperyment 41 l/min — współrzędna Z



Rysunek 11: Zależność energii w sygnale od przepływu oraz przybliżone modele liniowe



Rysunek 12: Eksperyment 25 l/min — współrzędna Z



Rysunek 13: Poprawiony model liniowy dla współrzędnej Z