

Analiza danych rzeczywistych natężenia prądu plazmy przy pomocy modelu ARMA

Dominika Lewandowska, Nikodem Drelak

30 stycznia 2026

Spis treści

1	Wstęp	2
1.1	Cel pracy	2
1.2	Opis i źródło danych	2
1.3	Charakterystyka próby i wizualizacja	2
2	Przygotowanie danych do analizy	4
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
3	Modelowanie przy pomocy ARMA	6
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
4	Weryfikacja założeń dotyczących szumu	6
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
5	Wnioski	12
6	Podsumowanie	12

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](#).

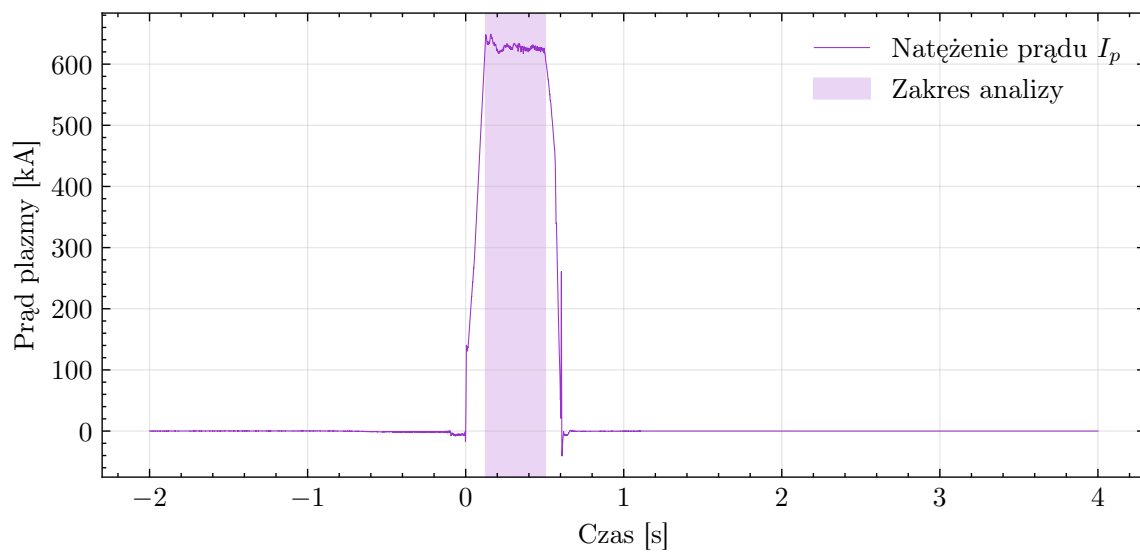
Interpretacja fizyczna zmiennej: Analizowana zmienna to natężenie prądu plazmy (I_p), wyrażone w kiloamperach (kA). W uproszczeniu, parametr ten jest kluczowym wskaźnikiem „życia” eksperymentu:

- 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).

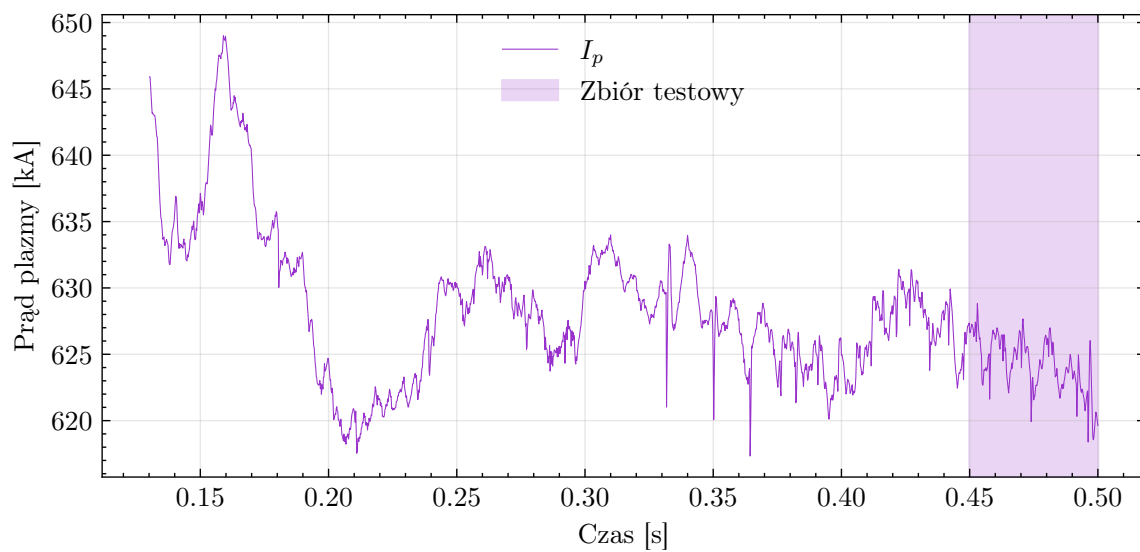
Dla potrzeb analizy szeregów czasowych, fluktuacje tego prądu w fazie stabilnej traktujemy jako proces stochastyczny, wynikający z turbulencji wewnątrz gorącego gazu oraz działania systemów sterowania reaktora.

