



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**

Wydział Inżynierii  
Mechanicznej i  
Okrętownictwa



WYDZIAŁ INŻYNIERII  
MECHANICZNEJ  
I OKRĘTOWNICTWA

Imię i nazwisko autora rozprawy: Natalia Szewczuk-Krypa  
Dyscyplina naukowa: Inżynieria Mechaniczna

## ROZPRAWA DOKTORSKA

Tytuł rozprawy w języku polskim: **Metoda oceny wiarygodności pomiarów wpływających na jakość diagnostyki ciepło-przepływowej w energetyce**

Tytuł rozprawy w języku angielskim: **Method for assessing the reliability of measurements affecting the quality of thermal-fluid diagnostics in power generation**

Promotor

*podpis*

dr hab. inż. Jerzy Głuch

Gdańsk, rok 2021



**GDAŃSK UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY**

Faculty of Mechanical Engineering  
and Ship Technology



FACULTY OF  
MECHANICAL ENGINEERING  
AND SHIP TECHNOLOGY

The author of the PhD dissertation: Natalia Szewczuk-Krypa  
Scientific discipline: Mechanical Engineering

## DOCTORAL DISSERTATION

Title of PhD dissertation: **Method for assessing the reliability of measurements affecting the quality of thermal-fluid diagnostics in power generation**

Title of PhD dissertation (in Polish): **Metoda oceny wiarygodności pomiarów wpływających na jakość diagnostyki ciepłno-przepływowej w energetyce**

Supervisor
<i>Signature</i>
dr hab. inż. Jerzy Głuch

Gdańsk, year 2021





## OŚWIADCZENIE

Autor rozprawy doktorskiej: Natalia Szewczuk-Krypa

Ja, niżej podpisany(a), wyrażam zgodę na bezpłatne korzystanie z mojej rozprawy doktorskiej zatytułowanej:

Metoda oceny wiarygodności pomiarów wpływających na jakość diagnostyki ciepłno-przepływowej w energetyce

do celów naukowych lub dydaktycznych.<sup>1</sup>

Gdańsk, dnia .....

.....  
*podpis doktoranta*

Świadomy(a) odpowiedzialności karnej z tytułu naruszenia przepisów ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. z 2006 r., nr 90, poz. 631) i konsekwencji dyscyplinarnych określonych w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz. U. z 2012 r., poz. 572 z późn. zm.),<sup>2</sup> a także odpowiedzialności cywilno-prawnej oświadczam, że przedkładana rozprawa doktorska została napisana przeze mnie samodzielnie.

Oświadczam, że treść rozprawy opracowana została na podstawie wyników badań prowadzonych pod kierunkiem i w ścisłej współpracy z promotorem dr hab. inż. Jerzym Głuchem.

Niniejsza rozprawa doktorska nie była wcześniej podstawą żadnej innej urzędowej procedury związanej z nadaniem stopnia doktora.

Wszystkie informacje umieszczone w ww. rozprawie uzyskane ze źródeł pisanych i elektronicznych, zostały udokumentowane w wykazie literatury odpowiednimi odnośnikami zgodnie z art. 34 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych.

Potwierdzam zgodność niniejszej wersji pracy doktorskiej z załączoną wersją elektroniczną.

Gdańsk, dnia .....

.....  
*podpis doktoranta*

Ja, niżej podpisany(a), wyrażam zgodę na umieszczenie ww. rozprawy doktorskiej w wersji elektronicznej w otwartym, cyfrowym repozytorium instytucjonalnym Politechniki Gdańskiej, Pomorskiej Bibliotece Cyfrowej oraz poddawania jej procesom weryfikacji i ochrony przed przywłaszczeniem jej autorstwa.

Gdańsk, dnia .....

.....  
*podpis doktoranta*

<sup>1</sup> Zarządzenie Rektora Politechniki Gdańskiej nr 34/2009 z 9 listopada 2009 r., załącznik nr 8 do instrukcji archiwalnej PG.

<sup>2</sup> Ustawa z dnia 27 lipca 2005 r. Prawo o szkolnictwie wyższym: Rozdział 7 Odpowiedzialność dyscyplinarna doktorantów, Art. 226.





## STATEMENT

The author of the PhD dissertation: Natalia Szewczuk-Krypa

I, the undersigned, agree that my PhD dissertation entitled:  
Method for assessing the reliability of measurements affecting the quality of thermal-fluid  
diagnostics in power generation  
may be used for scientific or didactic purposes.<sup>1</sup>

Gdańsk,.....

.....  
*signature of the PhD student*

Aware of criminal liability for violations of the Act of 4<sup>th</sup> February 1994 on Copyright and Related Rights (Journal of Laws 2006, No. 90, item 631) and disciplinary actions set out in the Law on Higher Education (Journal of Laws 2012, item 572 with later amendments),<sup>2</sup> as well as civil liability, I declare, that the submitted PhD dissertation is my own work.

I declare, that the submitted PhD dissertation is my own work performed under and in cooperation with the supervision of dr hab. inż. Jerzy Głuch.

This submitted PhD dissertation has never before been the basis of an official procedure associated with the awarding of a PhD degree.

All the information contained in the above thesis which is derived from written and electronic sources is documented in a list of relevant literature in accordance with art. 34 of the Copyright and Related Rights Act.

I confirm that this PhD dissertation is identical to the attached electronic version.

Gdańsk,.....

.....  
*signature of the PhD student*

I, the undersigned, agree to include an electronic version of the above PhD dissertation in the open, institutional, digital repository of Gdańsk University of Technology, Pomeranian Digital Library, and for it to be submitted to the processes of verification and protection against misappropriation of authorship.

Gdańsk,.....

.....  
*signature of the PhD student*

---

<sup>1</sup> Decree of Rector of Gdansk University of Technology No. 34/2009 of 9<sup>th</sup> November 2009, TUG archive instruction addendum No. 8.

<sup>2</sup> Act of 27<sup>th</sup> July 2005, Law on Higher Education: Chapter 7, Criminal responsibility of PhD students, Article 226.





## OPIS ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

**Autor rozprawy doktorskiej:** Natalia Szewczuk-Krypa

**Tytuł rozprawy doktorskiej w języku polskim:** Metoda oceny wiarygodności pomiarów wpływających na jakość diagnostyki ciepłno-przepływowej w energetyce.

**Tytuł rozprawy w języku angielskim:** Method for assessing the reliability of measurements affecting the quality of thermal-fluid diagnostics in power generation.

**Język rozprawy doktorskiej:** język polski

**Promotor rozprawy doktorskiej:** dr hab. inż. Jerzy Głuch

**Data obrony:**

**Słowa kluczowe rozprawy doktorskiej w języku polski:** wiarygodność pomiarów, diagnostyka ciepłno-przepływowa, energetyka cieplna, niepewność pomiaru, algorytmy logiki rozmytej

**Słowa kluczowe rozprawy doktorskiej w języku angielskim:** reliability of measurements, thermal-fluid diagnostics, thermal energetics, measurement uncertainty, fuzzy logic

**Streszczenie rozprawy w języku polskim:**

W rozprawie doktorskiej podjęto problem uwiarygodnienia pomiarów wpływających na jakość diagnostyki ciepłno-przepływowej w energetyce. W pracy wykazano potrzebę rzetelnej informacji pozyskanej po przez pomiar parametrów, która jest niezbędna dla przeprowadzenia diagnozy badanego systemu. Jednocześnie zwrócono uwagę na zmienny charakter pracy systemów energetycznych, która wpływa na niestabilność pozyskanych danych, co prowadzi do zwiększenia niepewności pomiarowych badanych parametrów i może stać się źródłem potencjalnych błędów w ocenie systemu. W celu określenia rzetelności informacji pozyskanej z pomiarów ciepłno-przepływowych zaproponowano metodę oceny wiarygodności wielkości parametrów mierzonych systemu przemian energetycznych elektrowni kondensacyjnej. W przedstawionej metodzie zastosowano rozmyty system wnioskujący, który stworzono w oparciu o klasyczne, statystyczne podejście do oceny jakości pomiaru. Poza algorytmami logiki rozmytej (ang. fuzzy logic) wykorzystano również algorytm k-średnich (ang. C-means), w celu zapewnienia uniwersalności zaproponowanego rozwiązania. Zastosowano także algorytm A priori aby wskazać zależności między parametrami badanego systemu, co pozwoliło na pełną ocenę rzetelności danych pomiarowych. W rozprawie doktorskiej wykazano, że zaproponowana metoda pozwala na efektywną, obiektywną oraz rzetelną ocenę danych pomiarowych badanego systemu. Wykazano również uniwersalność metody, która odpowiednio dostrojona może zostać wykorzystana do oceny wiarygodności pomiarów pozyskanych nie tylko z bloków energetycznych, ale także innych obiektów przemysłowych.



### **Streszczenie rozprawy w języku angielskim:**

The dissertation addresses the problem of the reliability of the measurements that may affect the quality of thermal-fluid diagnostics in the power industry. The thesis demonstrates the need for reliable information obtained by measuring of the parameters, which is essential for carrying out the diagnosis of the system under study. At the same time, the variable nature of the operation of the power systems affects the instability of the obtained data. It leads to an increase in the measurement uncertainty of the examined parameters and may become a source of potential errors in diagnosis of the system. To determine the credibility of the information, a method for assessing of the measured parameters from a condensing power plant was proposed. The presented solution uses a fuzzy system, which was created based on the classical statistical approach in order to assess the quality of the measurements. In addition to fuzzy logic algorithms, the C-means algorithm was used to ensure the versatility of the proposed solution. An *a priori* algorithm was also used to indicate the relationships between parameters of the system under study, which allowed for a full detection of the measurement data reliability. The thesis shows that the presented method is a versatile approach. This means that after appropriate tuning, it can be used to determine the reliability of the measurement obtained not only from power units but also from other industrial facilities.



## DESCRIPTION OF DOCTORAL DISSERTATION

**The Author of the PhD dissertation:** Natalia Szewczuk-Krypa

**Title of PhD dissertation:** Method for assessing the reliability of measurements affecting the quality of thermal-fluid diagnostics in power generation.

**Title of PhD dissertation in Polish:** Metoda oceny wiarygodności pomiarów wpływających na jakość diagnostyki ciepłno-przepływowej w energetyce.

**Language of PhD dissertation:** polish

**Supervision:** dr hab. inż. Jerzy Głuch

**Date of doctoral defense:**

**Keywords of PhD dissertation in Polish:** wiarygodność pomiarów, diagnostyka ciepłno-przepływowa, energetyka cieplna, niepewność pomiaru, algorytmy logiki rozmytej

**Keywords of PhD dissertation in English:** reliability of measurements, thermal-fluid diagnostics, thermal energetics, measurement uncertainty, fuzzy logic

### Summary of PhD dissertation in Polish

W rozprawie doktorskiej podjęto problem uwiarygodnienia pomiarów wpływających na jakość diagnostyki ciepłno-przepływowej w energetyce. W pracy wykazano potrzebę rzetelnej informacji pozyskanej po przez pomiar parametrów, która jest niezbędna dla przeprowadzenia diagnozy badanego systemu. Jednocześnie zwrócono uwagę na zmienny charakter pracy systemów energetycznych, która wpływa na niestabilność pozyskanych danych, co prowadzi do zwiększenia niepewności pomiarowych badanych parametrów i może stać się źródłem potencjalnych błędów w ocenie systemu. W celu określenia rzetelności informacji pozyskanej z pomiarów ciepłno-przepływowych zaproponowano metodę oceny wiarygodności wielkości parametrów mierzonych systemem przemian energetycznych elektrowni kondensacyjnej. W przedstawionej metodzie zastosowano rozmyty system wnioskujący, który stworzono w oparciu o klasyczne, statystyczne podejście do oceny jakości pomiaru. Poza algorytmami logiki rozmytej (ang. fuzzy logic) wykorzystano również algorytm k-średnich (ang. C-means), w celu zapewnienia uniwersalności zaproponowanego rozwiązania. Zastosowano także algorytm A priori aby wskazać zależności między parametrami badanego systemu, co pozwoliło na pełną ocenę rzetelności danych pomiarowych. W rozprawie doktorskiej wykazano, że zaproponowana metoda pozwala na efektywną, obiektywną oraz rzetelną ocenę danych pomiarowych badanego systemu. Wykazano również uniwersalność metody, która odpowiednio dostrojona może zostać wykorzystana do oceny wiarygodności pomiarów pozyskanych nie tylko z bloków energetycznych, ale także innych obiektów przemysłowych.



### **Summary of PhD dissertation in English:**

The dissertation addresses the problem of the reliability of the measurements that may affect the quality of thermal-fluid diagnostics in the power industry. The thesis demonstrates the need for reliable information obtained by measuring of the parameters, which is essential for carrying out the diagnosis of the system under study. At the same time, the variable nature of the operation of the power systems affects the instability of the obtained data. It leads to an increase in the measurement uncertainty of the examined parameters and may become a source of potential errors in diagnosis of the system. To determine the credibility of the information, a method for assessing of the measured parameters from a condensing power plant was proposed. The presented solution uses a fuzzy system, which was created based on the classical statistical approach in order to assess the quality of the measurements. In addition to fuzzy logic algorithms, the C-means algorithm was used to ensure the versatility of the proposed solution. An *a priori* algorithm was also used to indicate the relationships between parameters of the system under study, which allowed for a full detection of the measurement data reliability. The thesis shows that the presented method is a versatile approach. This means that after appropriate tuning, it can be used to determine the reliability of the measurement obtained not only from power units but also from other industrial facilities.



