

**Katedra  
Podstaw  
Konstrukcji  
Maszyn**

**Wydział  
Mechaniczny  
Technologiczny**

**Politechnika  
Śląska**

# **Projektowanie Systemów Diagnostycznych**

## **Raport końcowy**

**Rok akademicki:** 2024/25

**Temat zadania:** <Temat zadania>

**Studenci w sekcji:**

Daniel Kotliński  
Sklorz Konrad  
Maciej Krupinski  
Aleksander Łokieć  
RAfał Mikołajczak

**Kierunek:** AiRP

**Grupa:** AB5

**Data opracowania:** 2025-01-30

# 1 Opis zadania projektowego

# 2 Opis diagnozowanego obiektu

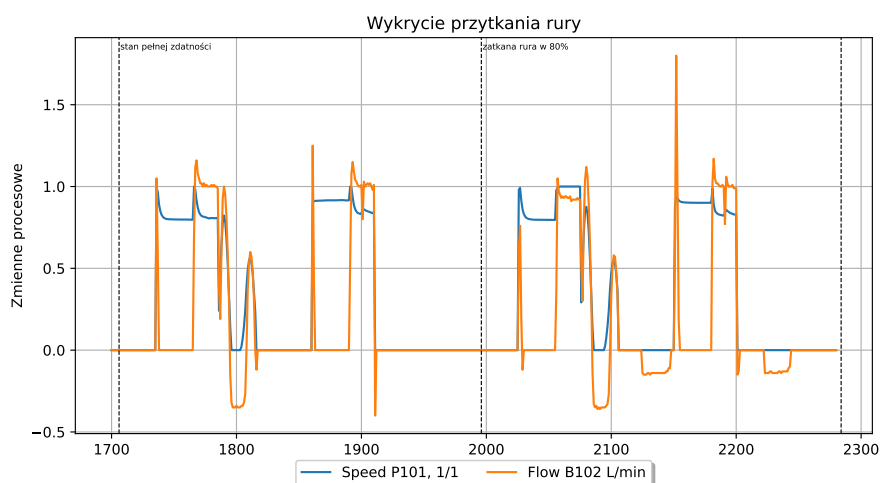
# 3 Analiza dostępnych zmiennych procesowych

## 3.1 Wykresy zmiennych procesowych dla stanu pełnej zdatności oraz stanów z uszkodzeniami

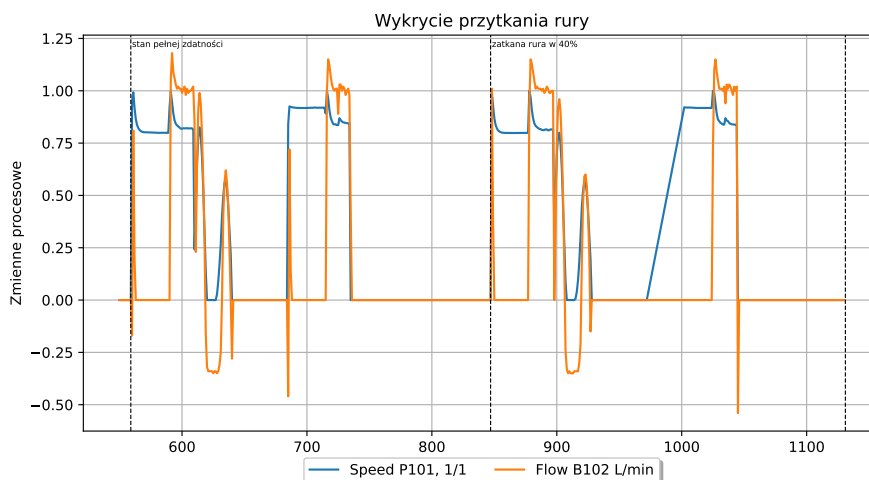
### 3.1.1 Wykrycie przytkania

Wykrycie przytkania na podstawie spadku przepływu w rurze. Na rys. 1 przedstawiono moment zatkania w 80%. Widać, że mimo pełnego wystawienia pompy, nie udało się zrealizować rządanej przepływu.

Dla kontrastu na rys. 2 przedstawiono moment zatkania w 40%. Widać, że pomimo zatkania, udało się zrealizować rządany wartość przepływu co utrudnia wykrycie tak małego zatkania.