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.



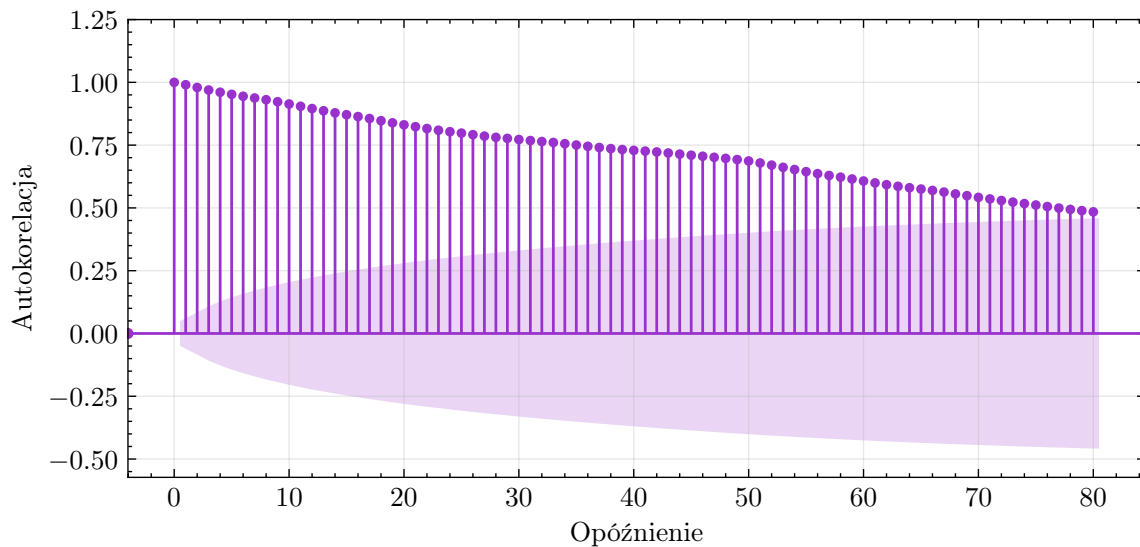
Rysunek 2: Wyodrębniony fragment szeregu czasowego (faza *flat-top*) poddany modelowaniu ARMA. Półprzezroczystym obszarem zaznaczono obszar zbioru testowego.

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 UZUPELNIC**

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

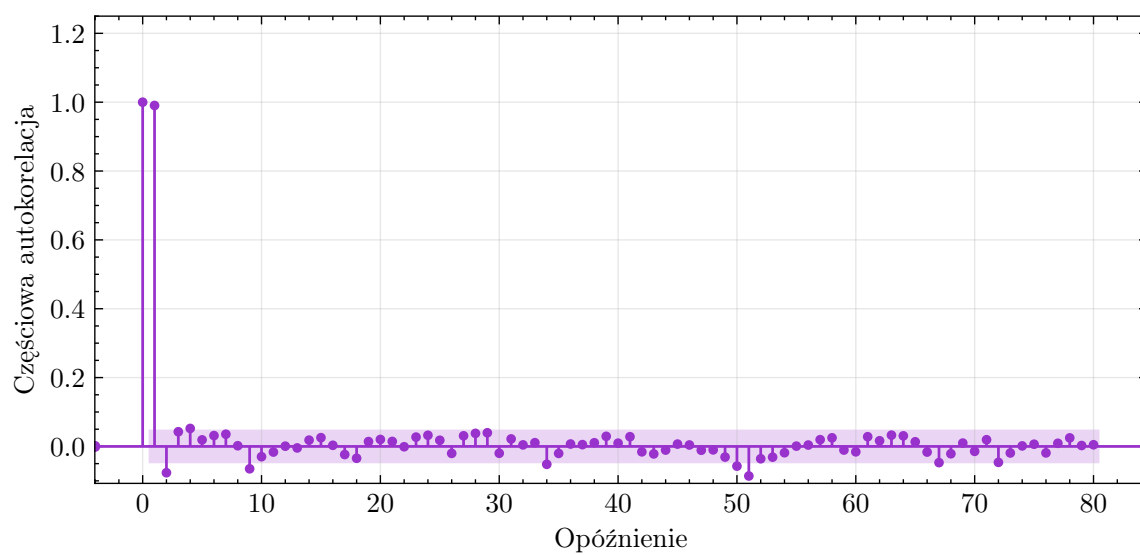
Rysunek 4 przedstawia to i to. Możemy wywnioskować z tego, że coś tam. Interpretujemy to tak i tak

