

# **Analiza danych rzeczywistych natężenia prądu plazmy przy pomocy modelu ARMA**

Dominika Lewandowska, Nikodem Drelak

30 stycznia 2026

## **Spis treści**

<b>1 Wstęp</b>	<b>2</b>
1.1 Cel pracy . . . . .	2
1.2 Opis i źródło danych . . . . .	2
1.3 Charakterystyka próby i wizualizacja . . . . .	2
<b>2 Przygotowanie danych do analizy</b>	<b>4</b>
2.1 Analiza jakości danych . . . . .	4
2.1.1 Analiza autokorelacji surowych danych . . . . .	4
2.2 Dekompozycja szeregu czasowego . . . . .	4
2.2.1 Różnicowanie danych . . . . .	4
2.2.2 Ocena autokorelacji danych po dekompozycji . . . . .	6
<b>3 Modelowanie przy pomocy ARMA</b>	<b>6</b>
3.1 Dobranie rzędu modelu i parametrów . . . . .	6
3.2 Ocena dopasowania modelu . . . . .	6
3.2.1 Autokorelacja reszt . . . . .	6
3.2.2 Analiza trajektorii ARMA w porównaniu do badanego szeregu . . . . .	6
<b>4 Weryfikacja założeń dotyczących szumu</b>	<b>6</b>
4.1 Założenie dotyczące średniej . . . . .	6
4.2 Założenie dotyczące wariancji . . . . .	6
4.3 Założenie dotyczące niezależności . . . . .	12
4.4 Założenie dotyczące normalności rozkładu . . . . .	12
<b>5 Wnioski</b>	<b>12</b>
<b>6 Podsumowanie</b>	<b>12</b>

# 1 Wstęp

## 1.1 Cel pracy

Celem niniejszej pracy jest analiza statystyczna oraz modelowanie dynamiki szeregu czasowego pochodzącego z rzeczywistego eksperymentu fizycznego. Przedmiotem badań jest natężenie prądu plazmy (ang. *Plasma Current*) zarejestrowane w urządzeniu typu tokamak.

Głównym zadaniem jest weryfikacja hipotezy o możliwości opisu fluktuacji prądu w fazie stabilnej (tzw. *flat-top*) za pomocą liniowego modelu stochastycznego klasy ARMA. Analiza obejmuje zbadanie stacjonarności procesu, identyfikację rzędu modelu, estymację parametrów oraz weryfikację założeń dotyczących reszt.

## 1.2 Opis i źródło danych

Dane wykorzystane w projekcie pochodzą z reaktora fuzyjnego MAST (Mega Ampere Spherical Tokamak), znajdującego się w Culham Centre for Fusion Energy w Wielkiej Brytanii. Zostały pobrane za pośrednictwem otwartego interfejsu API udostępnionego w ramach projektu [FAIR-MAST](#).

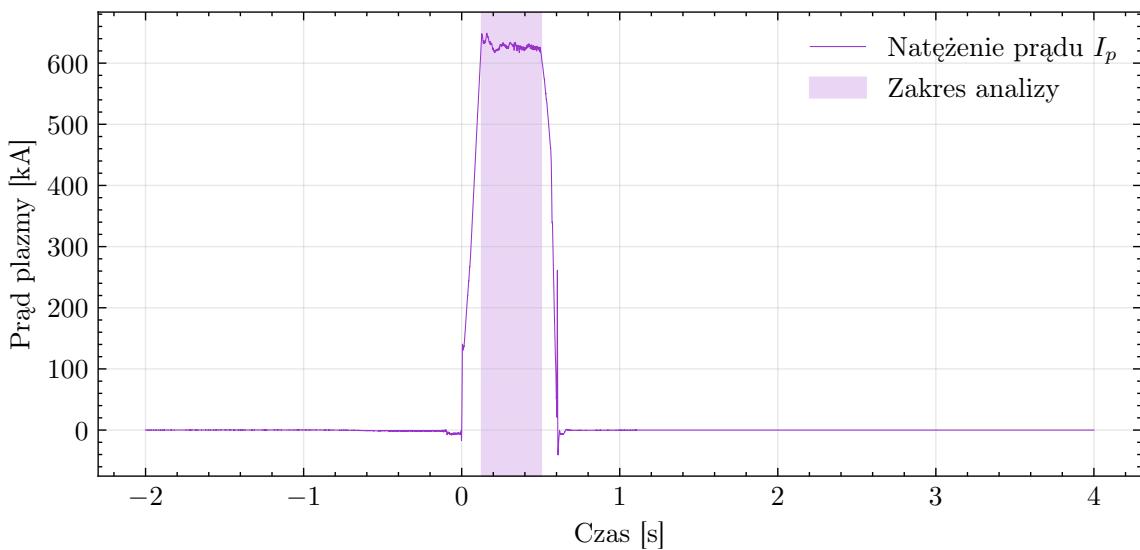
Interpretacja fizyczna zmiennej: Analizowana zmienna to natężenie prądu plazmy ( $I_p$ ), wyrażone w kiloamperach (kA). W uproszczeniu, parametr ten jest kluczowym wskaźnikiem „życia” eksperymentu:

- Wzrost prądu oznacza formowanie się plazmy.
- Utrzymywanie stałej wartości (plateau) oznacza fazę stabilną, w której przeprowadza się właściwe eksperymenty.
- Nagły spadek wartości do zera może sygnalizować niekontrolowaną utratę stabilności (tzw. disruption).