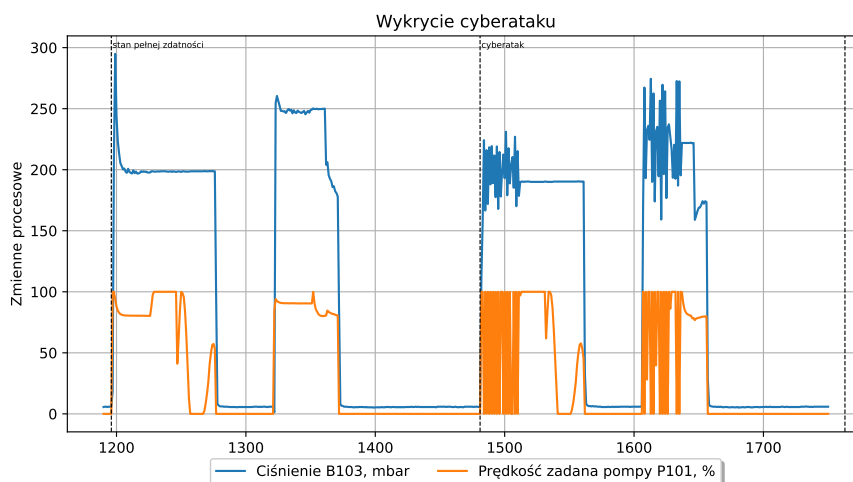
Rysunek 1: Test zatkania rury w 80%



Rysunek 2: Test zatkania rury w 40%

### 3.1.2 Wykrycie cyberataku

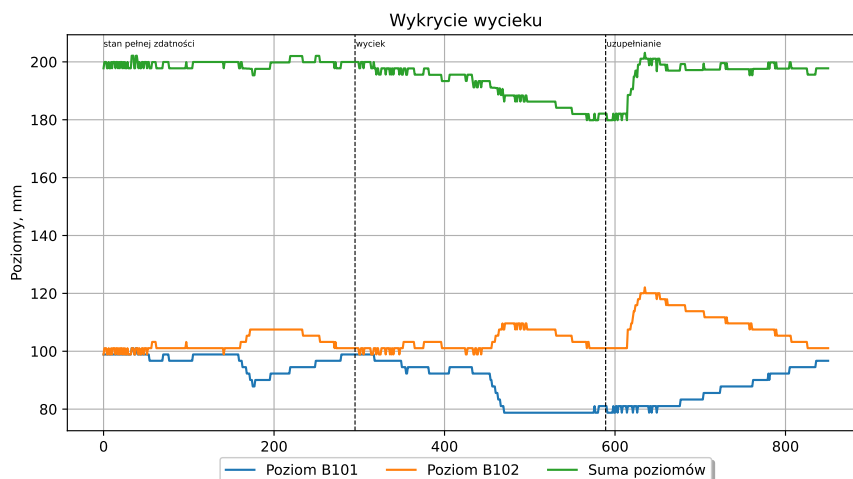
Na rys. 3 przedstawiono moment cyberataku. Widać, że w momencie ataku, przepływ w rurze stał się niestabilny (duży RMS).



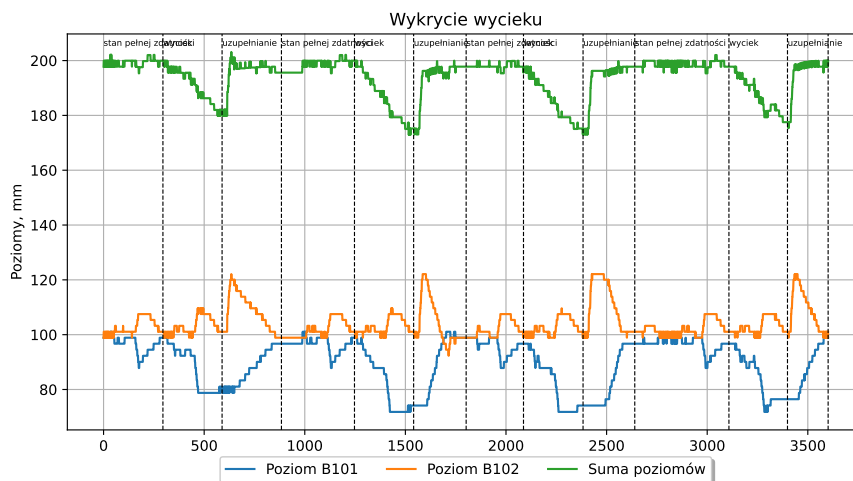
Rysunek 3: Test cyberataku

### 3.1.3 Wykrycie wycieku

Na rys. 7 przedstawiono moment wycieku. Porównano poziomy w zbiornikach oraz ich sumę (zbiorniki miały prawdopodobnie to samo pole przekroju). Widać, że w momentach wycieku suma poziomów nagle malała. Na rys. 5 przedstawiono szerszy okres na którym widać cpowtarzalność zjawiska.



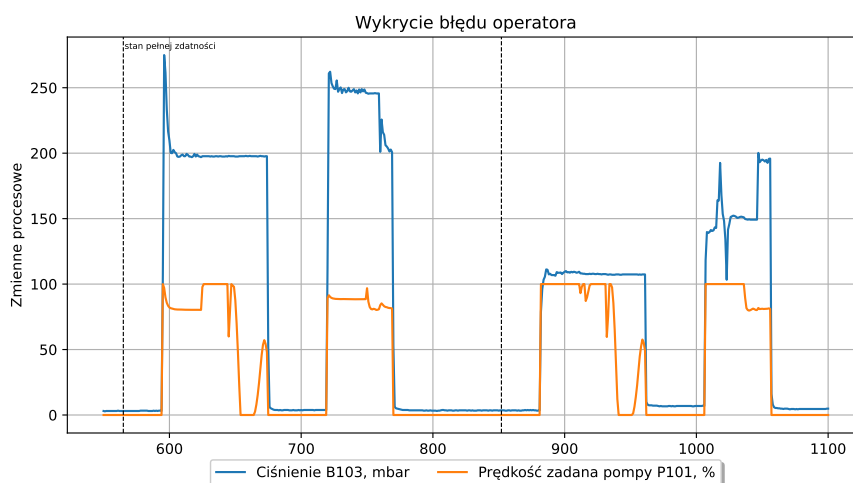
Rysunek 4: Test wycieku



Rysunek 5: Test wycieku

### 3.1.4 Wykrycie błędu operatora

Na rys. 6 przedstawiono moment błędu operatora. Widać, że w odpowiednich fazach zadane ciśnienie w zbiorniku nie jest utrzymywane.