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

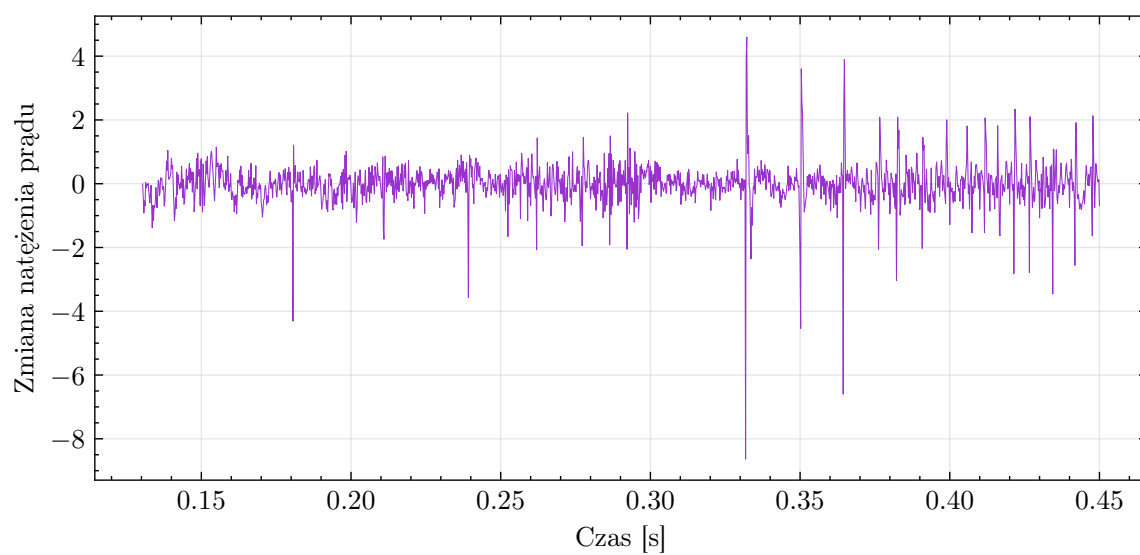
2.2 Dekompozycja szeregu czasowego

2.2.1 Różnicowanie danych

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



Rysunek 4: **CAPTION UZUPELNIC**



Rysunek 5: **CAPTION UZUPELNIC**

2.2.2 Ocena autokorelacji danych po dekompozycji

Rysunek 6 przedstawia to i to. Możemy wywnioskować z tego, że coś tam. Interpretujemy to tak i tak

Rysunek 7 przedstawia to i to. Możemy wywnioskować z tego, że coś 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 =, Stationary.

3 Modelowanie przy pomocy ARMA

3.1 Dobranie rzędu modelu i parametrów

dobralismy rząd modelu korzystając z kryteriów informacyjnych w pakiecie pdarima. wyszło: Best model: ARMA(7,6) (my użyliśmy 5,5 z rysunku 8)

parametry: TODO (tabela najlepiej)

3.2 Ocena dopasowania modelu

3.2.1 Autokorelacja reszt

Rysunek 9 przedstawia to i to. Możemy wywnioskować z tego, że coś tam. Interpretujemy to tak i tak

Rysunek 10 przedstawia to i to. Możemy wywnioskować z tego, że coś tam. Interpretujemy to tak i tak

3.2.2 Analiza trajektorii ARMA w porównaniu do badanego szeregu

Rysunek 11 przedstawia to i to. Możemy wywnioskować z tego, że coś tam. Interpretujemy to tak i tak

Rysunek 12 przedstawia to i to. Możemy wywnioskować z tego, że coś tam. Interpretujemy to tak i tak