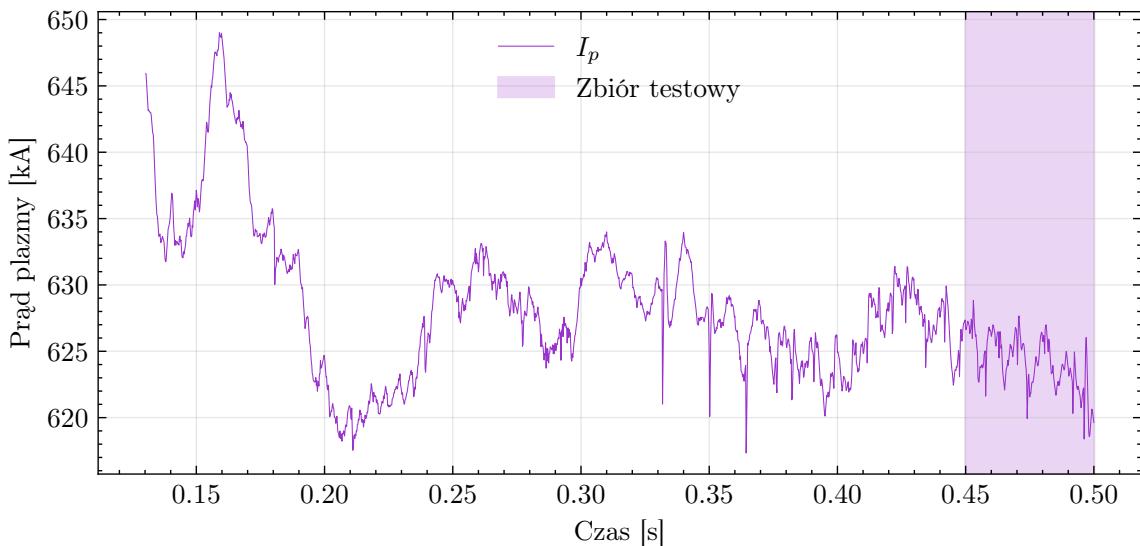
Dla potrzeb analizy szeregów czasowych, fluktuacje tego prądu w fazie stabilnej traktujemy jako proces stochastyczny, wynikający z turbulencji wewnętrz gorącego gazu oraz działania systemów sterowania reaktora.

## 1.3 Charakterystyka próby i wizualizacja

Do analizy wybrano eksperyment (tzw. *shot*) o numerze ID: 30421. Pełny przebieg eksperymentu (przedstawiony na rysunku 1) trwa około 6 sekund. Ze względu na niestacjonarny charakter całego procesu (faza rozruchu i wygaszania), do modelowania ARMA wyodrębniono wycinek czasowy odpowiadający fazie stabilnej (rysunek 2). Zbiór analityczny odpowiada 0,37 sekundy obserwacji i zawiera 1850 próbek. W celu późniejszej weryfikacji poprawności modelowania ARMA dla przyszłych wartości, został on podzielony na zbiór treningowy - pierwsze 0,32 sekundy (1500 próbek) oraz zbiór testowy - ostatnie 0,05 sekund (250 próbek).



Rysunek 1: Pełny przebieg natężenia prądu plazmy w czasie eksperymentu. Półprzezroczystym obszarem zaznaczono obszar fazy stabilnej wybrany do analizy.



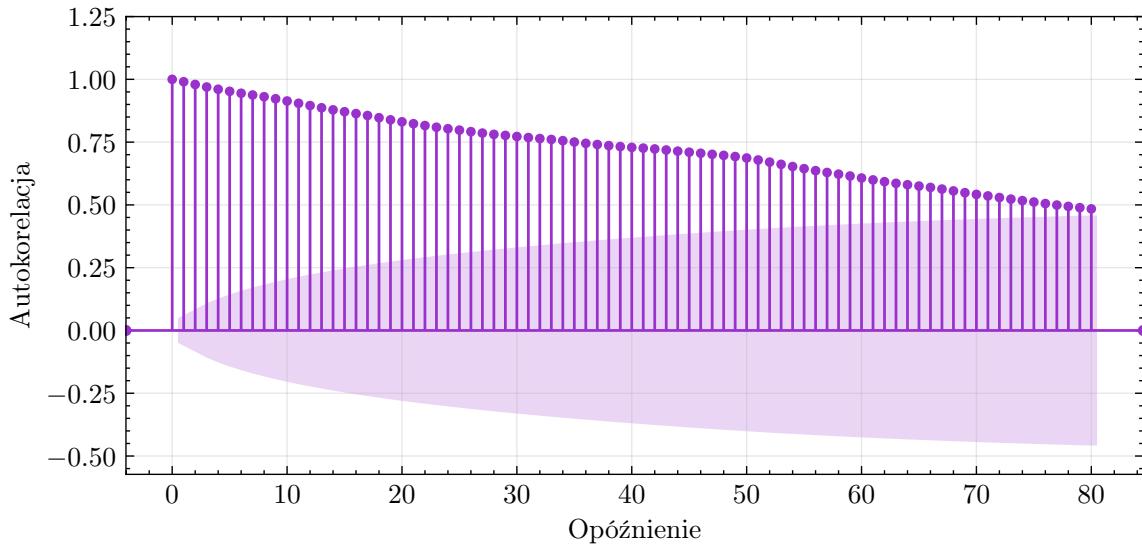
Rysunek 2: Wyodrębniony fragment szeregu czasowego (faza *flat-top*) poddany modelowaniu ARMA. Półprzezroczystym obszarem zaznaczono obszar zbioru testowego.