Rysunek 6: Test błędu operatora

## 3.2 Opis symptomów poszczególnych stanów

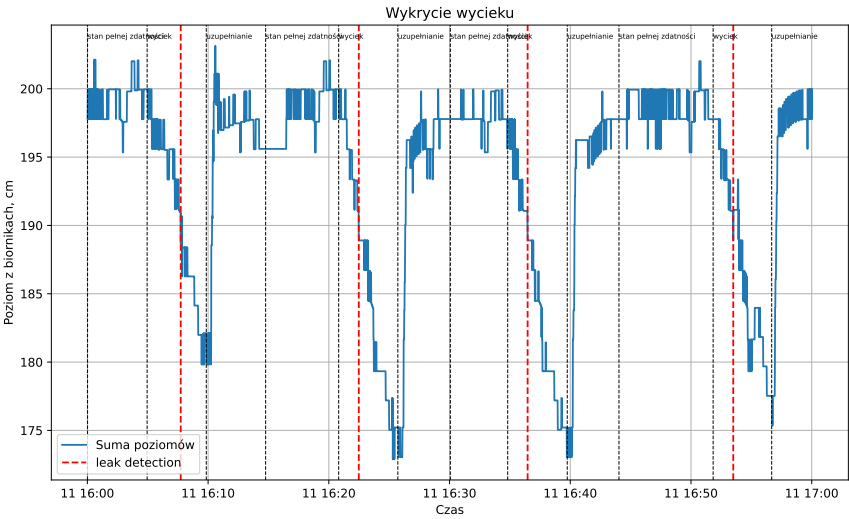
## 4 Testy diagnostyczne bazujące na diagnozowaniu bezpośrednim

Zaimplementowano kilka metod służących do detekcji i izolacji konkretnych stanów. Przykłady przedstawiono poniżej.

### 4.1 Wykrycie wycieku

W celu wykrycia wycieku sprawdzana jest suma poziomów w dwóch zbiornikach. W przypadku wycieku suma ta nagle maleje. Przed testem suma poziomów jest ustawiana. Wy-

brano arbitralną sumę poziomów dla którego uznaje się że wystąpił wyciek. Wartość ta wynosi 190cm. Na rys. 7 przedstawiono działanie testu diagnostycznego dla przebiegu z awariami. Jak widać, wszystkie wycieki zostały wykryte, oraz nie wystąpiły fałszywe alarmy.



Rysunek 7: wykrycie wycieku

Testy przeprowadzono dla wszystkich przebiegów. Zestawienie przedstawię w tabeli 1.

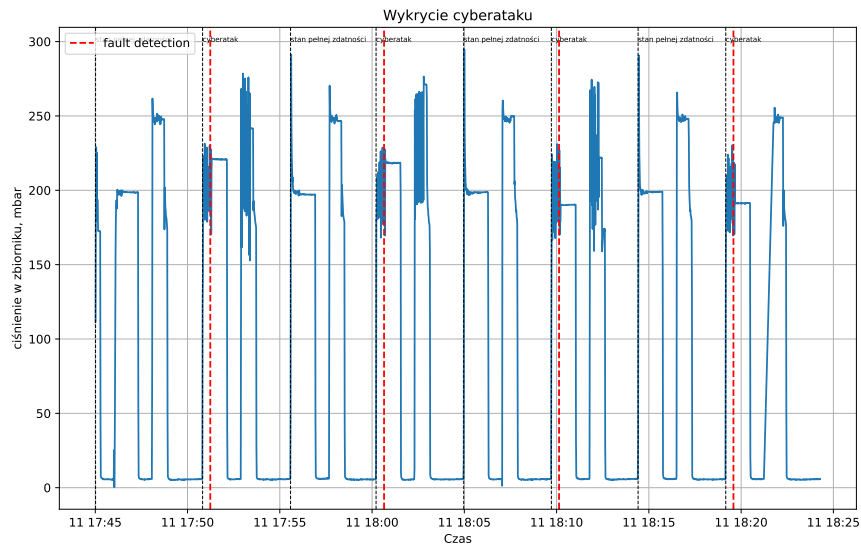
Tabela 1: Wyniki testu wykrycia wycieku

Zestaw danych	F1_data	F2_data	F3_data	F4_data
Rzeczywiste awarie	0	0	4	0
Wykryte awarie	0	0	4	0

Jak widać wszystkie wycieki zostały skutecznie wykryte, nie wystąpiły również fałszywe alarmy dla żadnego z przebiegów.