# SPIS TREŚCI

Terminologia i oznaczenia.....	3
1. Wstęp .....	8
1.1. Motywacja .....	9
1.2. Cel pracy .....	14
1.3. Struktura pracy .....	17
2. Podstawowe założenia, pojęcia oraz definicje pomiaru i jego niepewności.....	19
2.1. Zagadnienie niepewności pomiaru.....	19
2.2. Pomiar w diagnostyce ciepłno-przepływowej .....	20
2.3. Eksploracja danych.....	22
3. Obiekt badań .....	23
3.1. Charakterystyka rzeczywistego obiektu .....	23
3.2. Opis modelu symulacyjnego.....	29
4. Metoda detekcji nieprawidłowego pomiaru .....	33
4.1. Znaczenie metody .....	33
4.2. Ilustracja metody oceny wiarygodności pomiarów.....	34
4.3. Charakterystyka danych rzeczywistych (ZBIORY PRÓBEK) .....	36
4.3.1 Selekcja .....	37
4.3.2 Ocena statystyczna pomiarów .....	42
4.3.3 Ustalenie oczekiwanych wartości parametrów na podstawie modelu symulacyjnego.....	46
4.4. Określenie zmiennych oraz przestrzeni lingwistycznych .....	53
4.4.1 Zmienna lingwistyczna: jakość pomiaru .....	53
4.4.2 Zmienna lingwistyczna: częstość wartości pomiaru .....	57
4.4.3 Baza reguł .....	64
4.4.4 Ustalenie reguł metodą k-średnich .....	66

4.4.5 Rola rozmytego systemu wnioskującego .....	68
4.4.6 Weryfikacja bazy reguł .....	72
4.5. Określenie relacji między zmiennymi za pomocą algorytmu A priori.....	73
5. Wyniki zastosowania metody oceny wiarygodności pomiarów .....	76
5.1. Ocena wiarygodności wartości mierzonych.....	77
5.1.1 Wariant I .....	78
5.1.2 Wariant II .....	87
5.1.3 Wariant III.....	98
5.1.4 Wnioski .....	108
5.2. Określenie zależności pomiędzy parametrami badanego obiektu.....	109
6. Wnioski końcowe.....	117
Bibliografia.....	122
Załącznik 1 .....	130
Załącznik 2 .....	137
Załącznik 3 .....	155
Załącznik 4 .....	158
Załącznik 5 .....	160
Załącznik 6 .....	166
Załącznik 7 .....	172

# TERMINOLOGIA I OZNACZENIA

*Poniżej przedstawiono oznaczenia, które występują w niniejszej pracy.*

*A - wejściowy zbiór rozmyty,*

*B - zbiór rozmyty powstały w wyniku wnioskowania,*

*C(A) - jądro zbioru rozmytego A,*

*d - wartość oczekiwana (referencyjna),*

*e(k) - funkcja kryterialna dla algorytmu k-średnich,*

*E - wartość lingwistyczna Expected,*

*F<sub>1</sub> - jednoelementowy zbiór częsty,*

*F<sub>2</sub> - dwuelementowy zbiór częsty,*

*F<sub>k</sub> - k-elementowy zbiór częsty,*

*FR - wartość lingwistyczna Frequent,*

*f(Δ<sub>p</sub>) - funkcja gęstości prawdopodobieństwa rozkładu błędów przypadkowych,*

*h(A) – wysokość zbioru rozmytego A,*

*j - liczba próbek w przedziale z<sub>i</sub>,*

*K<sub>k</sub> - k-ty klaster,*

*l - ilość przedziałów z<sub>i</sub>,*

*L<sub>a,b</sub>(x) - funkcja przynależności zbioru rozmytego klasy L,*

*L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> - wartość lingwistyczna Large,*

*m<sub>k</sub> –średnia klastra w przestrzeni euklidesowej,*

*M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> – wartość lingwistyczna Medium,*

*ṁ<sub>0</sub> - strumień masy pary świeżej,*

*ṁ - strumień masy,*

*ṁ<sub>wtr1</sub> - strumień masy wtrysku pierwotnego,*

$\dot{m}_{wtr2}$  - strumień masy wtrysku wtórnego,

$n$  - liczba pomiarów w serii,

$N$ -wartość lingwistyczna Normal,

$p$  - ciśnienie,

$p_0$  - ciśnienie pary świeżej,

$p_k$  - ciśnienie w kondensatorze,

$p_{odg_{const}}$  - ciśnienie w odgazowywaczu,

$p_{prz}$  - ciśnienie pary przegrzanej,

$p_{up}$  - ciśnienie pary w upuście zasilającym,

$P$  - moc systemu,

$PS$  - ciśnienie pary świeżej,

$P_{UP}$  - ciśnienie pary w upuście regeneracyjnym,

$R'$  - reguła rozmyta,

$RR$  – wartość lingwistyczna Rare,

$S_{a,b}(x)$  - funkcja przynależności zbioru rozmytego klasy  $s$ ,

$S(A)$  - nośnik zbioru rozmytego  $A$ ,

$t$  - temperatura,

$t_0$  - temperatura pary świeżej,

$t_n(p_{up})$  - temperatura nasycenia pary w upuście zasilającym,

$t_{prz}$  - temperatura pary przegrzanej,

$t_{s1}$  - temperatura kroplin na wyjściu wymiennika regeneracyjnego,

$t_{s2}$  - temperatura kroplin doprowadzonych kaskadowo z wymiennika poprzedzającego,

$t_{up}$  - temperatura pary w upuście zasilającym (na wlocie do wymiennika),

$t_{w1}$  - temperatura kondensatu na wlocie do wymiennika regeneracyjnego,

$t_{w2}$  - temperatura kondensatu na wylocie z wymiennika regeneracyjnego,

$T_{KON\_PRZED\_XN}$  - temperatura kondensatu przed wymiennikiem regeneracyjnym, niskoprężnym  $XN$ ,

$T_{KON\_ZA\_XN}$  - temperatura kondensatu za wymiennikiem regeneracyjnym, niskoprężnym  $XN$ ,

$T_{PS}$  - temperatura pary świeżej,

$T_{PR}$  - temperatura pary przegrzanej,

$T_{SKR\_XN}$  - temperatura skroplin z wymiennika regeneracyjnego, niskoprężnego  $XN$ ,

$T_{UP}$  - temperatura pary w upuście regeneracyjnym,

$T_{WCH}$  - temperatura wody chłodzącej,

$U$  - uniwersalny zbiór rozmyty,

$U_{a,b,c,d}(x)$  - funkcja przynależności zbioru rozmytego klasy  $U$ ,

$u(x)$  - niepewność standardowa wartości próbek,

$u_{b,c}(x)$  - funkcja przynależności zbioru rozmytego klasy  $u$ ,

$w$  - szerokość przedziału dla określenia częstości wystąpienia próbek w zbiorze,

$V_{a,b,c}(x)$  - funkcja przynależności zbioru rozmytego klasy  $V$ ,

$z_i$  -  $i$ -ty przedział przestrzeni parametru zbioru referencyjnego,

$X$  - wartość wielkości mierzonej,

$X_1, X_2$  - zmienne lingwistyczne wejściowe,

$XN$  - niskoprężny, regeneracyjny wymiennik ciepła,

$X_p$  - nieznaną, prawdziwą wartość mierzona,

$X_s$  - surowy wynik pomiaru,

$XW$  - wysokoprężny, regeneracyjny wymiennik ciepła,

$x_i$  - wynik kolejnych pomiarów w serii,

$x_{max}$  - wartość maksymalna wektora zmiennej,

$x_{min}$  - wartość minimalna wektora zmiennej,

$x(z_i)_{min}$  - wartość minimalna próbki z danego przedziału  $z_i$ ,

$x(z_i)_{max}$  - wartość maksymalna próbki z danego przedziału  $z_i$ ,

$\bar{x}$  - wartość średnia z serii pomiarów,

$\bar{X}_S$  - wartość średnia z nieskończonej liczby pomiarów tej samej wielkości,

$Y$  - zmienna lingwistyczna wyjściowa,

$\mathbf{Y}$  - przestrzeń danych wyjściowych,

$\bar{y}$  - ostra wartość wyjściowa,

$z_{a,b}(x)$  - funkcja przynależności zbioru rozmytego klasy  $z$ ,

$\alpha, \beta$  - istniejące zdania w logice rozmytej,

$\mu(x)$  - ciągła funkcja przynależności,

$\mu_A(x)$  - funkcja przynależności zbioru rozmytego  $A$ ,

$\mu_U(x)$  - funkcja przynależności rozmytego zbioru uniwersalnego,

$\mu_\emptyset(x)$  - funkcja przynależności rozmytego zbioru pustego,

$\pi_{a,b}(x)$  - funkcja przynależności zbioru rozmytego klasy  $\pi$ ,

$\sigma$  - odchylenie standardowe wartości próbek,

$v$  - częstość,

$v_{max}$  - częstość maksymalna,

$\omega$  - zmienna logiczna informująca o poziomie zmiennej  $x$ ,

$\Gamma_{a,b}(x)$  - funkcja przynależności zbioru rozmytego klasy  $\Gamma$ ,

$\Delta_d x$  - niepewność wzorcowania,

$\Delta_e x$  - niepewność eksperymentatora,

$\Delta_p x$  - błąd przypadkowy,

$\Delta_t x$  - niepewność wyników zaczerpniętych z literatury, tablic matematycznych,

$\Delta_p$  - wartość oczekiwana,

$\Delta t_f$  - spiętrzenie temperatur,

$\Delta t_i$  - przechłodzenie skroplin,

$\Delta X$  - błąd pomiaru,

$\hat{\Delta}_s x$  - błąd systematyczny,

$\Lambda_{a,b,c}(x)$  - funkcja przynależności zbioru rozmytego klasy  $\Lambda$ ,

$\Pi_{a,b,c,d}(x)$  - funkcja przynależności zbioru rozmytego klasy  $\Pi$ ,

$\emptyset$  - pusty zbiór rozmyty.

# 1. WSTĘP

Diagnostyka ciepłno-przepływowa jest gałęzią diagnostyki procesów przemysłowych, w której poddaje się ocenie rzeczywiste bloki energetyczne. Przedmiotem wspomnianej oceny jest określenie efektywności przemian energetycznych zachodzących w systemie. Na tej podstawie określa się stan maszyn oraz urządzeń ciepłych w systemie, w celu utrzymania obiektu w jak najlepszej sprawności.

Podstawą do przeprowadzenia diagnozy są pomiary parametrów badanego obiektu takie jak temperatura, ciśnienie, masowe natężenie przepływu czy też realizowana moc. Rzetelność i wiarygodność informacji zawartych w mierzonych parametrach ma znaczący wpływ na jakość przeprowadzonej diagnostyki ciepłno-przepływowej. Dlatego też ważnym jest, aby w trakcie oceny systemu posługiwać się pewnymi oraz miarodajnymi danymi.

Diagnostyka ciepłno-przepływowa dotyczy wszystkich instalacji ciepłych jednakże układy energetyczne z turbinami parowymi są sztandarowym przykładem systemów poddawanych ocenie tego typu. Należy mieć na uwadze, że zmienność pracy bloków energetycznych powoduje niestabilną pracę obiegu turbinowego i wynikającą stąd niestabilność pomiarów. Prowadzi to do zwiększenia niepewności pomiarowych co do wartości parametrów. Bezpośrednie wykorzystanie tego typu pomiarów w analizach diagnostycznych może stać się źródłem potencjalnych błędów w ocenie stanu badanego systemu. Dlatego tak ważnym jest aby odpowiednio określić wiarygodność dostępnego pomiaru.

Potrzeba rzetelnej informacji w diagnostyce ciepłno-przepływowej zapoczątkowała badania nad przedstawioną w rozprawie metodą oceny wiarygodności pomiarów parametrów bloku energetycznego. Ze względu na charakter parametrów pozyskanych z pomiarów dla elektrowni kondensacyjnej, na które wpływ mają liczne zakłócenia oraz niestacjonarna praca systemu klasyczne metody oceny wiarygodności pomiaru w tym przypadku są mało skuteczne. Dlatego też przedstawioną w pracy metodę oceny oparto o algorytmy wnioskowania rozmytego.

Przedstawiona metoda koresponduje z klasycznym podejściem oceny niepewności pomiaru opartym o metody statystyczne. Brak odniesienia w sposób „ostry” do wartości oczekiwanej mierzonego parametru pozwala na uwzględnienie wahań i fluktuacji wynikających z natury badanego systemu i jego eksploatacji. Takie podejście może wyeliminować niedoskonałości metod klasycznych, które oceniają pomiar według sztywno określonych reguł. Dzięki wprowadzeniu oceny pośredniej i określeniu pozyskanej wartości pomiaru jako podejrzanej (Suspect) podejście rozmyte pozwala na rozróżnienie próbek, które odbiegają od wartości uznanych za poprawne, ale których nie można zakwalifikować jako niewiarygodne.



## 1.1. Motywacja

Niewątpliwie pomiar jest nieoderwalnym elementem diagnozy i oceny jakości pracy maszyn i urządzeń. Początkowo zarówno technika wykonywania pomiarów jak i wykorzystywane w tym celu przyrządy były raczej prymitywne i niedoskonałe. Z biegiem czasu metody pomiarowe ewoluowały, co zdecydowanie poprawiło jakość uzyskiwanych rezultatów. W obecnych czasach szeroko pojęta metrologia obecna jest właściwie w każdej dziedzinie nauki oraz techniki [1].

W technice cieplnej, która jest głównym obszarem rozważań, wykonanie pomiarów szeregu wielkości fizycznych jest jedynym sposobem pozwalającym na określenie zjawisk, stanów oraz procesów zachodzących w różnych urządzeniach, maszynach, podsystemach oraz systemach cieplnych. W dziedzinach wchodzących w skład techniki cieplnej tj. termodynamika, wymiana ciepła oraz energetyka cieplna występuje konieczność pomiaru wielkości specyficznych i charakterystycznych dla tych dziedzin [2]. Z pomiarem nierozdzielnie związane jest pojęcie jego dokładności. Należy pamiętać, że zgodnie z podstawowym postulatem metrologii pomiary bezbłędne nie istnieją.