## 2 Przygotowanie danych do analizy

### 2.1 Analiza jakości danych

Coś tam że dane nie mają braków itd.

#### 2.1.1 Analiza autokorelacji surowych danych



Rysunek 3: CAPTION UZUPEŁNIC

Rysunek 3 przedstawia to i to. Możemy wywnioskować z tego, że cos tam. Interpretujemy to tak i tak

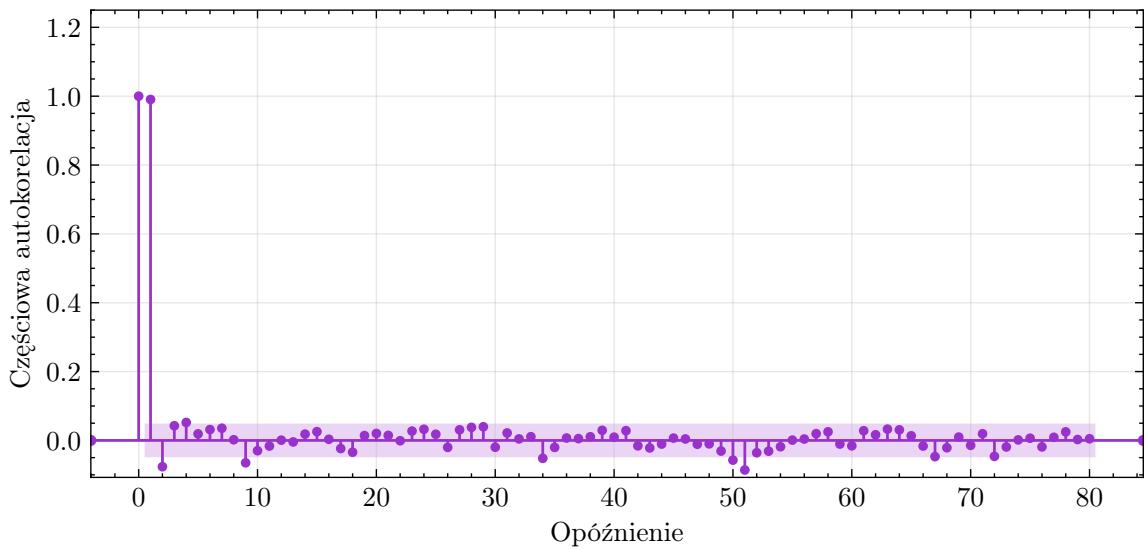
Rysunek 4 przedstawia to i to. Możemy wywnioskować z tego, że cos tam. Interpretujemy to tak i tak

test ADF weryfikujący hipotezę o niestacjonarności dla surowych danych (Augmented Dickey-Fuller Test) dał takie wyniki: Statystyka testowa = -0.665, p-value = 0.427 = $\downarrow$  Non-stationary.

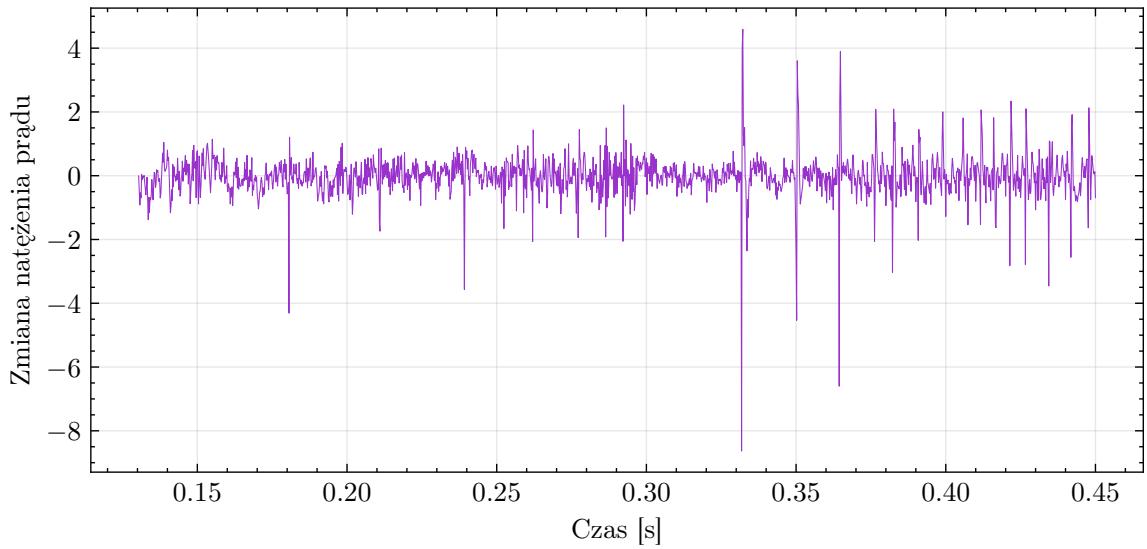
### 2.2 Dekompozycja szeregu czasowego

#### 2.2.1 Różnicowanie danych

Rysunek 5 przedstawia to i to. Możemy wywnioskować z tego, że cos tam. Interpretujemy to tak i tak