## 4.2 Wykrycie cyberataku

W celu wykrycia cyberataku sprawdzane są oscylacje regulowanych wartości ciśnienia. W celu wykrycia oscylacji, wartość mierzona filtrowana jest górnoprzepustowo, a następnie brana jest wartość bezwzględna (w testach dało to lepsze rezultaty niż RMS). Wartość ta następnie jest filtrowana dolnoprzepustowo i porównywana z wybranym progiem. Jeśli poziom utrzymuje się dłużej niż określony czas uznaje się, że wystąpił cyberatak. Wartość progu oraz czasu zostały dobrane arbitralnie. Na rys. 8 przedstawiono działanie testu diagnostycznego dla przebiegu z awariami. Jak widać, wszystkie cyberataki zostały wykryte, oraz nie wystąpiły fałszywe alarmy.



Rysunek 8: wykrycie cyberataku

Test przeprowadzono dla wszystkich przebiegów. Zestawienie przedstawiono w tabeli 2.

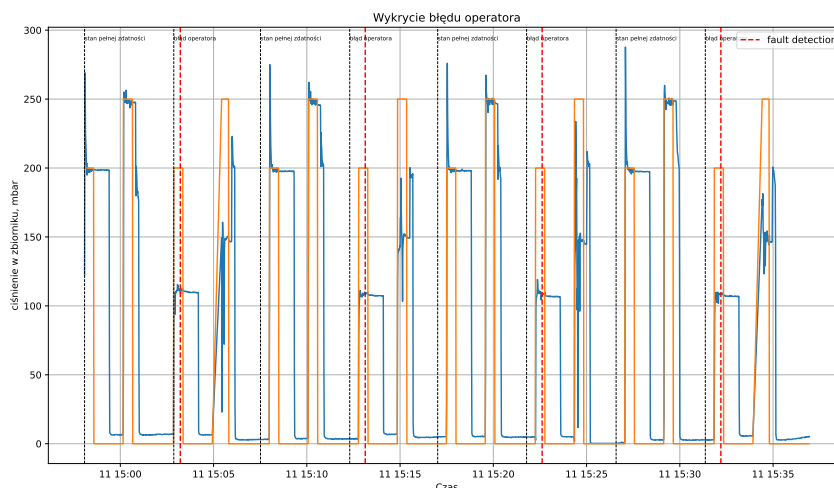
Tabela 2: Wyniki testu wykrycia cyberataku

Zestaw danych	F1_data	F2_data	F3_data	F4_data
Rzeczywiste awarie	0	4	0	0
Wykryte awarie	0	4	0	0

Wszystkie cyberataki zostały skutecznie wykryte, nie wystąpiły również fałszywe alarmy dla żadnego z innych przebiegów.

### 4.3 Wykrycie błędu operatora

Błąd operatora jest wykrywany na podstawie różnicy między zadaniem ciśnieniem w zbiorniku, a ciśnieniem rzeczywistym. W przypadku błędu operatora ciśnienie w zbiorniku nie jest poprawnie utrzymywane. Jeżeli w fazie, w której ciśnienie w zbiorniku powinno być utrzymywane, jest ono zbyt niskie przez określony czas, uznaje się, że wystąpił błąd operatora. Wartości progu oraz czasu zostały dobrane arbitralnie. Na rys. 9 przedstawiono działanie testu diagnostycznego dla przebiegu z awariami. Jak widać, wszystkie błędy operatora zostały wykryte, oraz nie wystąpiły fałszywe alarmy.



Rysunek 9: wykrycie błędu operatora

W tabeli 3 przedstawiono wyniki testu dla wszystkich przebiegów.

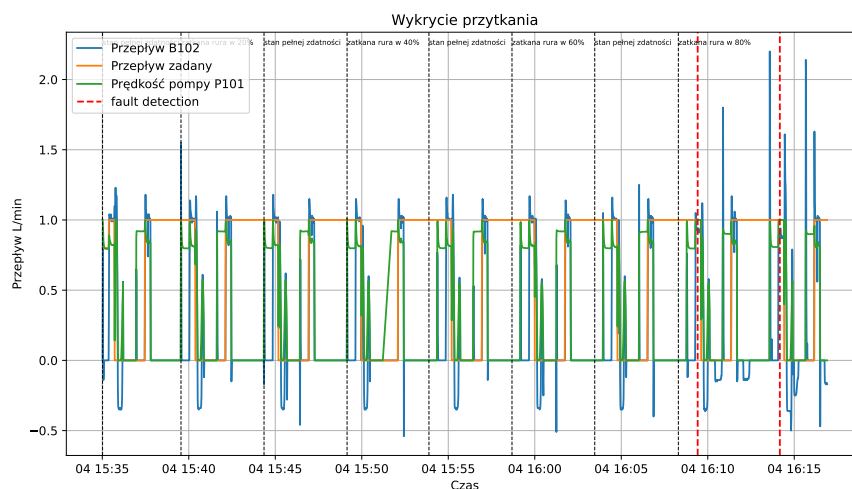
Tabela 3: Wyniki testu wykrycia błędu operatora

Zestaw danych	F1_data	F2_data	F3_data	F4_data
Rzeczywiste awarie	0	0	0	4
Wykryte awarie	0	1	2	4

Okazało się, że w przebiegu F2 i F3 (odpowiednio cyberatak i wyciek) zdiagnozowano problemy jako błędy operatora. Oznacza to, że powyższy sposób nieskutecznie wyizolował problemy

#### 4.4 Wykrycie przytkania

W celu wykrycia przytkania sprawdzana jest różnica między zadany przepływem, a rzeczywistym. W przypadku przytkania, pomimo pełnego wystawienia pompy, nie da się zrealizować zadanego przepływu. Jeżeli przy odpowiednio dużym wystawieniu przez określony czas utrzymywany jest błąd przepływu uznaje się, że wystąpiło przytkanie. Wartości progu oraz czasu zostały dobrane arbitralnie. Na rys. 10 przedstawiono działanie testu diagnostycznego dla przebiegu z awariami.