Pomiary wielkości cieplnych są istotnym elementem diagnostyki procesów przemysłowych. W ramach diagnostyki procesów można wyodrębnić diagnostykę cieplno-przepływową, która zajmuje się badaniem i oceną procesów przemian energetycznych. Jej głównym celem jest utrzymanie eksploatowanego obiektu w możliwie wysokiej i stałej sprawności [3]. Istotnym zadaniem diagnostyki jest również zapewnienie bezpiecznej eksploatacji obiektu mimo pewnych degradacji wynikających z eksploatacji. Założenia diagnostyki cieplno-przepływowej obiektów energetycznych różnią się od ogólnie przyjętych założeń diagnostyki technicznej. W tym przypadku nie ocenia się obiektu w kategorii zdatności [4]. Ocenie poddaje się możliwość bezpiecznego wykonania zadań przy pogorszonych parametrach sprawności, a więc określa się tak zwaną zdatność zadaniową [5]. Tego typu diagnozie poddaje się bloki energetyczne elektrowni czy też elektrociepłowni [6–13]. W tym przypadku diagnostyka cieplno-przepływowa pełni istotną rolę w strategii eksploatacji obiektów energetycznych. W zależności od zastosowanego typu strategii decyduje się o przeprowadzeniu remontów niezbędnych do utrzymania obiektów technicznych w stanie wysokiej sprawności.

Współcześnie zazwyczaj stosuje się jedną z trzech strategii: CBM (Condition Baised Maintenance), TLC (Total Lifecycle Costs strategy), TPM (Total Productive Maintenance). Strategia CBM uzależnia decyzję o remoncie obiektu na podstawie bieżącego stanu maszyn. TLC ma na celu eksploatację obiektu pozwalającą na zminimalizowanie życiowych kosztów funkcjonowania. Natomiast strategia TPM zorientowana jest na łączną produktywność [14]. Każda z tych strategii zmierza do wykonywania wyłącznie remontów uzasadnionych ekonomicznie. Aby takie podejście było możliwe i bezpieczne niezbędna jest wiarygodna informacja na temat stanu całego obiektu i jego elementów składowych pochodząca z systemów diagnostycznych.

Informację tą uzyskuje się na podstawie wykonanych pomiarów parametrów badanego obiektu.

Znaczenie pomiaru w diagnostyce cieplno-przepływowej bloków energetycznych elektrowni parowych podkreślone zostało w pracy [15]. Autorzy zwrócili uwagę na istotę poprawności pomiarów cieplno-przepływowych takich jak strumienie masy, ciśnienia, temperatury. Zwrócono również uwagę na trudności związane z kontrolą poprawności pozyskanych pomiarów. Autorzy zauważyli, że trudności te w dużej mierze wynikają ze specyfiki pracy bloku energetycznego. Bloki elektrowni parowych w warunkach pracy niestacjonarnej poddawane są wymuszeniom zewnętrznym oraz oddziaływaniom regulatorów wewnętrznych. W pracy zauważono również, że kontrola poprawności pomiaru może zostać utrudniona przez degradację urządzeń i torów pomiarowych w trakcie eksploatacji bloków energetycznych.

Wagę informacji dostarczanych przez czujniki pomiarowe w złożonych systemach energetycznych podkreślono również w pracach [16–18]. Zauważono, że bez rzetelnych informacji o stanie procesów zachodzących w elektrowni jądrowej nie jest możliwym zrealizowanie optymalnej kontroli i bezpiecznej eksploatacji. Autorzy zauważyli, że w przypadku układów jądrowych wiarygodność uzyskiwanych danych pomiarowych jest na tyle istotna, że powszechną praktyką stało się stosowanie czujników nadmiarowych. Redundancja mierników stosowana jest w przypadku najistotniejszych pomiarów z punktu widzenia bezpieczeństwa eksploatacji obiektu. Nadmiarowych pomiarów nie stosuje się dla wszystkich parametrów ze względu na znaczny wzrost kosztów instalacji spowodowanych dodatkowym oprzyrządowaniem. Dzięki czujnikom nadmiarowym możliwa jest weryfikacja poprawności wykonanych pomiarów i ewentualna eliminacja uszkodzonych czujników.

Problem dokładności pomiaru w podobny sposób ujęty został w pracach [19][20]. W tym przypadku autorzy również zwrócili szczególną uwagę na poprawność pomiaru jako podstawę diagnostyki cieplno-przepływowej. Ponadto autorzy przedstawili niepewność pomiarową w diagnostyce cieplno-przepływowej jako miarę błędu pomiarowego. W pracy przedstawiono zależność pomiędzy stanem pracy bloku energetycznego elektrowni parowej a zaistniałymi niepewnościami pomiaru. Zauważono, że w przypadku bloków energetycznych w trakcie pracy niestabilizowanej cieplnie, niepewności pomiarowe są zdecydowanie większe niż w przypadku bloków ustabilizowanych cieplnie. Wpływa to na wiarygodność diagnozy. Diagnoza cieplno-przepływowa w przypadku pracy niestabilnej obciążona jest zdecydowanie większym błędem.

Istotę dokładności pomiaru w energetyce cieplnej poruszono również w publikacjach [21][22]. Autorzy zauważyli, że wiarygodne informacje są podstawą systemu kontroli pracy bloku energetycznego. Zauważono, że błędy pomiarów wynikające z miejsca zainstalowania czujników i ich klasy dokładności, z błędów przetworników i liczników wpływają na wiarygodność wyników obliczeń wskaźników eksploatacyjnych. Tak więc, aby w sposób rzetelny określić wskaźniki eksploatacyjne pracy bloku elektrowni parowej, takie jak sprawność czy zużycie paliwa w kotle, należy posługiwać się miarodajnymi pomiarami, które zostały poddane procedurze uwiarygodnienia.

Na problem jakości pomiaru zwrócono uwagę również w pracy [23]. Autorzy opisali zależność pomiędzy niepewnością pomiarową, a diagnozą stanu urządzeń pracujących w elektrowni jądrowej. W pracy przedstawiono metodę przewidywania degradacji rurek wytwornicy pary pracującej w obiegu parowej elektrowni jądrowej. Metodę oparto o pomiary eksploatacyjne. W studium przypadku przedstawiono jak rezultaty prognozy przyszłych degradacji i idących za tym możliwych awarii urządzenia różnią się w zależności od jakości danych pomiarowych. Przedstawiono wpływ niepewności danych pomiarowych na ostateczną prognozę. Autorzy zwrócili również uwagę na trudności związane z określeniem niepewności pomiaru.

Analiza dokładności pomiarów jest jednym z kluczowych problemów, z jakimi mierzy się współczesna metrologia. Zagadnienie to jest ważne, ponieważ decyduje o porównywalności, wiarygodności oraz użyteczności wyników. Analiza dokładności wielkości mierzonych jest zadaniem trudnym, charakteryzującym się dużą złożonością [24]. Niepewność pomiarowa, której nie da się wyeliminować, w dużej mierze wpływa na rzetelność informacji, co bezpośrednio przekłada się na jakość diagnozy cieplno-przepływowej całego systemu. Odpowiednia metoda oceny niepewności pomiarowej oraz jej wpływu na charakter informacji dostarczanych do systemu diagnostycznego jest podstawą wszystkich działań mających na celu eksploatację obiektu z jak najlepszą sprawnością.

Narzędziem matematycznym, które obecnie najpowszechniej wykorzystywane jest w praktyce opisu pomiaru oraz jego niepewności jest teoria prawdopodobieństwa [25]. Na teorii tej oparto współczesną praktykę pomiarową, również do niej w dużej mierze odwołuje się powszechnie respektowany przewodnik ISO. Podejście probabilistyczne wydaje się być najbardziej naturalnym i słusznym w przypadku opisu zdarzeń wysoce losowych. Jednakże zauważono również mankamenty tego podejścia. W przypadku, kiedy błędy losowe nie przeważają nad błędami systematycznymi podejście probabilistyczne może prowadzić do niepoprawnej oceny niepewności pomiaru. W przypadku złożonego systemu, w którym na błąd pomiaru wpływa wiele czynników, tradycyjne podejście do oceny niepewności może być kłopotliwe. Podejście probabilistyczne może okazać się również niemożliwe w przypadku, kiedy relacja pomiędzy wielkością mierzoną a innymi parametrami wpływającymi na tę wielkość jest niemożliwa do ustalenia lub jest zbyt skomplikowana.

W literaturze spotyka się również niekonwencjonalne podejście do problemu niepewności pomiaru. Coraz częściej metody oceny niepewności pomiarowych opierają się na narzędziach wspieranych metodami sztucznej inteligencji. Konwencjonalne narzędzia matematyczne pozwalają na przetwarzanie danych precyzyjnych, natomiast rzeczywiste obserwacje w dużej mierze opierają się na nieprecyzyjnych, niepewnych lub niepełnych informacjach (zestawach danych). Dane o takim charakterze są w dużej mierze wykorzystywane w praktyce przemysłowej. W procesach przemysłowych występują zakłócenia oraz szumy pomiarowe, które obarczają dane pomiarowe błędami [26]. Bardzo często z punktu widzenia matematyki klasycznej, taka informacja jest bezużyteczna, co znacznie ogranicza skuteczność oraz efektywność wielu metod: projektowania, sterowania, modelowania czy też prognozowania. Ograniczenia te dotyczą w szczególności systemy, w których informacja nieprecyzyjna jest jedyną dostępną przesłanką opisującą stan systemu [19][20]. Powstała w latach 60 teoria zbiorów rozmytych [29] stwarza możliwość opisu informacji nieprecyzyjnej czy też niejednoznacznej [30]. Przedstawiona teoria definiuje ideę matematycznego zapisu

wartości lingwistycznych i liczb rozmytych stosowanych w języku potocznym [28]. Dzięki czemu możliwe jest pełniejsze i znacznie bardziej naturalne matematyczne przedstawienie zjawisk występujących w otaczającym świecie [31][32].

Innowacyjne podejście do problemu określenia niepewności pomiaru przy wykorzystaniu zmiennych losowo-rozmytych (ang. *Random-Fuzzy Variables*; RFV) przedstawiono w pracy [33]. Zaproponowano metodę wyznaczania niepewności zgodną z rekomendowaną przez normy ISO [34], choć opartą o inne narzędzia matematyczne. Przedstawiono podejście oparte o zmienne losowo-rozmyte (ang. *Random-Fuzzy Approache*). Proponowane rozwiązanie jest bardziej efektywne niż tradycyjne ujęcie niepewności pomiarów za pomocą metod statystycznych. Uznano, że dzięki teorii zbiorów rozmytych można określić przedziały ufności dla uzyskanych wyników pomiarów, dzięki czemu podejście przedstawione w artykule koresponduje z zaleceniami wspomnianego przewodnika ISO. W przedstawionej pracy autorzy zastosowali zaproponowaną metodę do przedstawienia niepewności pomiaru napięcia i natężenia prądu.

Podobne podejście do problemu opisu niepewności pomiaru przedstawione zostało w pracach [35][36]. W tym przypadku również zauważono potencjał zbiorów rozmytych. Autorzy również zwrócili uwagę na fakt zgodności zaproponowanej metody z podejściem rekomendowanym w przewodniku ISO. W pracy zauważono, że rozmyty opis niepewności pomiaru może okazać się przydatny w zastosowaniach diagnostycznych. Szczególnie w przypadku systemów, w których ocenie poddaje się zarówno informacje numeryczne jak i dane symboliczne. Według autorów metody oceny niepewności oparte o zmienne losowo-rozmyte mogą być szczególnie użyteczne w przypadku nieprecyzyjnych pomiarów i oszacowań spowodowanych niedoskonałością ludzkich zmysłów i percepcji zjawisk.

W pracach [24][34]–[36] autorzy zauważyli, że statystyczne czy też probabilistyczne metody oceny niepewności mają pewne ograniczenia, których nie wykazują metody oparte o teorię zmiennych losowo-rozmytych. W publikacjach, jako główną zaletę takiego podejścia określa się możliwość odpowiedniego uwzględnienia błędów systematycznych w ocenie niepewności pomiaru. Jest to szczególnie istotny aspekt w przypadku zastosowań przemysłowych, w których błędy systematyczny często w znaczący sposób wpływają na proces pomiarowy.

Metodę szacowania niepewności pomiaru opartą o zmienne losowo-rozmyte wykorzystano również w publikacji [40]. W tym przypadku autorzy wykorzystali wspomnianą metodę do określenia niepewności pomiaru właściwości mechanicznych materiału. Badano niepewność pomiaru twardości oraz sprężystości materiału. W artykule zauważono, że metoda oparta o zmienne losowe pozwala oszacować nie tylko niepewności wynikające ze zdarzeń losowych wpływających na jakość pomiaru, ale także te wynikające z błędów systematycznych. Wyniki oszacowania niepewności pomiaru porównano z wynikami uzyskanymi na podstawie metod tradycyjnych. Rezultaty określono jako porównywalne.

W literaturze pojawiają się również metody oparte na algorytmach logiki rozmytej służące bezpośrednio do oceny poprawności, użyteczności czy też wiarygodności pomiarów. Metody te pozwalają na wyodrębnienie danych rzetelnych, które stają się podstawą zarówno do monitorowania jak i diagnozy stanu systemu.

W pracy [17] wykorzystano algorytmy logiki rozmytej w celu wykrycia uszkodzeń przyrządów pomiarowych elektrowni jądrowej. W artykule opisano metodę uwierzytelniania danych pochodzących z systemów pomiarowych z dwoma lub trzema nadmiarowymi czujnikami. Bazując na odchyleniach parametru mierzonego określonych pomiędzy poszczególnymi parami czujników nadmiarowych oraz częstotliwości występowania danych odchyłeń stworzono system wnioskowania rozmytego klasyfikujący wiarygodność pomiaru. Przedstawiony system rozpoznaje poprawne oraz niepoprawne wartości parametrów mierzonych. Istotną cechą przedstawionej metody jest również możliwość detekcji stanów podejrzanych wymagających dalszej obserwacji. W pracy zwrócono uwagę na istotną zaletę metod detekcji nieprawidłowości pomiarów bazujących na logice rozmytej. W przeciwieństwie do metod opartych na matematyce klasycznej systemy rozmyte są w stanie rozpoznawać stany pośrednie. Cecha ta jest szczególnie istotna w systemach stosowanych do uwierzytelniania pomiarów w systemach energetycznych, które ze względu na wspomniane strategie eksploatacji nie zawsze pracują w stanie pełnej zdatności.