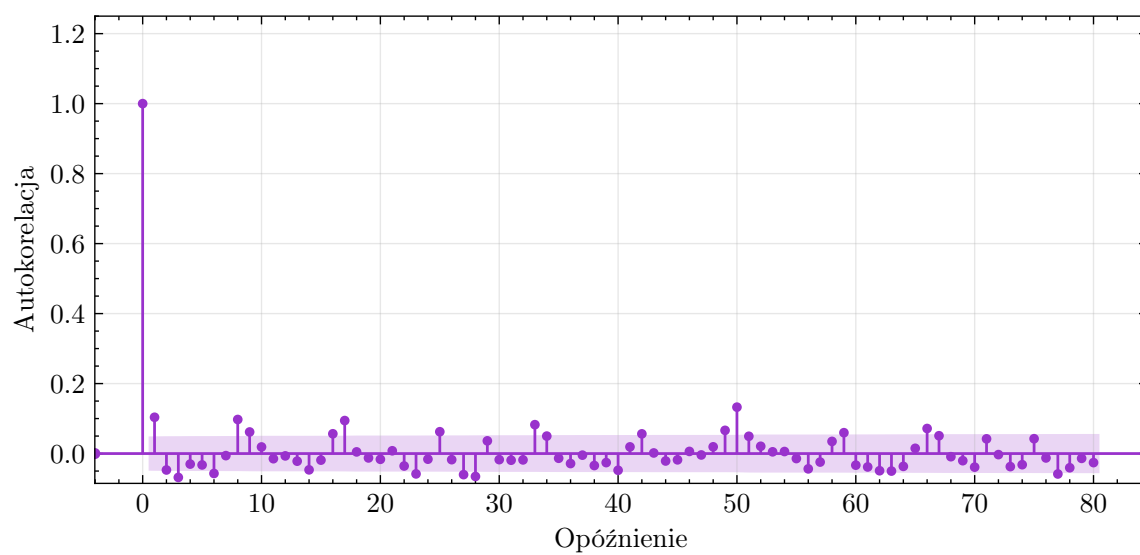
4 Weryfikacja założeń dotyczących szumu

4.1 Założenie dotyczące średniej

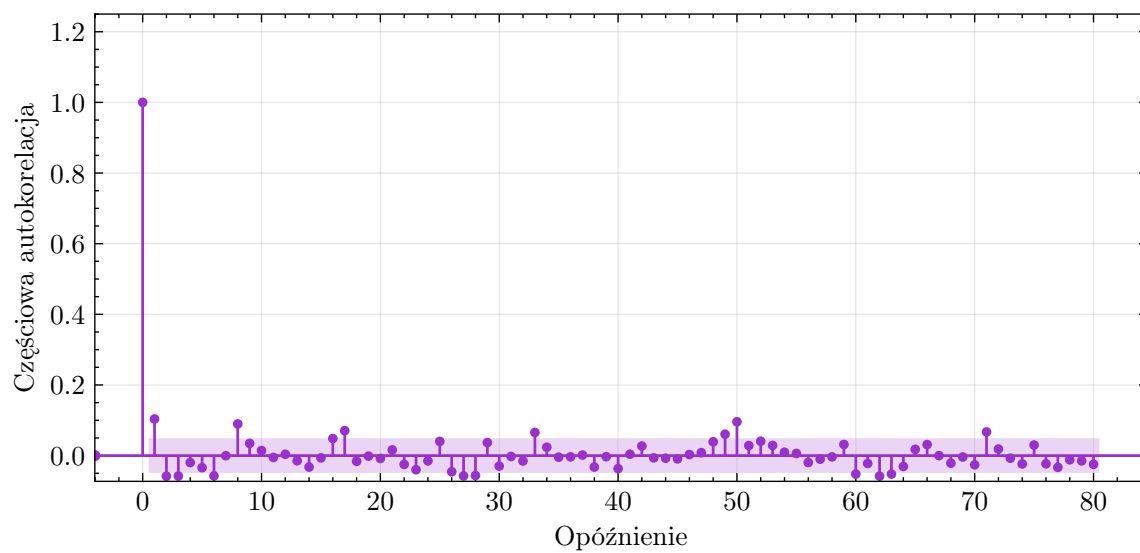
Rysunek 13

4.2 Założenie dotyczące wariancji