Rysunek 4: **CAPTAIN UZUPELNIC**



Rysunek 5: **CAPTAIN UZUPELNIC**

### **2.2.2 Ocena autokorelacji danych po dekompozycji**

Rysunek 6 przedstawia to i to. Możemy wywnioskowac z tego, że cos tam. Interpretujemy to tak i tak

Rysunek 7 przedstawia to i to. Możemy wywnioskowac z tego, że cos tam. Interpretujemy to tak i tak

test ADF weryfikujący hipotezę o niestacjonarności dla danych po dekompozycji (Augmented Dickey-Fuller Test) dał takie wyniki: Statystyka testowa = -14.148, p-Value = 0.0 = $\downarrow$  Stationary.

## **3 Modelowanie przy pomocy ARMA**

### **3.1 Dobranie rzędu modelu i parametrów**

dobralismy rzad modelu korzystajac z kryteriow informacyjnych w pakiecie pdarima. wyszlo:  
Best model: ARMA(7,6) (my uzylismy 5,5 z rysunku 8)

parametry: **TODO (tabelka najlepiej)**

### **3.2 Ocena dopasowania modelu**

#### **3.2.1 Autokorelacja reszt**

Rysunek 9 przedstawia to i to. Możemy wywnioskowac z tego, że cos tam. Interpretujemy to tak i tak

Rysunek 10 przedstawia to i to. Możemy wywnioskowac z tego, że cos tam. Interpretujemy to tak i tak

#### **3.2.2 Analiza trajektorii ARMA w porównaniu do badanego szeregu**

Rysunek 11 przedstawia to i to. Możemy wywnioskowac z tego, że cos tam. Interpretujemy to tak i tak

Rysunek 12 przedstawia to i to. Możemy wywnioskowac z tego, że cos tam. Interpretujemy to tak i tak

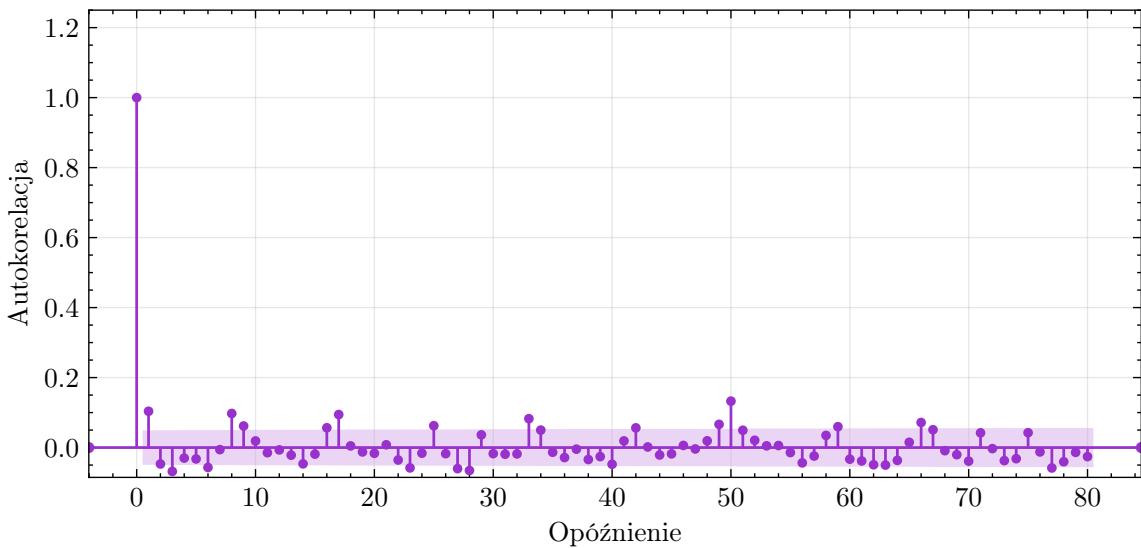
## **4 Weryfikacja założeń dotyczących szumu**