Rysunek 10: Wykrycie przytkania

Jak widać, nie wszystkie przebiegi zostały poprawnie zdiagnozowane. W przypadku małego przytkania pompa skutecznie radziła sobie z zapewnieniem poprawnego przebiegu. W tabeli 4 przedstawiono wyniki testu dla wszystkich przebiegów.

Tabela 4: Wyniki testu wykrycia przytkania

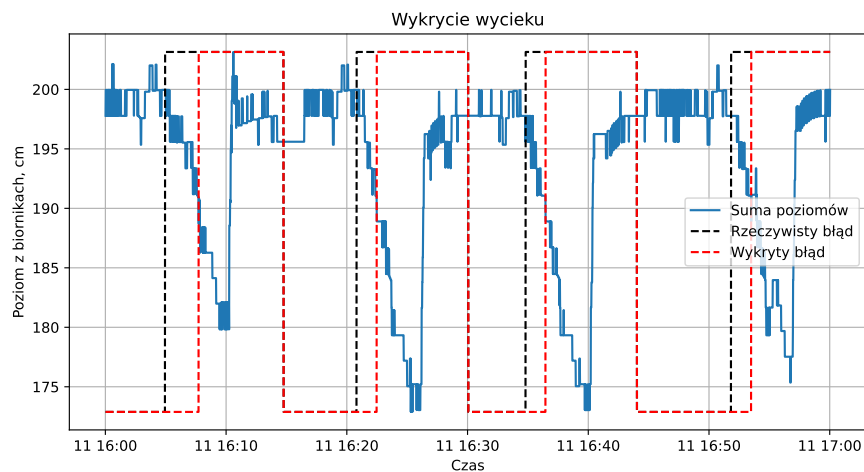
Zestaw danych	F1_data	F2_data	F3_data	F4_data
Rzeczywiste awarie	4	0	0	0
Wykryte awarie	2	8	1	8

Tutaj okazało się, że zaproponowany sposób zgłasza bardzo dużo fałszywych alarmów. Co więcej, dla innych przebiegów awarie były zgłaszane nawet w momentach które powinny być uznane za sprawne. Jednak na prebiegach rzeczywiście da się zaobserwować anormalne zachowanie i niezapewnienie rządanej przepływu w tych momentach.

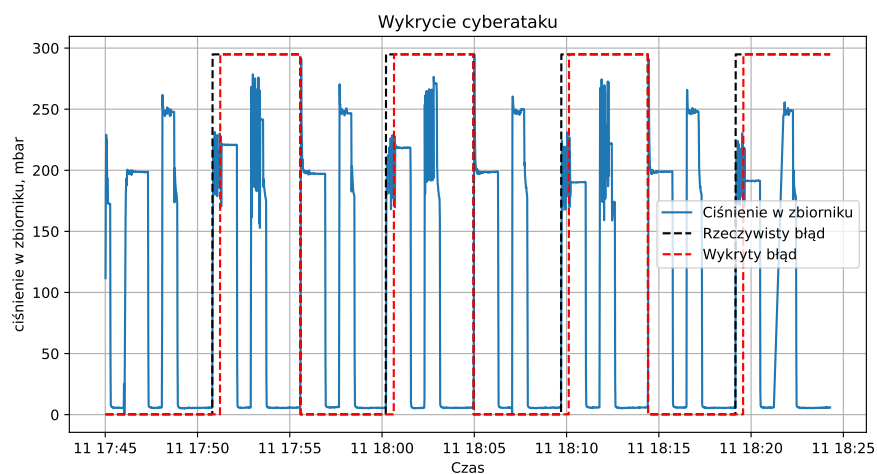
## 5 Wskaźniki alarmów

W celu określenia poprawności przedsatwionych algorytmów wykrywania alarmów obliczono wskaźniki dla każdej z metod. Skrypty przerobiono tak, by dla każdej próbki czasowej była określona wartość alarmu. Wyznaczoną wartość porównano z zadeklarowaną wartością z pliku. Przebiegi sygnałów alarmów przedstawiono na rysunkach 11 do 14. dodatkowo przyjęto, że usunięcie usterki powodowało wyłączenie alarmu.