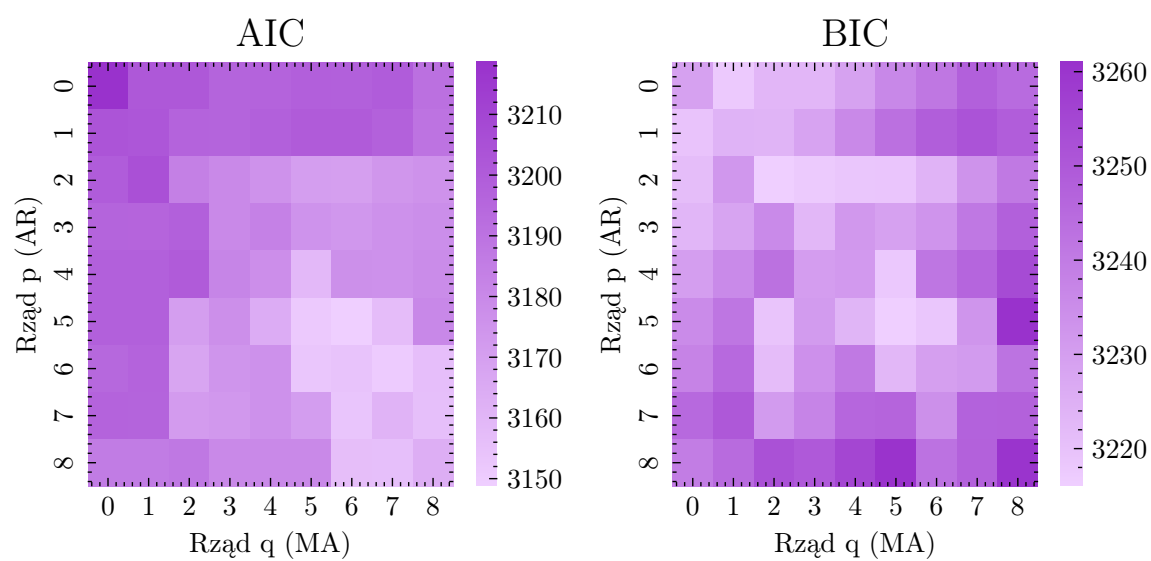
Rysunek 14



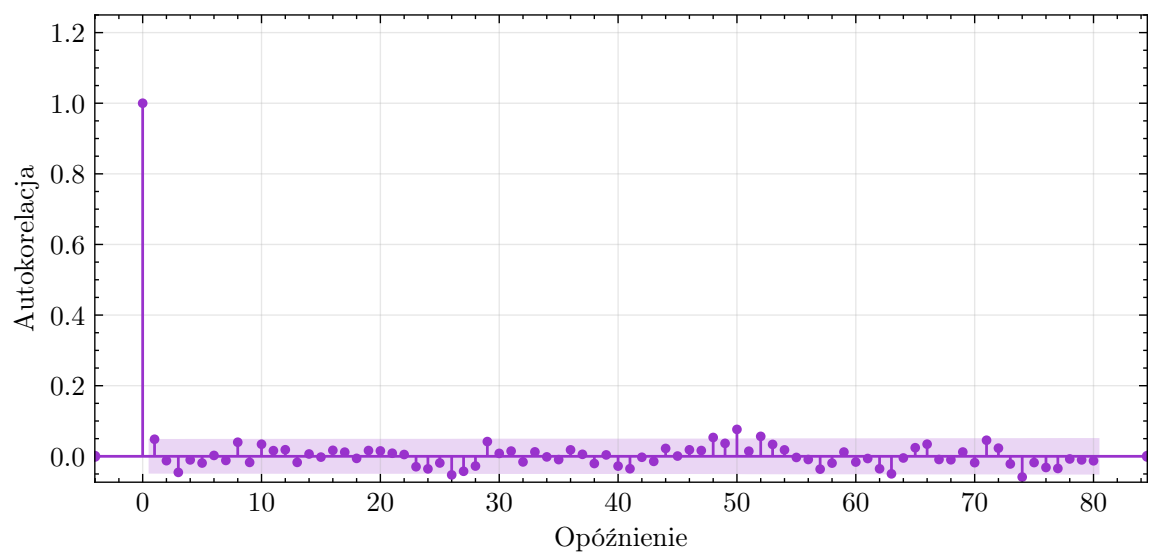
Rysunek 6: **CAPTION UZUPELNIC**



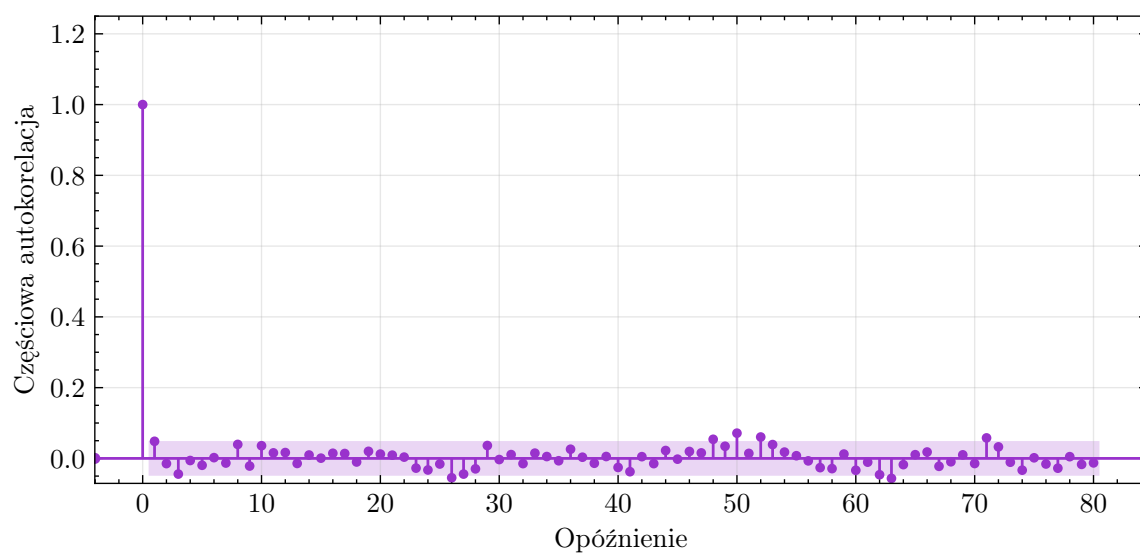
Rysunek 7: **CAPTION UZUPELNIC**