### **4.1 Założenie dotyczące średniej**

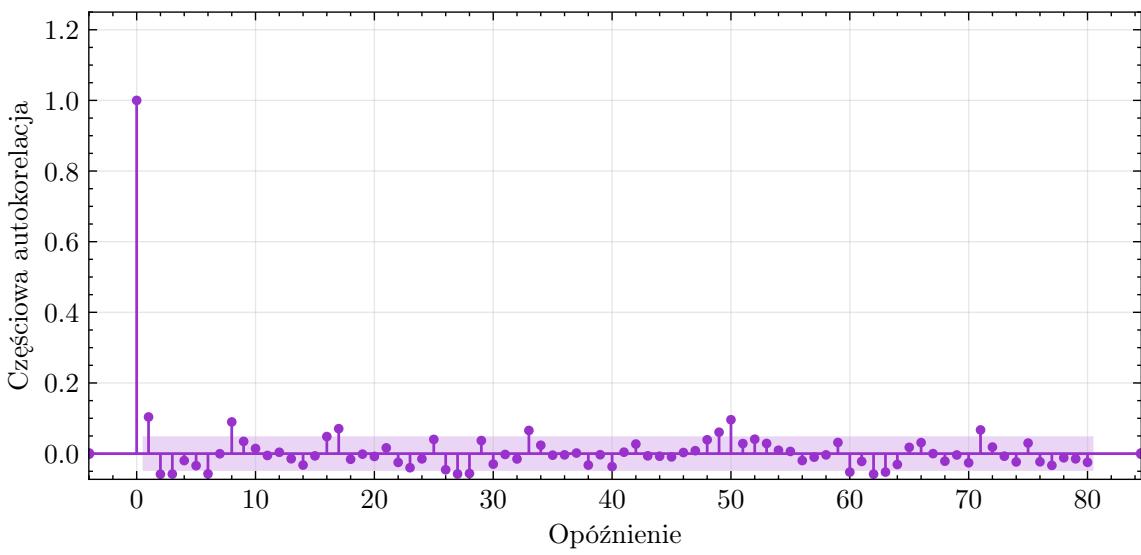
Rysunek 13

### **4.2 Założenie dotyczące wariancji**

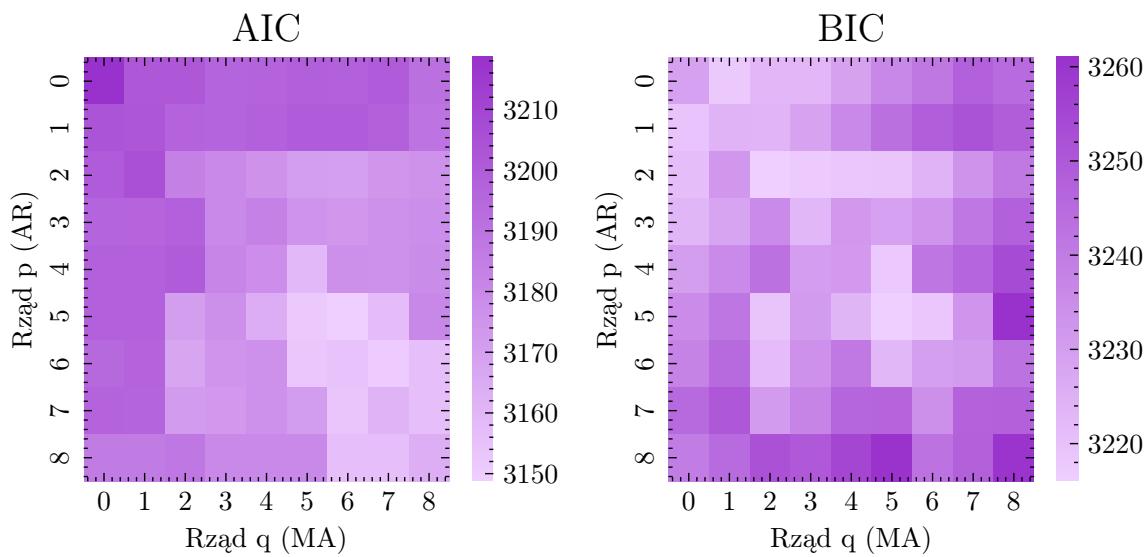
Rysunek 14



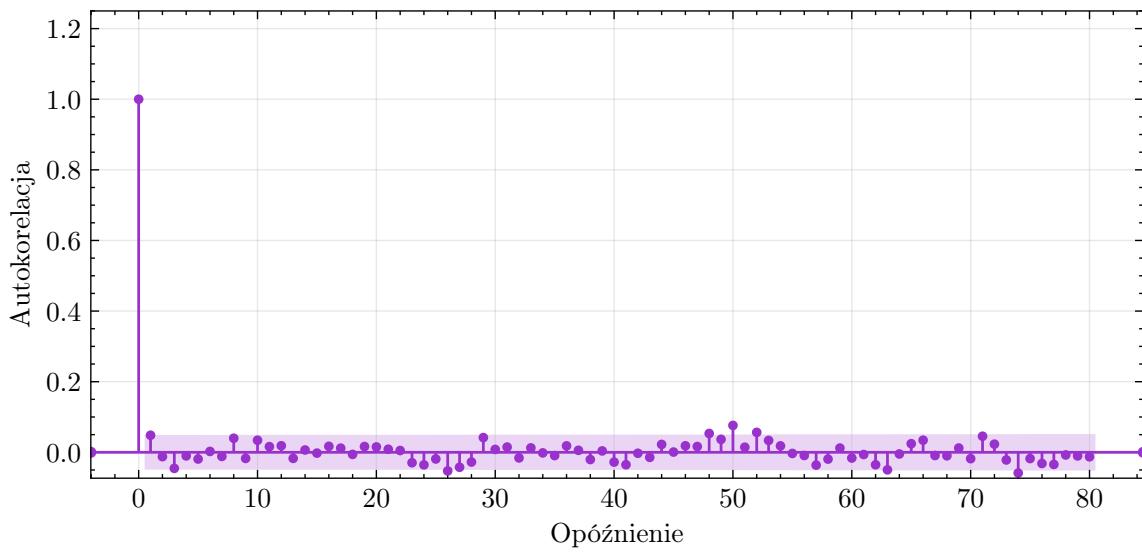