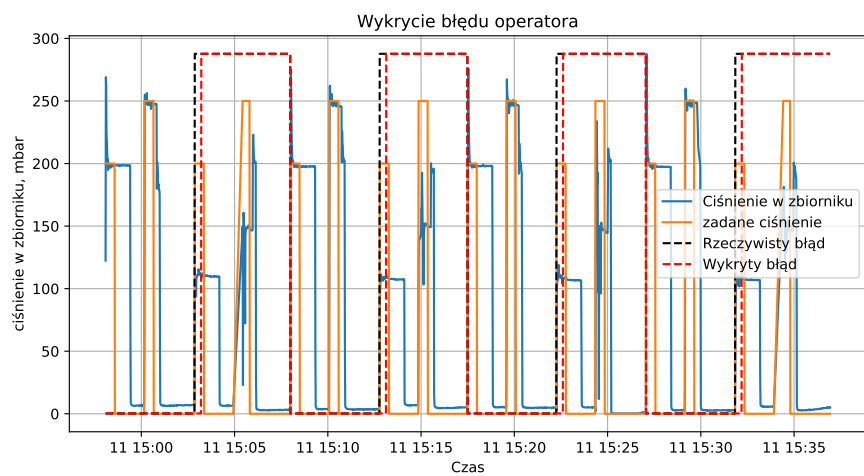




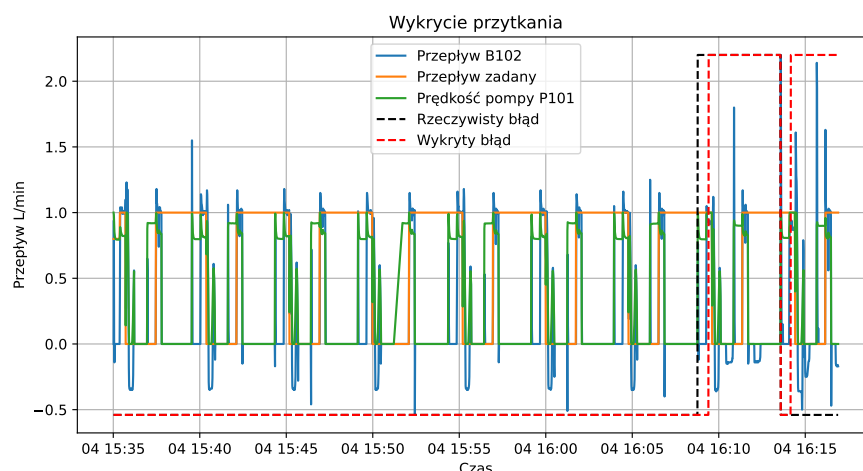
Rysunek 11: Wykrycie wycieku



Rysunek 12: Wykrycie cyberataku



Rysunek 13: Wykrycie błędu operatora



Rysunek 14: Wykrycie przytkania

Na podstawie danych obliczone wskaźniki przedstawiono w tabeli 5. Każdorazowo wyznaczano je dla dedykowanego zestawu danych.

Tabela 5: Wskaźniki alarmów

Diagnozowany alarm	Wyciek	Cyberatak	Błąd operatora	Przytkanie
Wskaźnik fałszywych alarmów	0 %	0 %	0 %	7,5 %
Wskaźnik prawidłowych alarmów	78,7 %	91,1 %	92,5 %	86,8 %

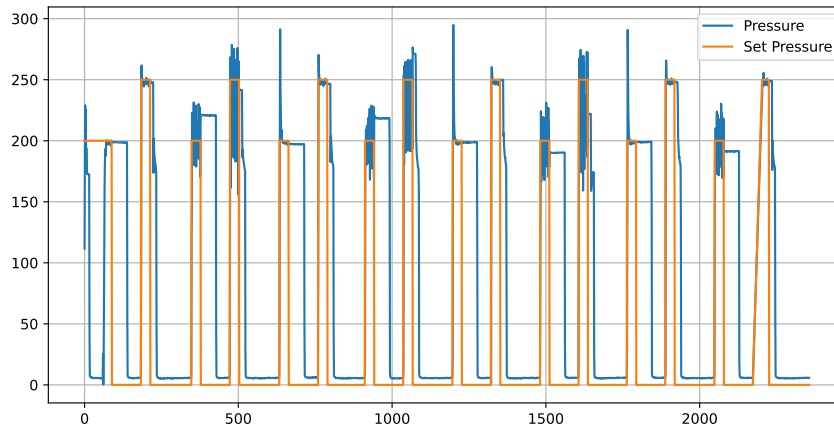
Na danych można zaobserwować, że fałszywe alarmy praktycznie nie występowały. Jedyny przypadek fałszywego alarmu wystąpił przy przytkaniu, ale na zebranych danych rzeczywiście można zaobserwować anomalie, co podaje w wątpliwość prawdziwość informacji o stanie układu.

Wszystkie usterki zostały wykryte, zazwyczaj w dość krótkim czasie.

## 6 Wnioskowanie oparte na modelu

Postanowiono zbudować model obiektu, który pozwoli na wykrywanie anomalii w przebiegu zmiennych procesowych.

W tym celu uznano za zasadne próbę wykrycia anomalii w zbiorniku B103. Wejściem modelu jest zarówno poprzednie zmierzone ciśnienie oraz wartość zadana. Dane z którego wycięto dane do uczenia pmodelu przedstawił rysunek 15.