O potrzebie metody uwiarygodniającej pomiar wspomniano również w pracy [16]. W artykule zauważono, że uwiarygodnienie poprawności wykonywanych pomiarów ma fundamentalne znaczenie dla bezpieczeństwa i efektywności eksploatacji systemów i urządzeń. W pracy również przedstawiono metodę uwierzytelnienia pomiarów nadmiarowych opartą o logikę rozmytą. Autorzy zwrócili uwagę, że podejście rozmyte eliminuje niedoskonałości metod klasycznych, które oceniają pomiar w „ostry” sposób. Podejście klasyczne, które poddaje ocenie mierzoną wielkość według sztywno określonych reguł, może powodować pominięcie stanu alarmowego lub też powodować niepotrzebne alarmy w systemie [41]. Podejście rozmyte poprzez wprowadzenie pośredniego stanu „podejrzanego” niweluje ten mankament klasycznych rozwiązań. Do zalet metody detekcji poprawności pomiaru opartej o algorytmy rozmyte zaliczono również uniwersalność. Przedstawiona metoda bazująca na różnicach pomiędzy parametrami i częstotliwością występowania tych różnic może zostać wykorzystana do oceny poprawności każdej zmiennej stanu mierzonej w danym systemie. W pracy zauważono, że opracowana metoda jest w stanie wykryć zarówno natychmiastowe awarie czujników pomiarowych, jak i długoterminowe pogarszanie jakości pomiaru.

Algorytmy logiki rozmytej w pracach [40][41] z powodzeniem wykorzystano do oceny wiarygodności pomiarów wykonanych dla sieci elektroenergetycznej. W artykule zauważono, że w przypadku systemów elektroenergetycznych tak samo jak w systemach elektrowni wiarygodna informacja jest podstawą monitoringu systemu. Sieci energetyczne w znacznym stopniu uzależnione są od czujników pomiarowych i informacji z nich pochodzących. W pracy zauważono, że dane pozyskane dla systemów elektroenergetycznych charakteryzują się dużą niepewnością. Dlatego też zauważono potrzebę stworzenia rzetelnej metody oceny wiarygodności informacji. Autorzy w zaproponowanej metodzie do oceny poprawności pomiaru wykorzystali dane z wielu źródeł. Dane te zwyczajowo dostępne są dla operatorów, jednak ich charakter oraz ilość powodują, że ocena operatora staje się wysoce subiektywna i zależna od sytuacji, poza tym wymaga czasu. Dlatego też zastosowano algorytmy logiki rozmytej, aby połączyć wiedzę i doświadczenie operatorów z możliwościami szybkiego przetwarzania informacji w systemach komputerowych. Stworzono Hybrydowy Rozmyty System Klasyfikujący (*ang. hybrid fuzzy classifier system (HFCS)*), którego

zdaniem jest połączenie informacji z wielu domen w celu wykrywania błędnych pomiarów. System bazując na takich informacjach jak odchylenie standardowe, niezawodność czujników, relatywny wiek przyrządów mierniczych czy trendy historyczne ocenia czy informacje pozyskane z poszczególnych mierników można uznać za poprawne, niepoprawne, wymagające natychmiastowej inspekcji, czy też wymagające obserwacji.

W obliczu potrzeby rzetelnej informacji w diagnostyce ciepłno-przepływowej maszyn i urządzeń pożądaną jest metoda oceny wiarygodności dostępnych pomiarów. Ze względu na specyfikę pracy elektrowni kondensacyjnej, w której występują liczne fluktuacje parametrów spowodowane zakłóceniami czy też niestacjonarną pracą systemu narzędzia oparte o klasyczne metody oceny niepewności pomiaru mogą okazać się nieskuteczne. Stąd też idea zastosowania algorytmów logiki rozmytej. Opierając się na klasycznej wiedzy na temat pomiaru oraz jego niepewności algorytmy logiki rozmytej mogą pomóc w uwiarygodnieniu pomiarów. Brak odniesienia do wartości ostrych oraz mniej skonkretyzowane podejście do wartości oczekiwanej pozyskanej na drodze pomiaru pozwala na uwzględnienie wahań mierzonych wartości, które nie muszą oznaczać błędu pomiaru, ale specyfikę mierzonych parametrów.

## 1.2. Cel pracy

Ciężar badań dotyczących detekcji poprawności pomiarów skupiono wokół wymienników regeneracyjnych niskoprężnych (XN4, XN3, XN2), które są istotnymi elementami systemu elektrowni kondensacyjnej. Wymienniki regeneracyjne stosowane są w kondensacyjnych blokach parowych w celu poprawy ich sprawności. Jest to standardowe rozwiązanie powszechnie używane zarówno w układach małych jak i dużych mocy. Liczba wymienników w układzie jest dobierana indywidualnie ze względu na moc oraz parametry bloku energetycznego. Zadaniem wspomnianych urządzeń jest podgrzanie wody zasilającej kocioł parowy. Do podniesienia temperatury kondensatu w wymienniku wykorzystuje się parę zaczepową, wyprowadzoną upustem regeneracyjnym z kadłuba turbiny [44][45]. Para zaczepowa pobierana jest z głównego strumienia czynnika przepływającego przez kadłuby turbiny. Pamiętając o tym, że przepływ czynnika przez stopnie turbiny decyduje o jej mocy można powiedzieć, że praca wymienników regeneracyjnych niebezpośrednio, ale znacząco wpływa na moc obiegu elektrowni turboparowej i współdecyduje o sprawności takiego bloku. Należy również wspomnieć, że upusty regeneracyjne zasilające wymienniki mają istotne znaczenie dla kontroli pracy bloku energetycznego. Ze względu na trudności związane z bezpośrednim pomiarem parametrów czynnika roboczego przepływającego przez stopnie turbiny pomiary tych parametrów wykonywane są właśnie w upustach regeneracyjnych. Na podstawie wielkości mierzonych uzyskanych w ten sposób określa się przybliżony przebieg ekspansji pary w kadłubie turbiny, co jest podstawą do określenia poprawności pracy układu oraz jego bieżącej kontroli. Z tego właśnie względu relacja pomiędzy wiarygodnymi pomiarami parametrów opisujących pracę

wymienników regeneracyjnych, a rzetelną diagnozą sprawnościową systemu jest doskonałym przykładem tego jak informacja wpływa na ocenę elementów systemu.

W celu opracowania metody oceny wiarygodności pomiarów wpływających na jakość diagnostyki ciepłno-przepływowej w energetyce kierowano się następującymi kryteriami:

1. Metoda oceny pomiaru powinna wykrywać błędy pomiaru uwzględniając jednocześnie naturę i charakter ocenianego pomiaru.
2. Przedstawiona metoda powinna być uniwersalna.
3. Metoda powinna być użyteczna dla oceny pomiarów, co najmniej w trakcie pracy układu w tak zwanym stanie ustalonym.
4. Metoda oceny pomiaru powinna sprawdzać się nie tylko w obszarze obciążeń nominalnych, ale także w przypadku pracy bloku z mocą różną od projektowej.
5. Przedstawiona metoda nie może wykazywać podatności na uszkodzenia czujników w trakcie pracy układu w stanach nieustalonych lub w trakcie przechodzenia pomiędzy stanami ustalonymi.
6. Zaproponowana metoda będzie metodą typu off line.

Ocena indywidualnego pomiaru ma na celu wskazać czy zmierzona wartość danego parametru może zostać uznana za wiarygodną i zostać uwzględniona w procesie diagnostycznym. Do oceny poprawności pomiaru pojedynczego parametru nie uwzględnia się zależności pomiędzy parametrami systemu. Ocenie poddaje się zarówno pomiary zmiennych niezależnych jak i zmiennych zależnych. Jednocześnie metoda oceny powinna uwzględniać charakter pomiaru. Naturalne fluktuacje wartości mierzonych parametrów wynikające z eksploatacji badanego bloku nie powinny rzutować na ocenę poprawności pomiaru. Pomimo wahań wartości mierzonych wynikających z charakteru pracy układu metoda powinna być czuła na błędne wartości pomiarów, oraz na błędy pomiarowe wynikające z braku kalibracji przyrządów pomiarowych.

Uniwersalność metody powinna przejawiać się w możliwości wykorzystania jej dla oceny każdego typu pomiaru (pomiar ciśnień, temperatur, strumieni mas, itp.) wykonywanego w badanym bloku. Oczywiście pewne założenia, co do zakresów pomiarów poprawnych i reguł stanowiących o wyniku oceny pomiaru powinny zostać dobrane i zweryfikowane odpowiednio do każdego typu pomiaru indywidualnie. Podejście takie wymagane jest ze względu na zmienny charakter każdego z typu uwzględnionych pomiarów, o którym wspomniano w punkcie 1.

Zakłada się, że przedstawiona metoda będzie pozwalała na ocenę pomiarów zebranych w trakcie pracy układu w stanie ustalonym. Metoda będzie odnosiła się do danych referencyjnych, określonych dla układu eksploatowanego przy stałym obciążeniu oraz dla ustabilizowanych cieplnie parametrów (Rozdział 4.3), jako wielkości uważanych zasadniczo za wartość pomiaru poprawnego.

Przedstawiona metoda dzięki wykorzystaniu modelu symulacyjnego stworzonego w programie DIAGAR (Rozdział 3.2) pozwoli na ocenę pomiarów zebranych w stanach obciążeń innych niż obciążenia nominalne. Model symulacyjny w tym przypadku posłuży do określenia wartości parametrów uznanych za wzorcowe (referencyjne) dla pomiarów zebranych w trakcie eksploatacji bloku z obciążeniem różnym od nominalnego.

Metoda oceny niepewności pomiaru nie powinna być podatna na ewentualne uszkodzenia czujników pomiarowych w trakcie zmiany stanu obciążenia lub w trakcie pracy w stanie nieustalonym. W tym przypadku należy wziąć pod uwagę możliwość wystąpienia nagłego uszkodzenia lub rozkalibrowania się przyrządów pomiarowych. W tym celu ponownie wykorzystany zostanie model symulacyjny stworzony w programie DIAGAR, który w chwili osiągnięcia przez układ nowych warunków pracy, związanych ze zmianą obciążenia bloku, pozwoli na zgrubne określenie, czy pomiar nie uległ uszkodzeniu w niedalekiej przeszłości.

Ze względu na deficyt istniejących modeli pozwalających na wystarczająco dokładne określenie parametrów referencyjnych badanego obiektu w trybie on-line, co zostało wykazane w pracy [46], przedstawiona metoda nie pozwoli na bieżącą ocenę poprawności pomiarów już w trakcie ich akwizycji. Ograniczenie to wynika z konieczności dostrojenia modelu symulacyjnego do warunków eksploatacyjnych, w których dokonano procedury pomiaru. Można jednak przyjąć, że wraz ze wzrostem doświadczenia w przeprowadzaniu procedury dostrajania modelu symulacyjnego do warunków pracy bloku czas oceny pomiaru ulega skróceniu.

Studium wyżej wymienionych problemów i ograniczeń przy pozyskiwaniu poprawnych wyników pomiarów w złożonych systemach przemysłowych pozwoliło na sformułowanie głównego **celu pracy kwalifikacyjnej**.

**Celem głównym** jest opracowanie i opisanie uniwersalnej i efektywnej metody oceny wiarygodności pomiarów systemu przemian energetycznych elektrowni kondensacyjnej. Pozytywny wynik pracy jest przesłanką do tworzenia w niedalekiej przyszłości jeszcze bardziej ogólnych metod oceny wiarygodności pomiarów dowolnych, złożonych systemów przemysłowych.

W pracy podjęto próbę określenia stopnia wiarygodności informacji, która jest pozyskiwana w trakcie eksploatacji obiektu i przekazywana do systemu diagnostyki. W badaniach nie podjęto wprost problemu diagnostyki ciepłno-przepływowej systemu. Meritum pracy skoncentrowano wokół zagadnień rzetelnej oceny wiarygodności pomiarów. Należy jednak pamiętać, że rzetelne informacje, pozyskane dzięki pomiarom parametrów systemu są podstawą wiarygodnej diagnostyki ciepłno-przepływowej systemów energetycznych.



## 1.3. Struktura pracy

Praca została podzielona na 6 głównych rozdziałów.

W rozdziale pierwszym opisano zagadnienie pomiaru w diagnostyce ciepłno-przepływowej, wskazując problemy z jakimi mierzy się współczesna metrologia. Przedstawiono również odniesienia do literatury opisujące problematykę diagnostyki ciepłno-przepływowej. W rozdziale pierwszym zaprezentowano również przegląd propozycji oceny niepewności pomiarowych w systemach energetycznych opisanych przez innych badaczy. W tej części pracy przedstawiono również jej cel oraz założenia dotyczące badań przeprowadzonych nad omawianą metodą oceny wiarygodności pomiarów w diagnostyce ciepłno- przepływowej.

W rozdziale drugim opisano podstawowe założenia pojęcia oraz definicje, z których czerpano w trakcie badań nad omawianą metoda. Rozdział ten podzielono na cztery zasadnicze części. W pierwszej z nich zaprezentowano zagadnienie pomiaru jego dokładności, błędu oraz niepewności. Przedstawiono zasady wykorzystania definicji, wyjaśnienia oraz opisy matematyczne wspomnianych zagadnień (Załącznik 1).

W części drugiej skupiono się na zasadach wyznaczania niepewności pomiarowych. Przedstawiono metody określania niepewności standardowych typu A oraz typu B. Wyjaśniono specyfikę obu typów niepewności. Przedstawiono również warunki, w jakich dana niepewność standardowa może zostać wyznaczona (Załącznik 1). W części trzeciej odniesiono się do znaczenia pomiaru w diagnostyce ciepłno-przepływowej. Przedstawiono wagę rzetelnej informacji w systemach diagnostycznych. W ostatniej, czwartej części rozdziału opisano narzędzia eksploracji danych, którymi posłużono się w celu opracowania przedstawionej metody oceny wiarygodności pomiaru (Załącznik 2).