Rysunek 6: CAPTION UZUPEŁNIC



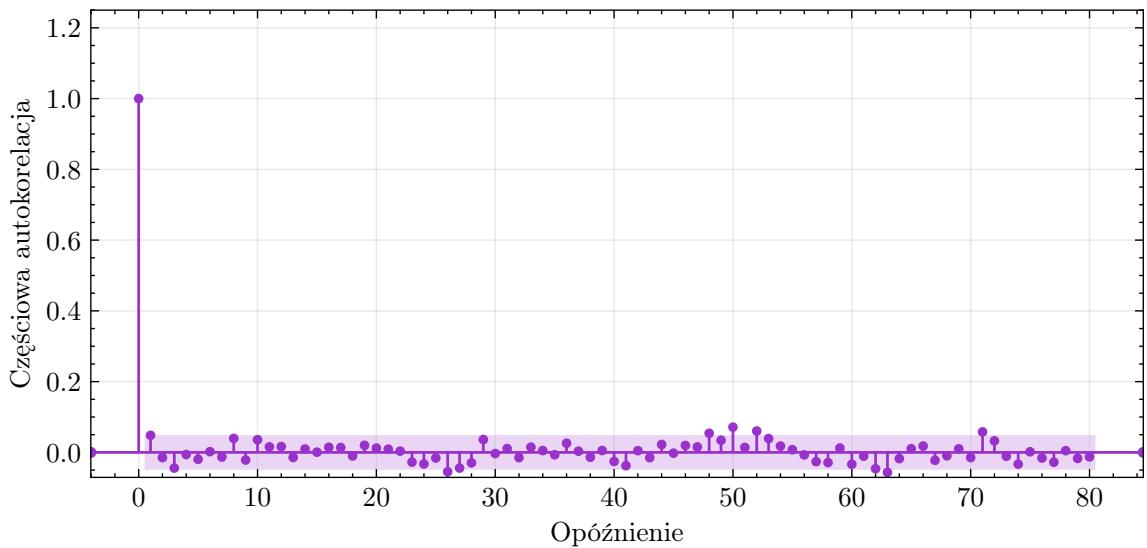
Rysunek 7: CAPTION UZUPEŁNIC



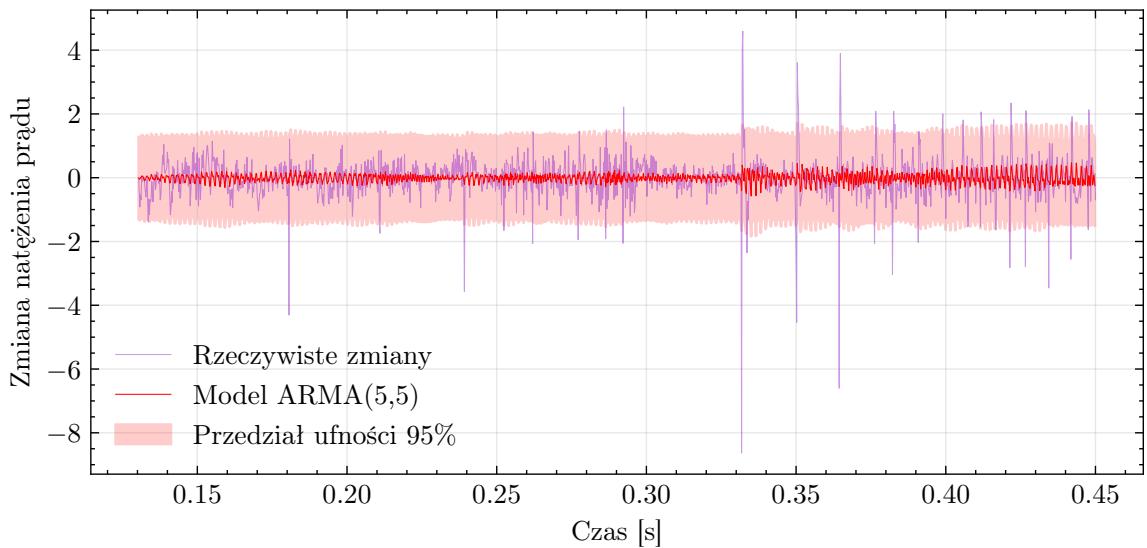
Rysunek 8: CAPTION UZUPELNIC



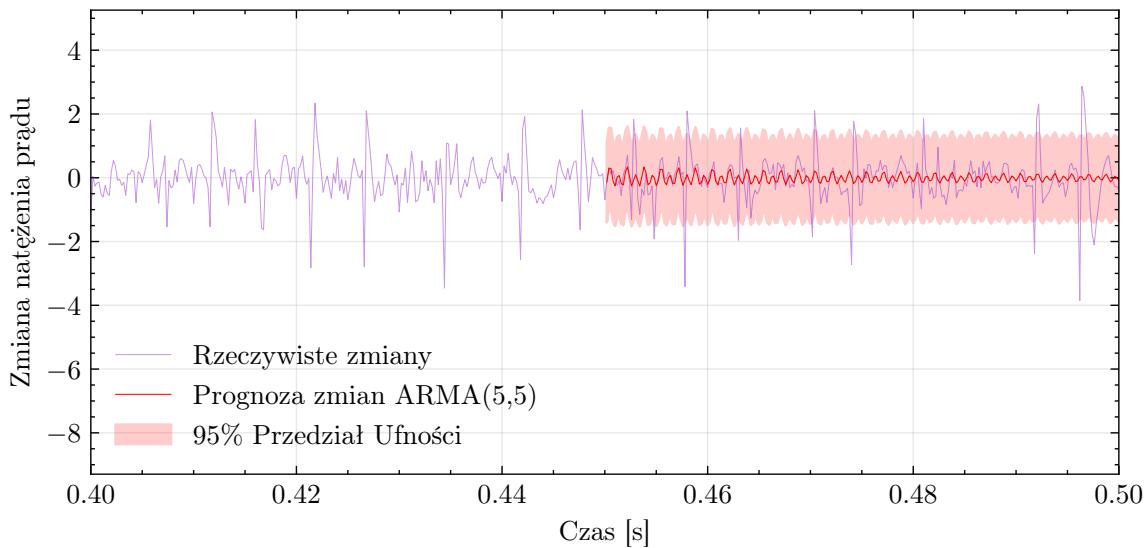
Rysunek 9: CAPTION UZUPELNIC