Rysunek 15: Dane o ciśnieniach w zbiorniku

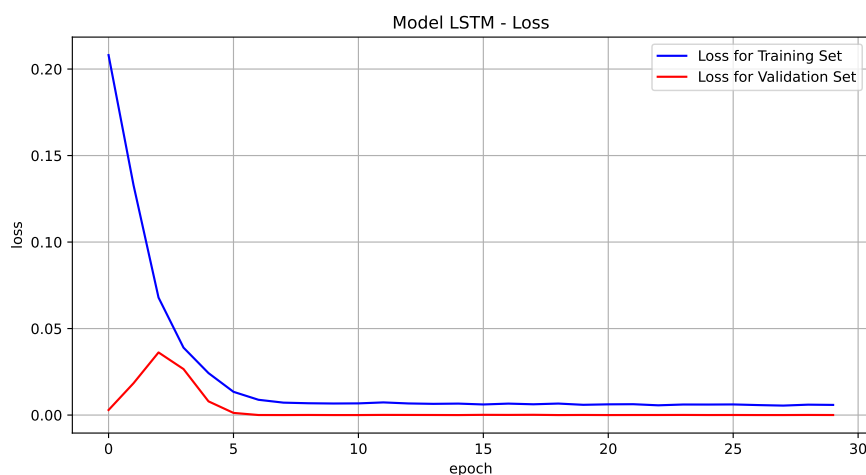
Na wycinku danych w których nie występowała awaria zbudowano dwuwęściowy model LSTM. Strukturę modelu przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6: Struktura modelu

Layer (type)	Output Size	Liczba parametrów
lstm (LSTM)	50	10,600
dropout (Dropout)	50	0
dense (Dense)	25	1,275
dense_1 (Dense)	1	26

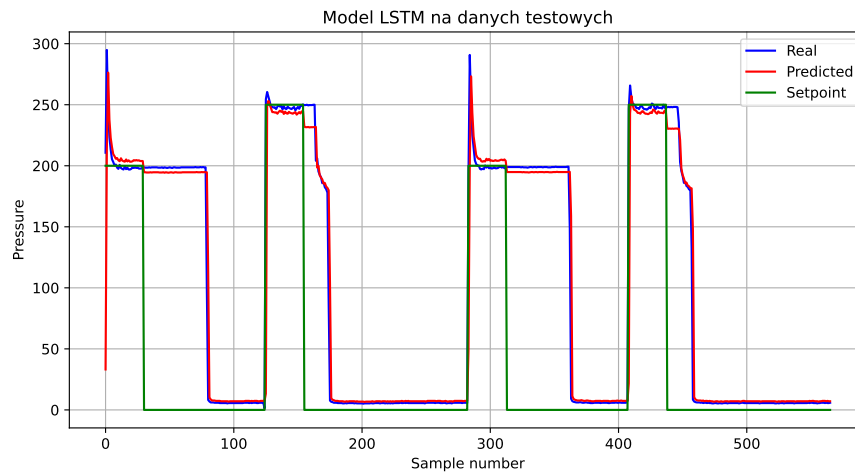
W sumie model posiadał 35 705 parametrów, w tym blisko 12 tys. uczących się.

Model został wykonany na 30 epokach. Patrząc na wyniki uczenia przedstawione na rysunku 16 uznano to za wystarczającą liczbę.



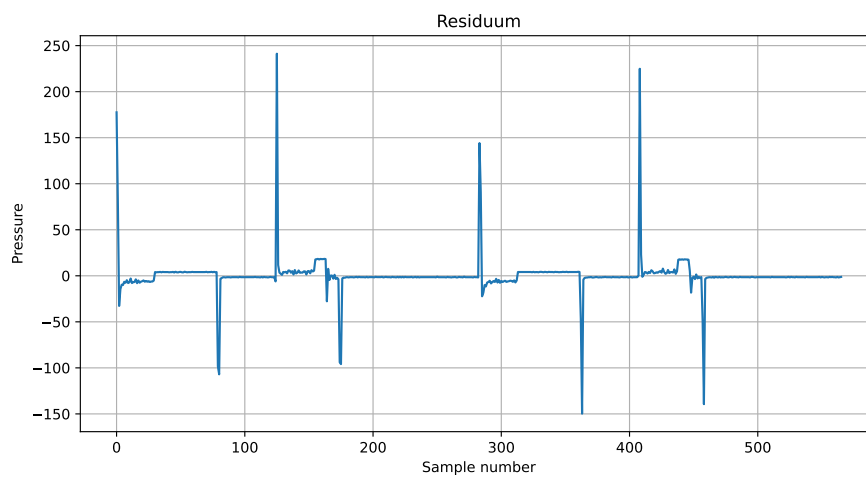
Rysunek 16: Wyniki uczenia modelu

Na rysunku 17 przedstawiono uzyskany rezultat modelu przetestowanego na innym wycinku danych. Można zwrócić uwagę, że W momencie w którym ciśnienie w zbiorniku nie było regulowane wartość zadana w danych spadała do zera. Jednak mimo to ciśnienie w zbiorniku było utrzymywane. Podejście to spowodowało pewne odchylenia w modelu.