W rozdziale trzecim skupiono się na obiekcie badań. W części tej przedstawiono charakterystykę elektrowni kondensacyjnej, dla której zebrano pomiary wykorzystane w przedstawionym badaniu nad opracowaną metodą oceny. W rozdziale przedstawiono również parametry opisujące pracę badanego bloku oraz pracę wymienników regeneracyjnych branych pod uwagę w dalszych badaniach. W części tej zaprezentowano również wykorzystanie wyników obliczeń modelu symulacyjnego w programie DIAGAR. Przedstawiono także ich rolę w przeprowadzonych badaniach.

Oryginalne rezultaty pracy zostały zawarte w rozdziale czwartym oraz piątym. Rozdział czwarty poświęcono na opis metody detekcji pomiaru uznanego za nieprawidłowy. Rozdział ten został podzielony na cztery zasadnicze części. W pierwszej z nich przedstawiono znaczenie metody ze względu na charakter danych pozyskiwanych z bloków elektrowni parowych. W części drugiej dokonano charakterystyki oraz analizy zbiorów danych rzeczywistych biorących udział w badaniach. W tej części opisano metodykę selekcji oraz doboru parametrów. Przedstawiono również ocenę statystyczną zebranych próbek oraz sposób, w jaki ustalono wartości oczekiwane badanych parametrów. Badania nad danymi opisane w tej

części zostały wykorzystane w kolejnych etapach tworzenia metody oceny wiarygodności pomiaru. W podrozdziale trzecim opisano metodykę tworzenia rozmytego systemu wnioskującego będącego podstawą przedstawionych badań. W części tej opisano, w jaki sposób zdefiniowane zostały zmienne lingwistyczne oraz ich przestrzenie. Poza tym przedstawiono jak sposób utworzenia oraz weryfikacji bazy reguł dla tworzonego rozmytego systemu wnioskującego. Następnie opisano rolę przedstawionego systemu w metodzie oceny wiarygodności pomiaru. W ostatniej części rozdziału czwartego zaprezentowano algorytm A priori, który wykorzystano w trakcie badań w celu określenia występowania relacji pomiędzy parametrami niezależnymi bloku a parametrami zależnymi opisującymi prace wymienników regeneracyjnych.

Rozdział piąty poświęcono na przedstawienie rezultatów uzyskanych dzięki stworzonej metodzie oceny wiarygodności pomiarów. Przedstawiono wyniki dla trzech reprezentatywnych wariantów wykonanych badań. W wariacie pierwszym zaprezentowano ocenę wiarygodności pomiarów zebranych w trakcie pracy bloku w stanie ustalonym z obciążeniem bliskim nominalnemu (ok. 190MW). W wariacie drugim przedstawiono rezultaty oceny pomiarów dla systemu pracującego w stanie ustalonym w przypadku chwilowych wahań obciążenia. W wariacie trzecim zaprezentowano ocenę parametrów zmierzonych w trakcie zmiany stanu obciążenia badanej elektrowni kondensacyjnej. Poza rezultatami uzyskanymi na podstawie zaprezentowanej metody oceny wiarygodności pomiarów w rozdziale piątym przedstawiono również wyniki działania algorytmu A priori. Na podstawie wyników dokonano analizy zaistniałych relacji pomiędzy parametrami w systemie.

W rozdziale szóstym dokonano podsumowania przeprowadzonych badań oraz uzyskanych wyników, na podstawie którego wysnuto wnioski końcowe. W tej części pracy wskazano również oryginalne rezultaty przeprowadzonych badań.

## 2. PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA, POJĘCIA ORAZ DEFINICJE POMIARU I JEGO NIEPEWNOŚCI

W rozdziale przedstawiono zagadnienia związane z pomiarem i jego niepewnością. Teorię, podstawowe założenia, pojęcia oraz definicje odnoszące się do wspomnianych zagadnień omówiono odwołując się do (Załącznik 1). W tej części pracy opisano również znaczenie pomiaru w diagnostyce cieplno-przepływowej dla obiektu ustabilizowanego oraz niestabilizowanego cieplnie. W rozdziale tym odwołując się do Załącznik 2 przedstawiono także pojęcia odnoszące się do eksploracji danych. Opisano, w jaki sposób należy dokonać wstępnej obróbki, standaryzacji oraz normalizacji danych biorących udział w przedstawionych badaniach. Przytoczono również pojęcia i definicje zbiorów rozmytych, a także wiedzę na temat rozmytego systemu wnioskującego, która jest fundamentem przedstawionej metody oceny wiarygodności pomiarów. Przywołano narzędzia wykorzystane w trakcie prac nad przedstawioną metodą niezbędne do grupowania danych (Algorytm k-średnich) oraz do określenia zależności pomiędzy parametrami badanego systemu (Algorytm A priori). Szersze wyjaśnienia możliwości zastosowania wymienionych pojęć zamieszczono w Załącznik 2.

### 2.1. Zagadnienie niepewności pomiaru

W sposób ogólny pojęcie pomiaru można określić jako ilościowe wyznaczenie pożądanej cechy zjawiska, ciała lub procesu na drodze eksperymentu [47]. Pomiarom nazywamy czynności, po których wykonaniu możemy stwierdzić, że w chwili pomiaru dokonanego w określonych warunkach, przy zastosowaniu takich to środków i wykonaniu takich to czynności, wielkość mierzona  $x$  miała wartość  $a \leq x \leq b$ . Dokładna albo inaczej "prawdziwa" wartość jest nieznaną, obarczoną niepewnością. Niepewności są określane z reguły zależnościami algebraicznymi. Te są zdefiniowane i opisane w Załącznik 1. Odnosi się to do wykorzystywanych w dalszej części pracy kwalifikacyjnej pojęć związanych z definicją **pomiaru**. Uściślono to dalej zależnościami określającymi **dokładność pomiaru** i wynikającymi z tego relacjami dla **błędu pomiaru** i **niepewności pomiaru**. W dalszej części pracy wykorzystane będą streszczone w Załącznik 1 metody: **wyznaczania niepewności standardowych typu A** i **wyznaczania niepewności standardowych typu B**.

## 2.2. Pomiar w diagnostyce ciepłno-przepływowowej

Wartości parametrów niezbędnych dla diagnostyki ciepłno-przepływowowej pozyskiwane są z pomiarów. Za dostępność pomiarów dla podsystemów diagnostyki odpowiada podsystem monitoringu. Pozyskane dzięki temu podsystemowi wartości pomiarowe reprezentują najważniejsze parametry opisujące stan bloku energetycznego. Parametry te reprezentują przepływy, ciśnienia, temperatury i wybrane moce charakteryzujące przemiany energetyczne zachodzące w eksploatowanym systemie.

Pozyskane dane pomiarowe muszą być wiarygodne, aby można było uznać ich użyteczność dla wykonywanych zadań diagnostyki ciepłno-przepływowowej. Wiarygodność ta zależy od następujących czynników:

- jakości czujnika,
- jakości toru pomiarowego i systemu przetworników,
- jakości systemu archiwizacji wyników pomiarów,
- lokalizacji czujników w schemacie obiegu,
- lokalizacji czujników względem elementów konstrukcyjnych turbiny i innych urządzeń obiegu ciepłego.

Oczywiste jest, że jakość czujnika będzie znacznie wpływała na jakość wyników pomiaru. W praktyce pomiarowej stosuje się nadmiarowe czujniki w celu zapewnienia lepszej wiarygodności pomiaru. Jednakże redundancja sprzętowa ze względów ekonomicznych uzasadniona jest jedynie w przypadku pomiaru najistotniejszych parametrów z punktu widzenia bezpieczeństwa i sprawności eksploatacji bloku energetycznego. Oprócz jakości i ilości czujników pomiarowych znaczący wpływ na wiarygodność uzyskanych pomiarów ma również ich lokalizacja. Nieodpowiednie rozmieszczenie czujników pomiarowych względem elementów konstrukcyjnych maszyn i urządzeń bloku może wprowadzać niedokładności mierzonych wielkości, które w skrajnych przypadkach wiodą nawet ku znaczącym błędom pomiarowym. Liczba oraz lokalizacja czujników decyduje również o tym, czy możliwa jest diagnostyka ciepłno-przepływowowa obiegu jako całości oraz poszczególnych jego urządzeń. Na jakość pozyskanych pomiarów wpływa również system ich rejestrowania oraz archiwizacji. Współcześnie rozproszone systemy nadzoru DCS (ang. Distributed Control System) oparte na technice komputerowej, których częścią są podsystemy rejestrowania i archiwizowania danych, znacznie poprawiły jakość pozyskiwanych wartości pomiarów. Dzięki systemom DCS rejestracja pomiaru nie jest w żaden sposób ograniczona. Systemy te pozwalają również na bardzo dużą dokładność odczytu wartości pomiarów. Dzięki systemom DCS wzrosła również dostępność pomiarów, które wcześniej możliwe były do odczytu jedynie bezpośrednio z mierników usytuowanych w różnych częściach siłowni.

Dla jakości pomiarów wartości parametrów niezbędnych w diagnostyce ciepłno-przepływowowej bloków energetycznych z turbiną parową duże znaczenie mają również

warunki przeprowadzenia procedury pomiarowej. Wysoki stopień skomplikowania obiegu turbiny parowej i wynikające stąd zależności pomiędzy parametrami (również mierzalnymi) jego pracy pozwalają na dogłębne studiowanie wiarygodności pomiarów w złożonych układach przemysłowych. Jest to przyczynkiem do rozszerzonych badań nad jakością łatwo dostępnych obecnie pomiarów przemysłowych.

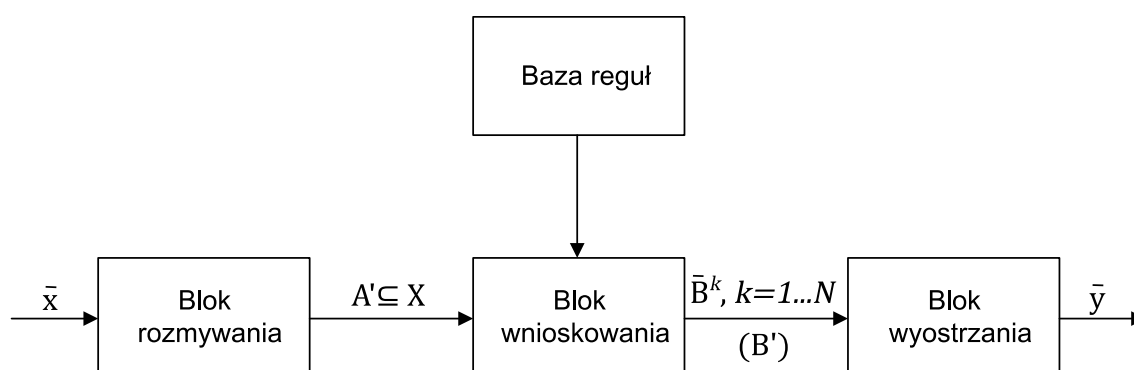
Szczególnie warunki pomiarów określanymi jako gwarancyjne ustalone są na podstawie szeregu norm międzynarodowych oraz krajowych. Najważniejszą zasadą tych wytycznych jest zapewnienie ustabilizowanej cieplnie pracy bloku. Stan taki osiąga się dla eksploatowanego układu poprzez odpowiednio długi okres pracy bloku przy ustalonym obciążeniu oraz innych parametrach cieplno-przepływowym ruchu.

Ważne, aby pomiary gwarancyjne przeprowadzić na układzie, w którym nie wystąpiły degradacje [48][49]. Za stan taki przyjmuje się na ogół stan nowej maszyny lub maszyny bezpośrednio po remoncie. Zwykle badania gwarancyjne wykonywane są przez wyspecjalizowaną firmę przy użyciu aparatury o wysokiej klasie dokładności. Pomiary eksploatacyjne wykonywane w trakcie pracy bloku zazwyczaj przeprowadzane są na sprzęcie o mniejszej dokładności. Dlatego też ważną procedurą pozwalającą na ocenę jakości pomiaru w trakcie eksploatacji jest wykonanie pomiaru referencyjnego, krótko po pomiarze gwarancyjnym. Pomiar referencyjny wykonywany jest przy użyciu aparatury, którą dysponuje elektrownia w trakcie eksploatacji. Pomiar ten porównywany jest z pomiarem gwarancyjnym w celu wykluczenia błędów grubych aparatury, co pozwala na wyeliminowanie uszkodzonej aparatury oraz ocenę kalibracji przyrządów. Aby w trakcie aktualnych pomiarów wykonywanych na bloku energetycznym wyeliminować błędy systematyczne najlepiej aby przyrządy pomiarowe nie były wymieniane w całym okresie eksploatacji od remontu do remontu. Niestety w trakcie eksploatacji następuje degradacja tych instrumentów, dlatego też są one co najmniej kalibrowane w określonym odstępie czasowym. Wymaga się wtedy poprawek dla oceny wpływu tej operacji na wartość błędu systematycznego. Wartości parametrów pozyskane w trakcie pomiaru referencyjnego w trakcie eksploatacji pełnią również rolę wartości wzorcowych, z którymi porównuje się parametry stanu aktualnego eksploatowanego bloku. Na tej podstawie dokonuje się diagnozy stanu maszyn i systemów.

## 2.3. Eksploracja danych

Zmienne zazwyczaj charakteryzują się dużą zmiennością wartości, przez co znacznie różnią się od siebie [50]. Różnice te mogą wynikać z jednostek czy też skali w jakiej dane wielkości są wyrażone (np. moc wyrażona w megawatach [MW], a ciśnienie wyrażone w barach [bar]). Dla pewnych algorytmów oraz inteligentnych metod tak duże zróżnicowanie parametrów utrudnia właściwą ocenę wpływu poszczególnych zmiennych na analizowany proces. Dlatego też zalecaną praktyką jest, szerzej opisana w Załącznik 2 **normalizacja** lub **standaryzacja danych** w celu ujednoczenia zakresów numerycznych wartości zmiennych [51].