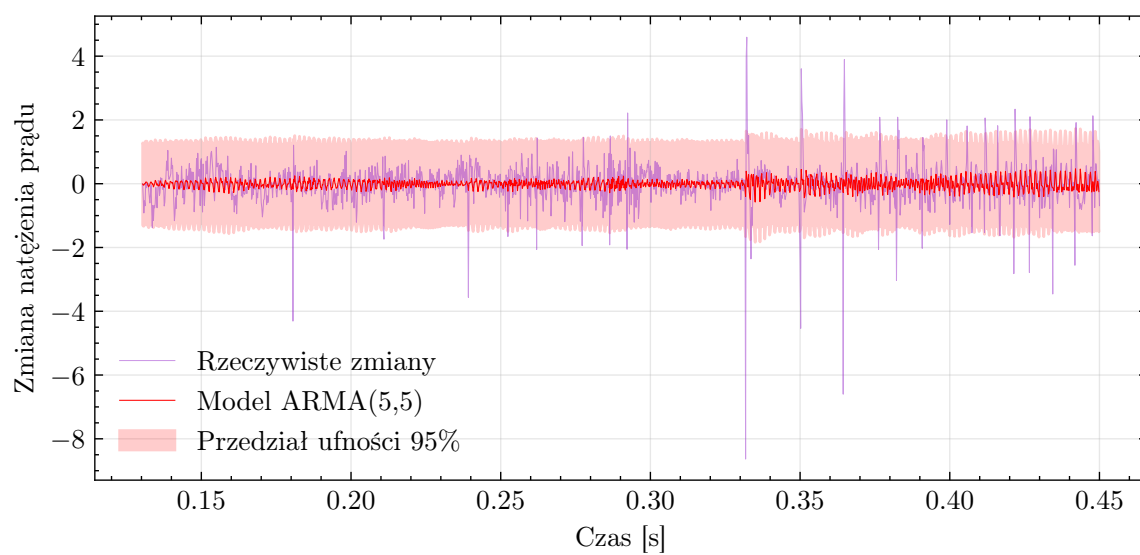
Rysunek 8: **CAPTION UZUPELNIC**



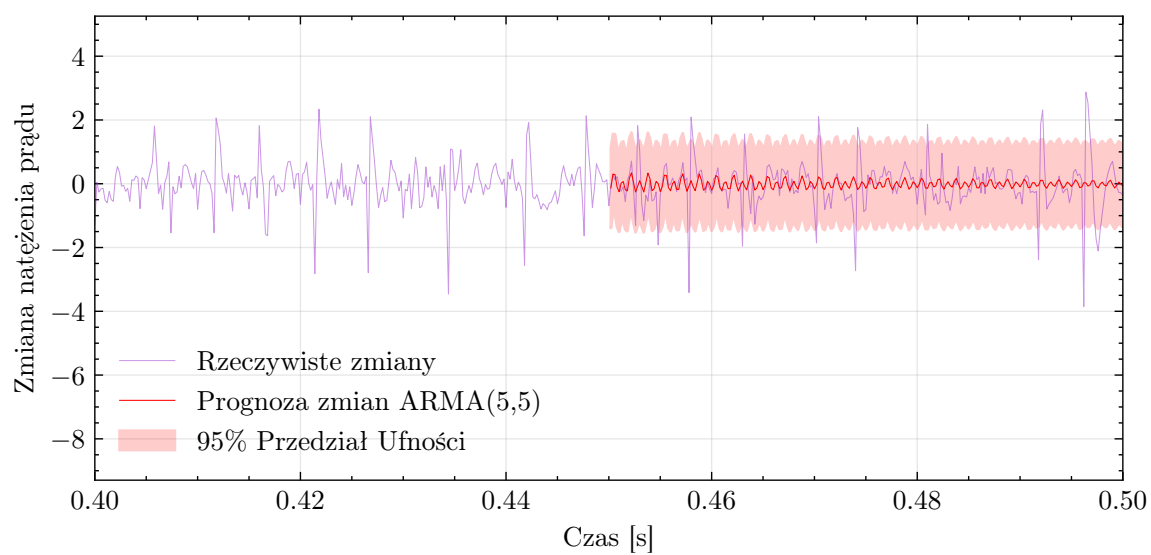
Rysunek 9: **CAPTION UZUPELNIC**



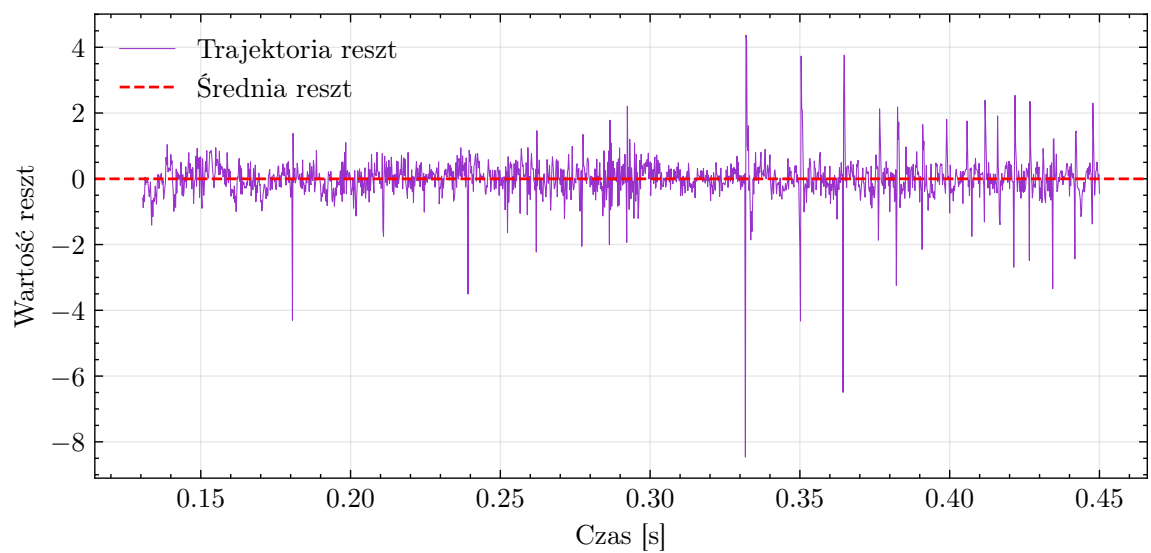
Rysunek 10: **CAPTION UZUPELNIC**