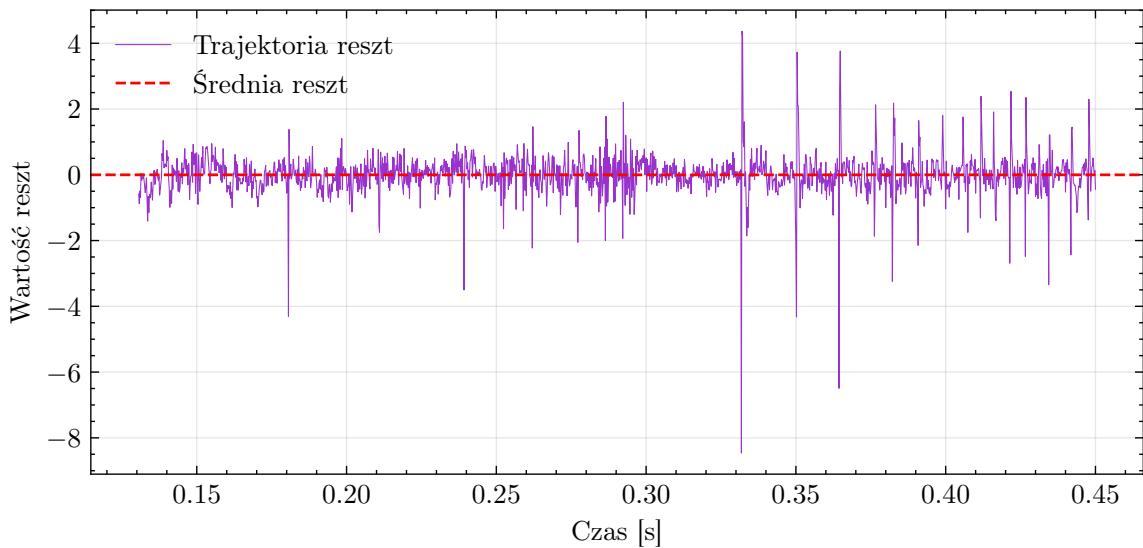
Rysunek 10: **CAPTION UZUPELNIC**



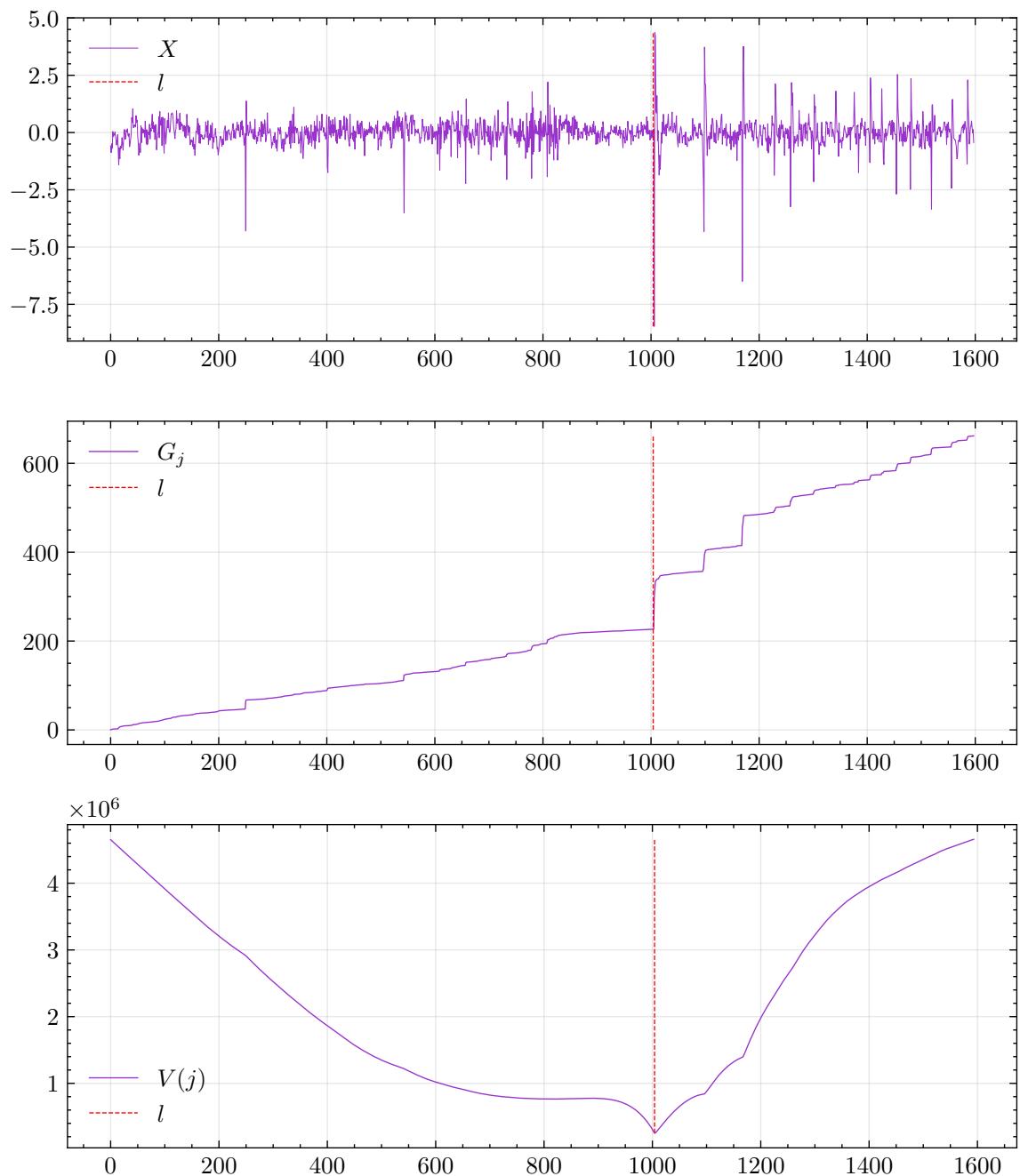
Rysunek 11: **CAPTION UZUPELNIC**



Rysunek 12: **CAPTAIN UZUPEŁNIC**



Rysunek 13: **CAPTAIN UZUPEŁNIC**

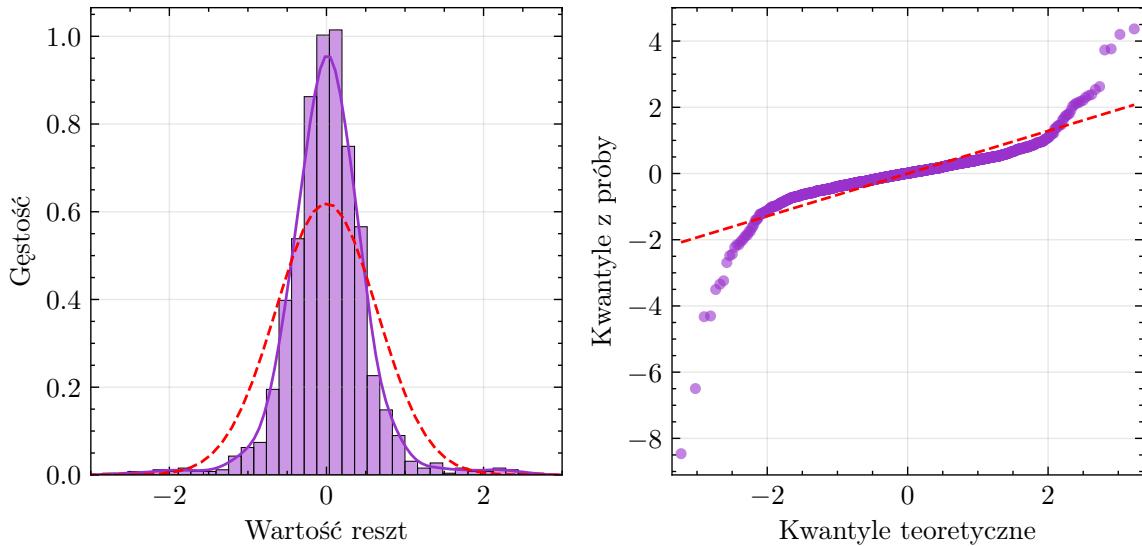


Rysunek 14: CAPTION UZUPEŁNIC

#### 4.3 Założenie dotyczące niezależności

Rysunek 9 oraz Rysunek 10

#### 4.4 Założenie dotyczące normalności rozkładu



Rysunek 15: CAPTION UZUPEŁNIC

Rysunek 15

## 5 Wnioski

## 6 Podsumowanie