W dalszej części Załącznik 2 omówiono **podstawowe pojęcia i definicje teorii zbiorów rozmytych**. Zdefiniowano istotę zbioru rozmytego oraz opisujących go parametrów. Przedstawiono również typy klas funkcji rozmytych oraz metody wnioskowania w logice rozmytej. W dalszej części Załącznik 2 omówiono szczegółowo działanie **rozmytego systemu wnioskującego** (rys. 2.1) wykorzystywanego w budowanej metodzie oceny wiarygodności pomiarów poprzez tworzenie: **bazy reguł**, **boku rozmywania**, **bloku wnioskowania** i **bloku wyostrzania**.



Rys. 2.1 Rozmyty system wnioskujący

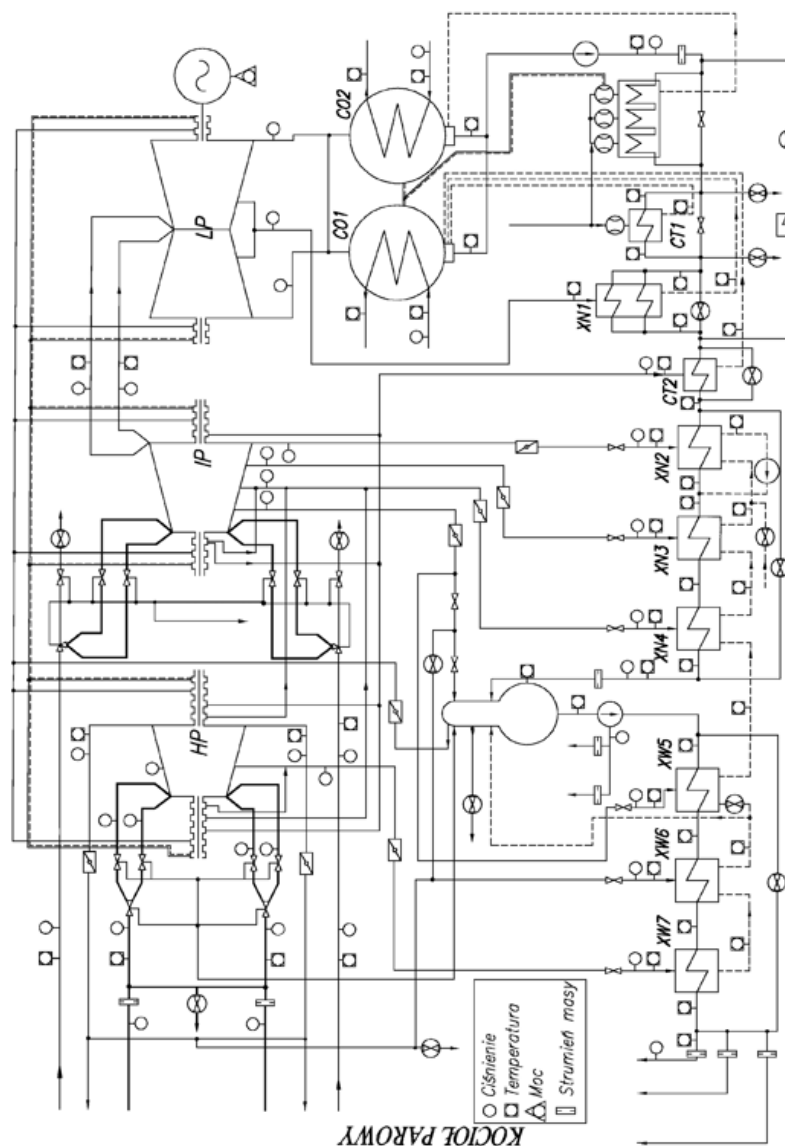
W konstruowanej metodzie badania wiarygodności pomiarów istotne będą zasady asocjacji danych pomiarowych. W Załącznik 2 streszczono możliwości wykorzystania w tym celu dwóch algorytmów: **algorytmu grupowania k-średnich** i **algorytmu A priori**.

## 3. OBIEKT BADAŃ

W rozdziale przedstawiono charakterystykę pracy bloku elektrowni kondensacyjnej o mocy 200MW, który stanowi obiekt badań oraz wymienników regeneracyjnych, na których skupiono się w trakcie późniejszych prac. Na podstawie przedstawionego opisu określono parametry zależne oraz niezależne systemu, które zostały uwzględnione w dalszych badaniach. W poniższym rozdziale przedstawiono również opis działania oraz znaczenie modelu symulacyjnego stworzonego w programie DIAGAR dla badanego obiektu rzeczywistego. Szczegółowe opisy zagadnień przedstawionych w rozdziale zaprezentowano w Załącznik 3.

### 3.1. Charakterystyka rzeczywistego obiektu

Obiektem badań jest blok energetyczny o mocy 200 MW (rys. 3.1). W przedstawionym obiegu zastosowano trykadłubową turbinę kondensacyjną-upustową. Układ wyposażono w regulację napełnieniową. Dzięki takiemu rozwiązaniu obiekt cechuje się wysoką sprawnością w zmiennych warunkach obciążenia.



Rys. 3.1 Schemat obiegu ciepłowniczego bloku energetycznego o mocy 200MW

W omawianym systemie zastosowano przegrzew międzystopniowy oraz regeneracyjny podgrzew wody zasilającej. W układzie zastosowano 7 powierzchniowych wymienników regeneracyjnych (XN, XW) zasilanych parą upustową z kadłuba wysokoprężnego, średnioprężnego, niskoprężnego oraz 1 wymiennik mieszkankowy pełniący funkcję odgazowywacza. Blok kondensacyjny chłodzony jest wodą w otwartym układzie chłodzenia. W układzie zastosowano 2 skraplacze, do których doprowadzony jest czynnik roboczy z dwuwylotowego kadłuba części niskoprężnej turbiny. Zastosowano kocioł opalany węglem brunatnym. Jego zadaniem jest podgrzanie i odparowanie wody zasilającej, a następnie przegrzanie wytworzonej pary, która trafia do części wysokoprężnej turbiny parowej gdzie następuje jej ekspansja. Ekspandująca para napędza łopatki turbiny, co przyczynia się do uzyskania mocy na zaciskach generatora. Czynnik roboczy na wylocie z turbiny wysokoprężnej powraca do kotła, gdzie zostaje podgrzany do temperatury pary świeżej.



W kolejnych etapach podgrzana para trafia do kadłuba turbiny średnioprężnej, a następnie do kadłuba turbiny niskoprężnej gdzie ponownie ekspandując przyczynia się do produkcji mocy. Para po wylocie z części niskoprężnej kierowana jest do skraplaczy chłodzonych wodą w układzie otwartym. Skroplony czynnik przepływa kolejno przez 3 powierzchniowe wymienniki regeneracyjne zasilane z upustów turbiny nisko- oraz średnioprężnej. W każdym z wymienników zachodzi podgrzanie wody. Podgrzany czynnik roboczy trafia do wymiennika mieszkankowego, gdzie następuje jego odgazowanie. Zanim woda ponownie popłynie do kotła zostaje podgrzana przez 3 powierzchniowe wymienniki regeneracyjne zasilane z kadłuba części wysokoprężnej turbiny parowej. W układzie zastosowano również wtrysk wody pierwotny oraz wtórny. Zabieg ten ma na celu regulację temperatury pary przepływającej do kadłubów turbiny po przez wtrysk wody o odpowiedniej temperaturze.

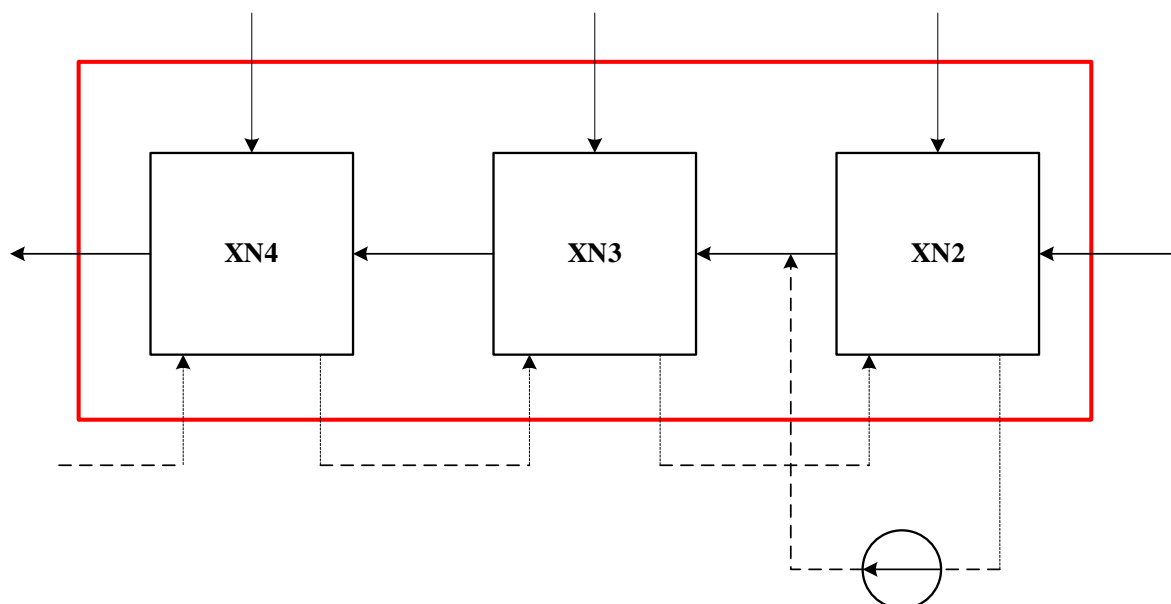
Dla bloku energetycznego zmiennymi niezależnymi determinującymi jego stan cieplny określa się parametry opisujące dolne i górne źródło ciepła czyli kocioł oraz kondensator. Poza wspomnianymi wielkościami jako zmienną niezależną traktuje się również ciśnienie w odgazowywaczu, w przypadku kiedy w rozpatrywanym układzie zastosowano odgazowywacz stałociśnieniowy. Zmiennymi niezależnymi będą również masy wtrysku wody chłodzącej, temperatury pary świeżej i pary przegrzanej. Dla badanego obiektu energetycznego, a więc dla systemu parowego z turbiną kondensacyjną, w którym zastosowano przegrzew pary gdzie zarówno temperatura pary świeżej jak i przegrzanej podlega regulacji zbiór parametrów niezależnych będzie obejmował od 4 do 8 zmiennych. Najczęściej wśród tych zmiennych wyróżnia się następujące wielkości:

$$P, \dot{m}_0, t_0, p_0, t_{prz}, p_{prz}, \dot{m}_{wtr1}, \dot{m}_{wtr2}, p_k, p_{odgconst} \quad (3.1)$$

gdzie:  $P$ - moc układu,  $\dot{m}_0$ - strumień masy pary świeżej na wylocie z kotła,  $t_0$ - temperatura pary świeżej,  $p_0$ - ciśnienie pary świeżej,  $t_{prz}$ - temperatura pary przegrzanej,  $p_{prz}$ - ciśnienie pary przegrzanej,  $\dot{m}_{wtr1}$ - masa wtrysku pierwotnego,  $\dot{m}_{wtr2}$ - masa wtrysku wtórnego,  $p_k$ - ciśnienie w kondensatorze,  $p_{odgconst}$ - ciśnienie odgazowywacza.

W badanym systemie moc  $P$  realizowana jest za pośrednictwem strumienia masy pary świeżej  $\dot{m}_0$ , dlatego też dla uproszczenia rozważań można operować tylko jedną z tych wielkości. Parametry masy  $\dot{m}_0$ , temperatury  $t_0$ , oraz ciśnienia  $p_0$  pary świeżej reprezentują charakterystykę kotła oraz nastawy jego regulatorów. Charakterystyki wtryskiwaczy i ich nastawy dotyczące stałej temperatury reprezentowane są przez masowe strumienie wtrysku pierwotnego  $\dot{m}_{wtr1}$  oraz wtrysku wtórnego  $\dot{m}_{wtr2}$ . Przegrzewacz międzystopniowy opisany jest parametrem ciśnienia  $p_{prz}$  i temperatury  $t_{prz}$  pary przegrzanej. Wśród zmiennych niezależnych wyróżnia się także ciśnienie w kondensatorze  $p_k$ , które w tym przypadku zastępuje charakterystykę kondensatora. Przez charakterystykę kondensatora należy rozumieć zależność ciśnienia kondensacji od strumienia pary, temperatury i strumienia masy wody chłodzącej oraz geometrii kondensatora. Jeżeli w systemie odgazowywacz pracuje przy stałych nastawach wartości ciśnienia  $p_{odgconst}$  (odgazowywacz stało ciśnieniowy), parametr ten również można uznać za niezależny, Pozostałe parametry bloku energetycznego należy traktować jako parametry zależne, a więc wynikające w sposób funkcyjny z wartości wyżej wymienionych parametrów niezależnych.

Jak założono przy określeniu celu pracy kwalifikacyjnej, jakościowe i ilościowe rozważania nad jakością pomiarów w złożonym systemie energetycznym są prowadzone dla fragmentu obiegu związanego z wymiennikami regeneracyjnymi niskiego ciśnienia. Te urządzenia charakteryzują się pracą całkowicie niezależną od ingerencji obsługi bloku. Pozwala to na osiągnięcie ocen pomiarów w najbardziej obiektywny sposób. Tak więc w układzie badane zmienne zależne to parametry 3 badanych niskoprężnych wymienników regeneracyjnych (rys. 3.2).