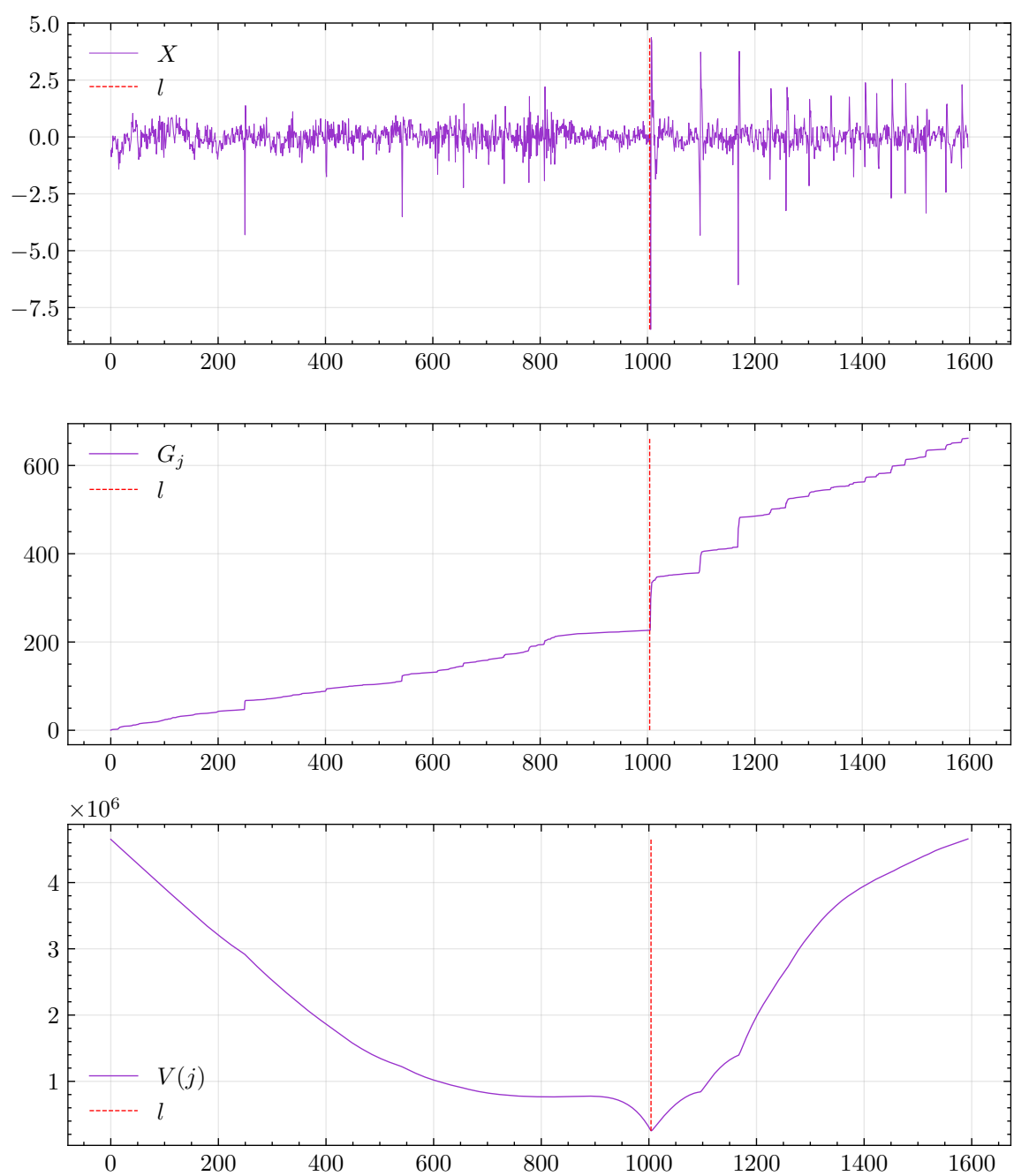
Rysunek 11: **CAPTION UZUPELNIC**



Rysunek 12: **CAPTION UZUPELNIC**



Rysunek 13: **CAPTION UZUPELNIC**

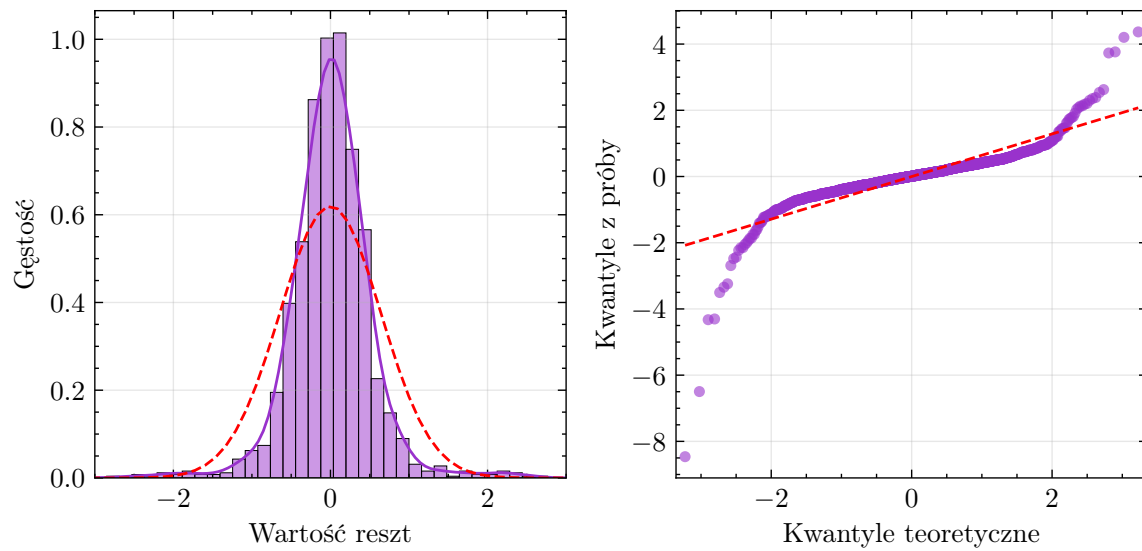


Rysunek 14: CAPTION UZUPELNIC

4.3 Założenie dotyczące niezależności

Rysunek 9 oraz Rysunek 10

4.4 Założenie dotyczące normalności rozkładu



Rysunek 15: **CAPTION UZUPELNIC**

Rysunek 15

5 Wnioski

6 Podsumowanie