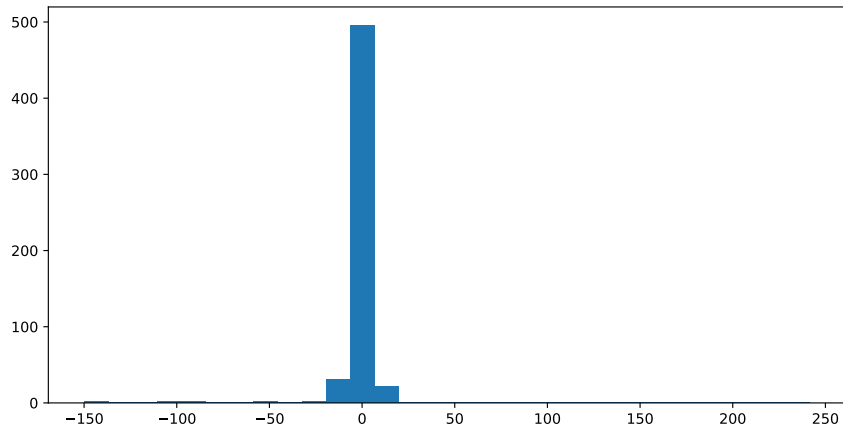


Rysunek 17: Wyniki predykcji modelu na danych testowych

Porównując wartości ciśnienia rzeczywistego z wartością przewidywaną policzono residuum przedstawione na rysunku 18. Histogram residuum przedstawiono na rysunku 19. Średnia wartość residuum była bliska zeru.

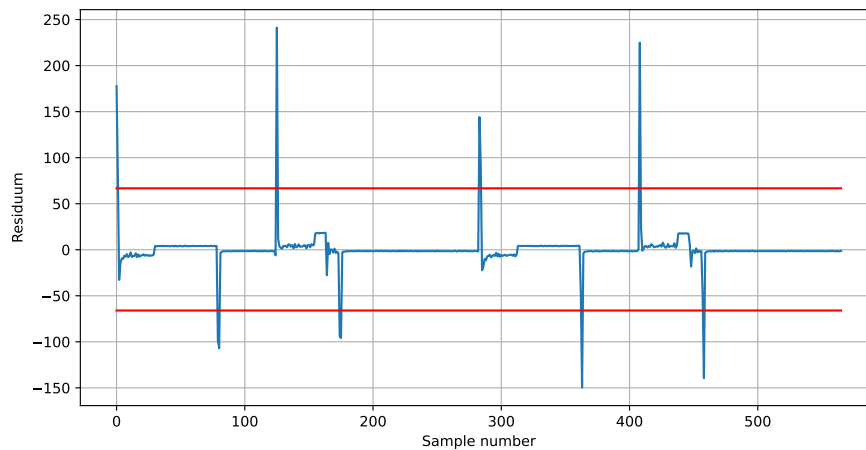


Rysunek 18: Residuum modelu



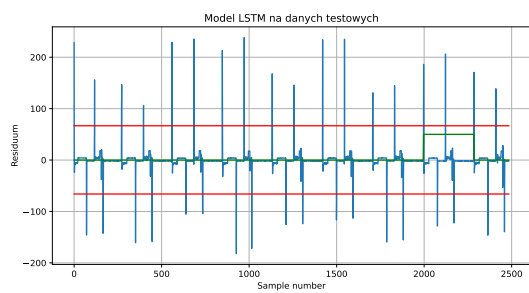
Rysunek 19: Histogram residuum modelu

Na podstawie zebranych danych residuum określono odchylenie standardowe i określono limita na ich 3-krotność wokół wartości średniej. Limity te przedstawił na rysunku 20.

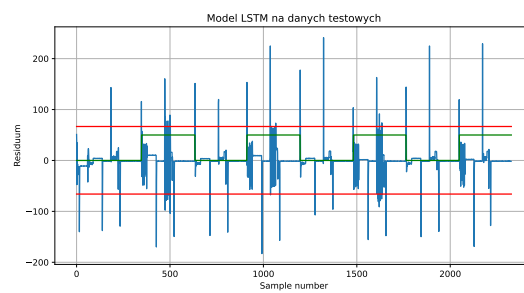


Rysunek 20: Limit residuum modelu

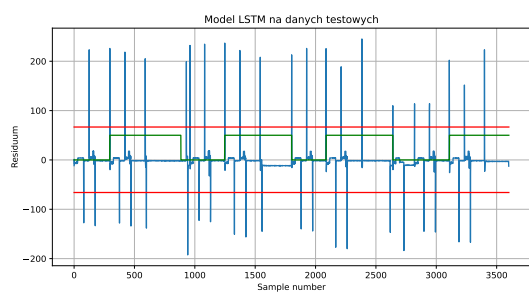
Model wraz z wnioskami o pseudopoprawnym residuum przetestowano dla wszystkich plików danych. Wyniki przedstawiono na rysunku 21.



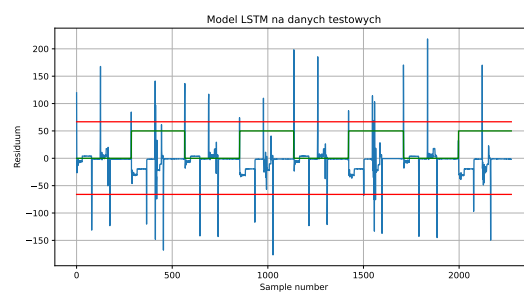
F1\_data



F2\_data



F3\_data



F4\_data

Rysunek 21: Residuum dla różnych przebiegów