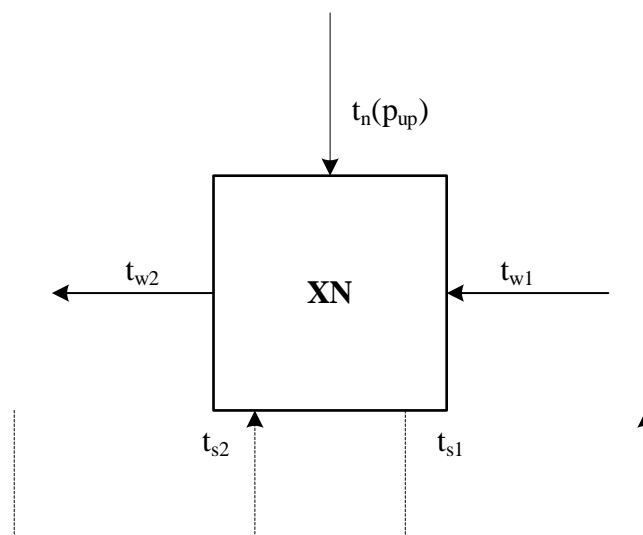


Rys. 3.2 Schemat układu omawianych wymienników niskoprężnych (XN4, XN3, XN2)

Do tych zmiennych należą parametry mierzone zarówno dla czynnika roboczego jak i pary zasilającej na wlocie do oraz na wylocie z poszczególnych wymienników (rys. 3.3):

$$t_{w1}, t_{w2}, t_{up}, p_{up}, t_{s1}, t_{s2}, \Delta t_f, \Delta t_i \quad (3.2)$$

gdzie:  $t_{w1}$ - temperatura wody na wlocie do wymiennika,  $t_{w2}$ - temperatura wody na wylocie z wymiennika,  $t_{up}$ - temperatura pary na wlocie do wymiennika,  $p_{up}$ - ciśnienie pary na wlocie do wymiennika,  $t_{s1}$ - temperatura skroplin na wyjściu z wymiennika,  $t_{s2}$ - temperatura skroplin doprowadzanych kaskadowo z wymiennika poprzedzającego,  $\Delta t_f$ - spiętrzenie temperatur,  $\Delta t_i$ - przechłodzenie skroplin.



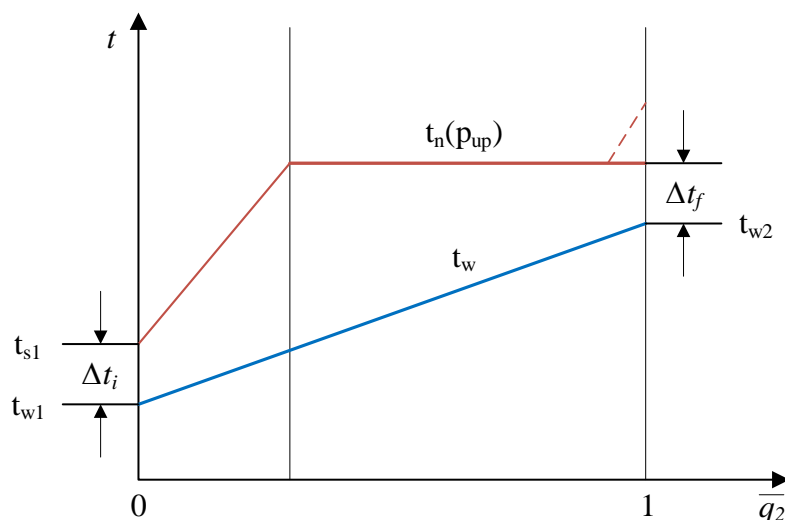
Rys. 3.3 Schemat wymiennika regeneracyjnego wraz z mierzonymi parametrami zależnymi

Podgrzewany w wymiennikach czynnik roboczy, a więc woda zasilająca kocioł charakteryzowana jest przez temperaturę na wlocie do wymiennika regeneracyjnego  $t_{w1}$  oraz temperaturę na jego wylocie  $t_{w2}$ . Parę zasilającą wymiennik opisuje się poprzez ciśnienie  $p_{up}$ . Ciśnienie pary mierzone jest w upuście. Temperatura pary w upuście  $t_{up}$  przy wlocie do wymiennika regeneracyjnego wynika z warunków ekspansji w turbinie. Przyjmuje się, że temperatura ta równa jest temperaturze nasycenia pary zasilającej (3.3).

$$t_{up} = t_n(p_{up}) \quad (3.3)$$

Wśród parametrów zależnych uwzględnia się również temperaturę skroplin na wylocie z wymiennika  $t_{s1}$  oraz temperaturę skroplin doprowadzanych do wymiennika kaskadowo z urządzeń poprzedzających  $t_{s2}$ .

Na podstawie parametrów zależnych charakteryzujących parametry wody oraz pary na wlocie oraz na wylocie z wymiennika określa się spiętrzenie temperatur  $\Delta t_f$  oraz przechłodzenie skroplin  $\Delta t_i$  dla każdego z wymienników (rys. 3.4). Na podstawie tych parametrów można określić jakość pracy urządzenia.



Rys. 3.4 Wykres rozkładu temperatur wody oraz pary w wymienniku regeneracyjnym

Spiętrzenie temperatur  $\Delta t_f$  jest to różnica pomiędzy temperaturą podgrzanej wody na wylocie z wymiennika  $t_{w1}$ , a temperaturą nasycenia pary dla ciśnienia w upuszczeniu na wlocie do wymiennika  $t_n(p_{up})$  (3.4). Spiętrzenie temperatur określa efektywność wymiany ciepła pomiędzy czynnikiem grzewczym (parą), a czynnikiem podgrzewanym (wodą). Niska wartość tego parametru świadczy o wysokiej efektywności wymiany ciepła pomiędzy czynnikami. Zdarza się, że spiętrzenie temperatur osiąga wartość ujemną. Jest to możliwe dla wymienników 3-strefowych ogrzewanych parą o bardzo wysokich parametrach, posiadających chłodnicę pary przegrzanej oraz chłodnicę skroplin.

$$\Delta t_f = t_n(p_{up}) - t_{w1} \quad (3.4)$$

Przechłodzenie skroplin jest to różnica pomiędzy temperaturą skroplonej pary na wylocie z wymiennika regeneracyjnego  $t_{s1}$ , a temperaturą wody na jego wlocie  $t_{w1}$  [44]. Przechłodzenie skroplin określa jak efektywnie w wymienniku wykorzystany został „potencjał cieplny” skraplanej pary.

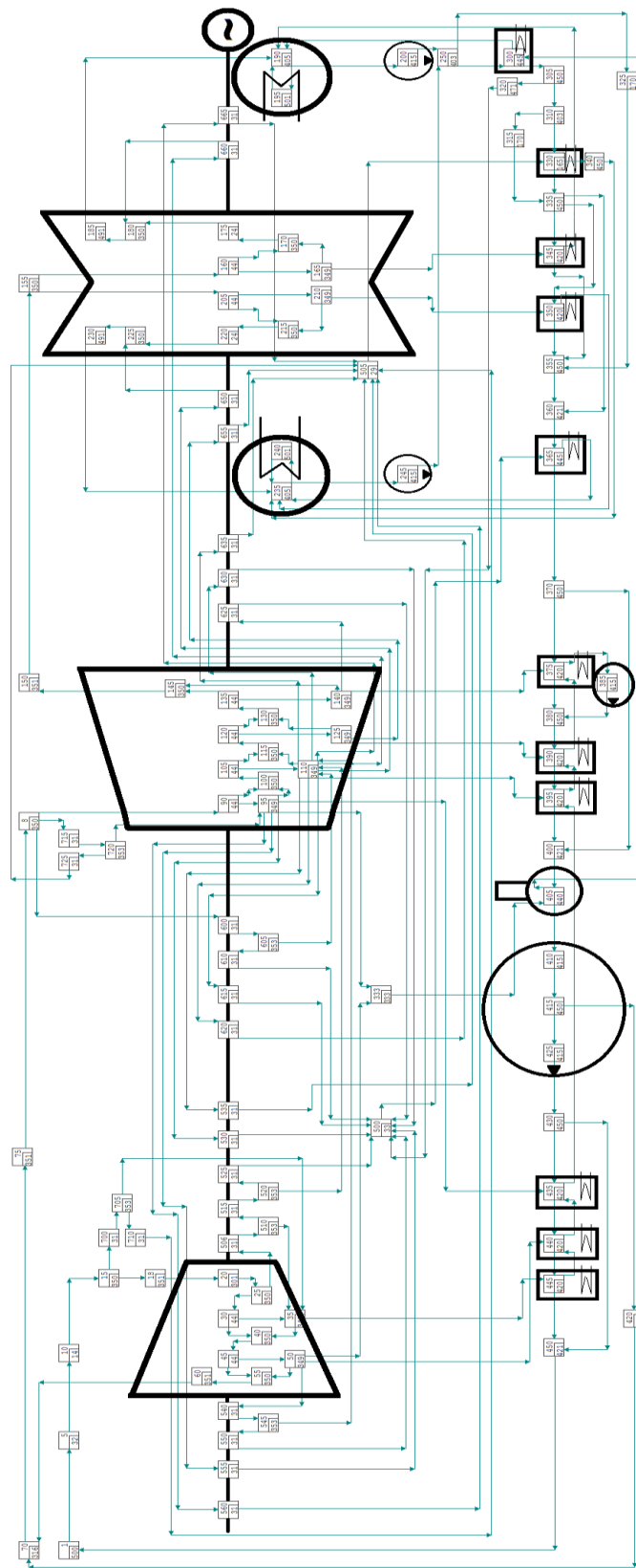
$$\Delta t_i = t_{s1} - t_{w1} \quad (3.5)$$

Przedstawione zależności są powszechnie znane w literaturze, jednakże ze względu na dalsze etapy pracy, w których badaniu poddano wiarygodność przedstawionych parametrów niezbędnym jest przywołanie relacji pomiędzy wielkościami charakteryzującymi pracę wymienników regeneracyjnych.

## 3.2. Opis modelu symulacyjnego

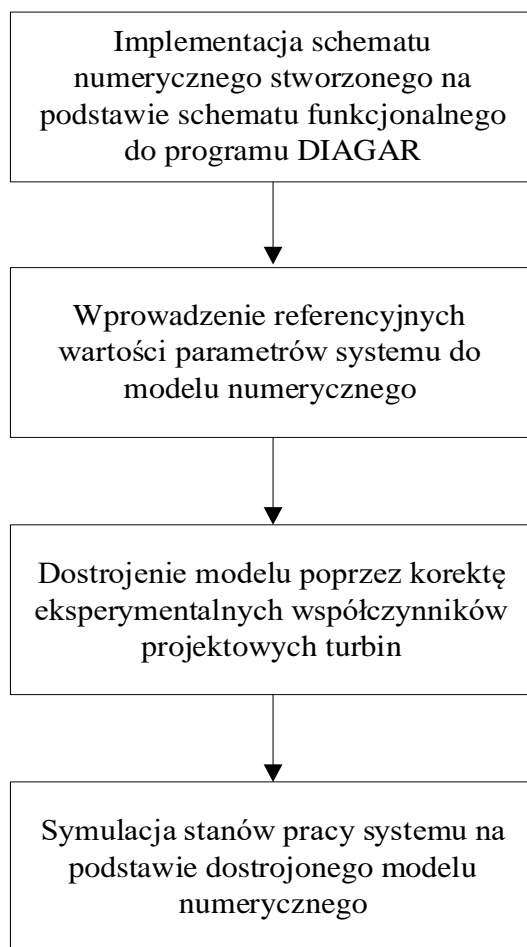
W pracy wykorzystano model matematyczny badanego obiektu rzeczywistego. Model posłużył do weryfikacji pracy bloku energetycznego. Model pozwolił również na wyznaczenie parametrów systemu w stanach pracy różnych od warunków nominalnych. Uzyskane na podstawie modelu dane w dalszych badaniach posłużyły jako dane wzorcowe dla metody oceny poprawności pomiaru. Dokładny opis modelu zamieszczono w Załącznik 3

W pracy model symulacyjny utworzony w programie DIAGAR posłużył do określenia wartości referencyjnych parametrów zależnych obiegu w warunkach pracy różnych od nominalnych. Uzyskane wartości posłużyły jako wzorzec do oceny poprawności pomiarów parametrów obiegu w zmiennych warunkach pracy układu. W tym celu schemat funkcjonalny rzeczywistego bloku (rys. 3.1) został przetworzony na schemat numeryczny zaimplementowany do programu DIAGAR (rys. 3.5).



Rys. 3.5 Schemat numeryczny obiegu

W schemacie numerycznym odwzorowano wszystkie rurociągi oraz miejsca zamontowania przyrządów pomiarowych przedstawione na schemacie funkcjonalnym. Urządzenia bloku energetycznego opisane zostały odpowiednimi blokami funkcyjnymi, w których zastosowano procedury pomiarowe bazujące na równaniach zachowania masy i energii [52]. Każdy z bloków zawiera w swoim wnętrzu procedurę obliczeniową opartą o wyżej wspomniane równania bilansowe masy oraz energii. Do modelu numerycznego wprowadzono wartości referencyjne parametrów systemu. Przez wartości referencyjne rozumie się wartości parametrów jakie osiągnęte są w trakcie poprawnej pracy systemu. Charakterystyki referencyjne określone są dla systemów, które nie uległy degradacji eksploatacyjnej. Parametry zaimplementowanego modelu numerycznego zostały poddane korekcie, ponieważ jedynie odpowiednio „dostrojony” (ang. tuned) model jest w stanie z bardzo dużą dokładnością odwzorować pracę rzeczywistego systemu. Na etapie dostrajania wprowadzono poprawki dla współczynników obliczeniowych wykorzystywanej w symulacji jednowymiarowej metody obliczeniowej. Korekcie poddano eksperymentalne współczynniki projektowe turbin takie jak współczynniki prędkości odpowiadające za sprawność poszczególnych grup stopni turbinowych oraz współczynniki przelotności, które decydują o rozkładzie ciśnień zarówno w układzie łopatkowym jak i w upustach regeneracyjnych. Poprawek dokonywano w celu osiągnięcia zbieżności pomiędzy wartościami parametrów uzyskanymi z modelu symulacyjnego, a wartościami tych parametrów dla obiektu rzeczywistego (rys. 3.6). W trakcie dostrajania szczególnie istotnym parametrami, dla których ustalano zbieżność były spiętrzenie temperatur  $\Delta t_f$  oraz przechłodzenie skroplin  $\Delta t_i$  dla badanych wymienników regeneracyjnych.



Rys. 3.6 Schemat przygotowania modelu symulacyjnego w programie DIAGAR



# 4. METODA DETEKCJI NIEPRAWIDŁOWEGO POMIARU

W rozdziale 1 przedstawiono metodę detekcji pomiaru nieprawidłowanego. Rozdział podzielono na pięć głównych części. W części pierwszej opisano znaczenie proponowanej metody uwiarygodnienia pomiarów dla jakości diagnostyki ciepło-przepływowej. W części tej uzasadniono również potrzebę zastosowania algorytmów logiki rozmytej w przeprowadzonym badaniu. W części drugiej zilustrowano w sposób ogólny metodę oceny wiarygodności pomiaru. Przedstawiono kolejne kroki niezbędne do wykonania w celu przeprowadzenia opisanej metody. W części trzeciej scharakteryzowane zostały zbiory danych rzeczywistych, na których przeprowadzono późniejsze badania nad wspomnianą metodą. W tej części opisano w jaki sposób dokonano selekcji zbiorów danych referencyjnych. Przedstawiono również przebieg oceny oraz sposób ustalenia wartości oczekiwanych statystycznej dla parametrów biorących udział w badaniu. W części czwartej przedstawiono sposób w jaki określono zmienne oraz przestrzenie lingwistyczne dla przedstawionej metody oceny wiarygodności pomiarów. Opisano również sposób w jaki stworzona i potwierdzona została baza reguł niezbędna do przeprowadzenia wnioskowania rozmytego, na którym oparto badania nad oceną wiarygodności parametrów. W ostatniej, piątej części rozdziału przedstawiono metodę, która posłużyła do określenia zależności pomiędzy parametrami badanego systemu, po to aby w pełni dokonać oceny wiarygodności parametrów mierzonych.

## 4.1. Znaczenie metody

W metodzie oceny poprawności pomiaru traktowanego jako niezależny, a więc nie skorelowany z innymi parametrami pracy badanego bloku, zastosowano rozmyty system wnioskowania.

Należy pamiętać, że dane pomiarowe zwykle cechują się pewną nieprecyzyjnością i niejednoznacznością. W przypadku obiektów rzeczywistych nie sposób określić wartości idealnej mierzonego parametru, nie sposób również uzyskać na drodze pomiaru wielkości, które w żaden sposób nie są obarczone niepewnością czy też wspomnianą niejednoznacznością. Dlatego też klasyczne podejście do oceny poprawności pomiaru, traktujące uzyskane wartości w sposób „ostry” może być przyczyną nieprawidłowej oceny pomiaru, która będzie niewystarczająco czuła, przez co pominięte zostaną stany podejrzane lub przeciwnie, zbyt czuła, co może skutkować niepotrzebnymi alarmami i utrudnieniami eksploatacyjnymi. Stąd też podejście rozmyte, które pozwala traktować pomiar w bardziej naturalny sposób, jako wielkość niepewną i nieprecyzyjną. Zastosowana metoda rozmyta odnosi się do podejścia

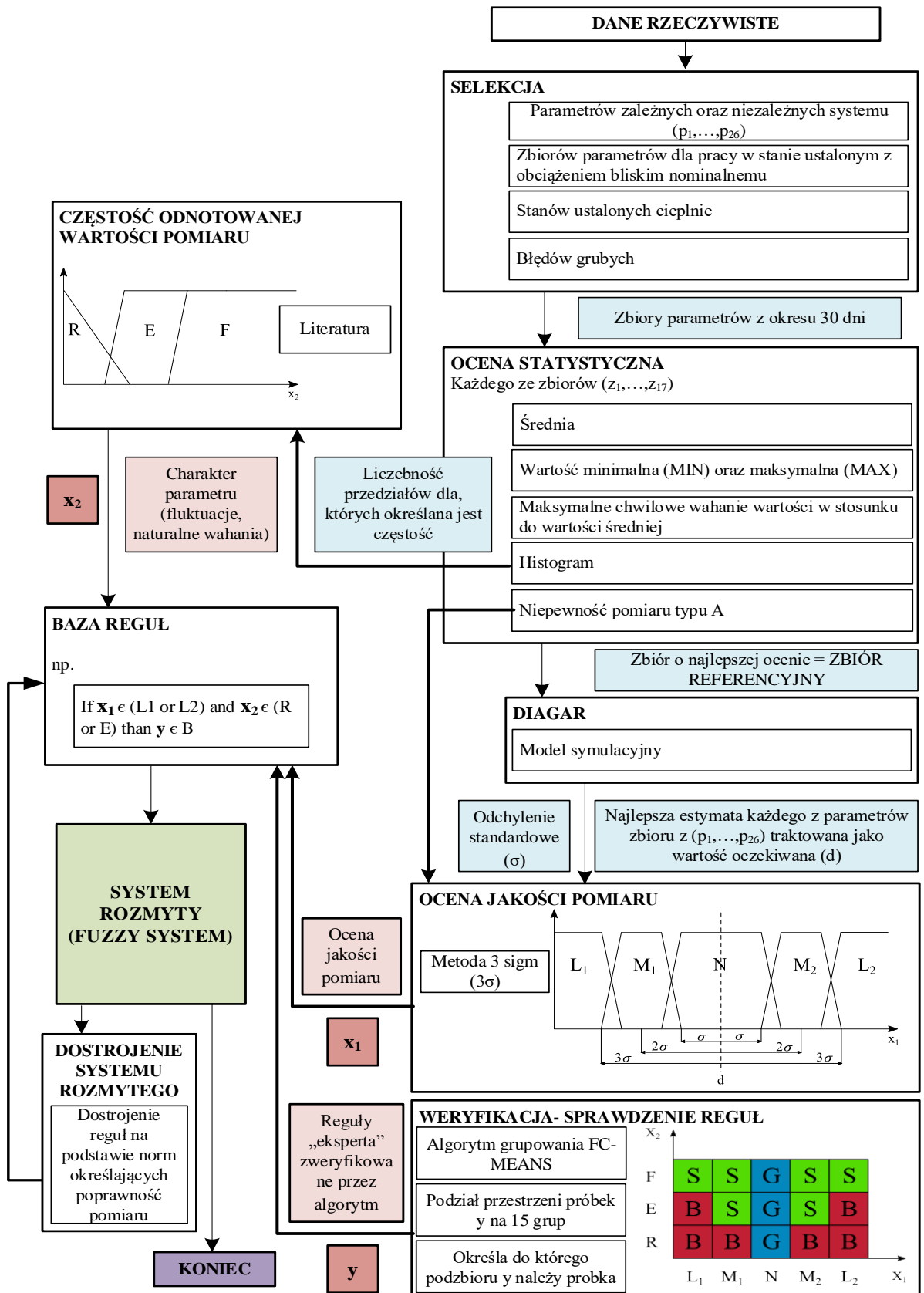


klasycznego, a więc probabilistycznej oceny poprawności pomiaru zalecanego przez przewodnik ISO, jednak traktuje wartości pomiaru w sposób „nieostry”. Dzięki czemu sama ocena poprawności pozwala na bardziej intuicyjną interpretację, która nie zakłada jedynie stanów pomiaru poprawnego lub niepoprawnego, ale także pomiaru podejrzanego. Z punktu widzenia eksploatacyjnego podejście takie jest istotnie potrzebne w przypadku, kiedy ocenie diagnostycznej poddawane są układy, cechujące się pewnym zużyciem eksploatacyjnym, które przekłada się również na jakość pozyskanych pomiarów.

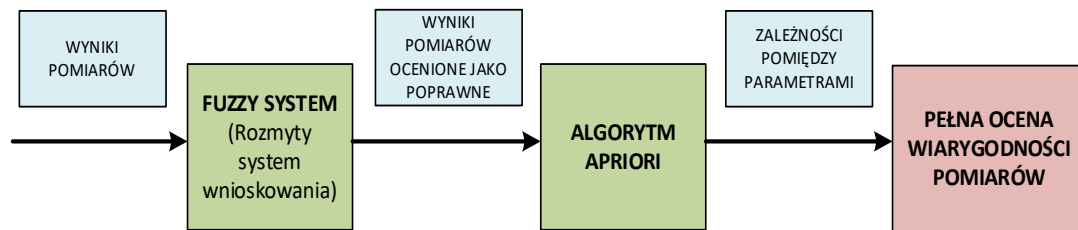
## 4.2. Ilustracja metody oceny wiarygodności pomiarów

Metodę oceny niepewności pomiarowych wpływających na jakość diagnostyki ciepłno-przepływowej w energetyce zbudowano według schematów przedstawionych w kolejnych rozdziałach pracy kwalifikacyjnej. W pierwszym kroku zbudowany został system wnioskowania rozmytego (rys 4.1) w celu oceny poprawności pomiaru traktowanego jako niezależny.

W kolejnym kroku (rys. 4.2) ocenę uzyskaną dzięki systemowi wnioskowania rozmytego wykorzystano do określenia zależności pomiędzy parametrami zależnymi oraz niezależnymi badanego systemu. Ze względu na silne relacje pomiędzy parametrami badanego obiektu dla pełnej oceny i interpretacji uzyskanych na podstawie metody wnioskowania rozmytego rezultatów określono wpływ parametrów niezależnych bloku na parametry zależne opisujące pracę wymienników regeneracyjnych. Badanie tych zależności pozwala ocenić czy występujące w pomiarach nieprawidłowości wynikają z błędu pomiaru czy może ze zmian zachodzących w badanym systemie. Dla określenia wspomnianych zależności posłużono się algorytmem A priori.



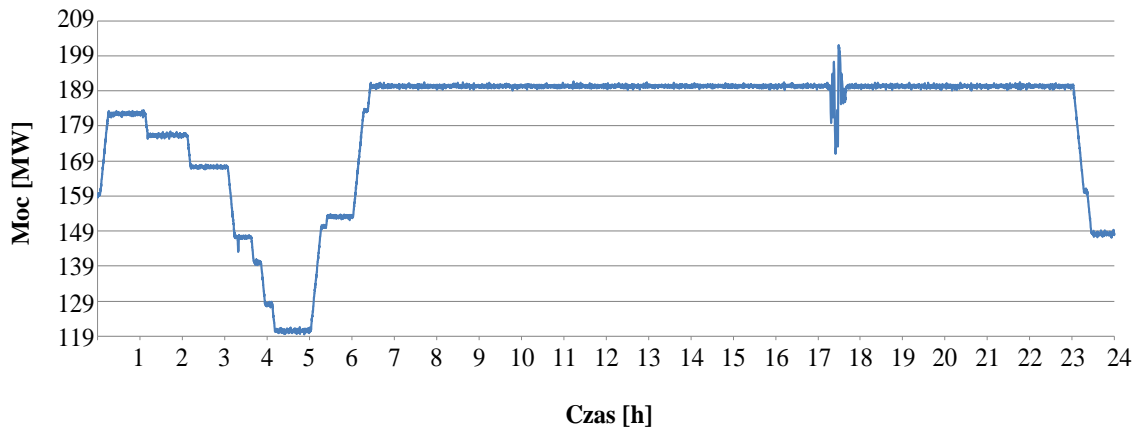
Rys. 4.1 Schemat postępowania dla metody oceny pomiaru taktowanego jako niezależny



Rys. 4.2 Schemat postępowania w celu ustalenia ostatecznej oceny wiarygodności pomiarów

### 4.3. Charakterystyka danych rzeczywistych (ZBIORY PRÓBEK)

Zbiór danych eksploatacyjnych potrzebnych do badań nad metodą detekcji nieprawidłowego pomiaru pozyskano z przedstawionego w Rozdziale 3.1 bloku elektrowni parowej o mocy  $P=200\text{MW}$  za pośrednictwem systemu rozproszonej akwizycji danych DCS (ang. Distributed Control System). Pomiary gwarancyjne parametrów systemu dla rozważanego bloku energetycznego wykonywała firma PROCONTROL. Posłużyły one do wstępnej weryfikacji pomiarów własnych elektrowni, które wykorzystano tu do ilustracji budowy metody oceny wiarygodności pomiarów. Na potrzeby przeprowadzonych badań analizie poddano 30 dobowych zbiorów wyników pomiarów własnych elektrowni. Wykonano pomiary strumieni mas  $\dot{m}$ , temperatur  $t$  oraz ciśnień  $p$ . Zbiory te stanowią serię pomiarów wykonanych w okresie jednego miesiąca. Nie wszystkie mierzone parametry uwzględniono w przeprowadzonych badaniach. Po wstępnej analizie część zbiorów została odrzucona ze względu na brakujące lub niepełne pomiary poszczególnych parametrów, istotnych dla przeprowadzonych badań. Zarchiwizowane pomiary uwzględnione w badaniach uwzględniają dane pomiarowe z 13 dni. Dane rejestrowano w trakcie pomiaru w odstępie 10 sekund przez całą dobę. Pomiary wykonywano w warunkach normalnej eksploatacji bloku. Dla badanego układu, który pracuje w systemie elektroenergetycznym oznacza to, że pomiary zostały wykonane dla zmiennego dobowego obciążenia bloku (rys. 4.3). Takie zachowanie wynika z narzuconego przez system elektroenergetyczny dobowego zapotrzebowania na moc  $P$ .



Rys. 4.3 Przykład ilustracji mocy generowanej przez blok energetyczny w czasie jednej doby

### 4.3.1 Selekcja

Spośród wszystkich mierzonych wielkości wyselekcjonowano zmienne niezależne (3.1) oraz zmienne zależne (3.2) istotne dla przeprowadzonego badania (Tabela 4.1). Zmienne te charakteryzują pracę najważniejszych urządzeń w systemie oraz ich wpływ na prace badanych wymienników regeneracyjnych.

Tabela 4.1 Zbiór mierzonych parametrów zmiennych niezależnych oraz zależnych.

<b>Zmienne niezależne dla bloku elektrowni</b>	
$P$	moc
$t_0$	temperatura pary świeżej
$p_0$	ciśnienie pary świeżej
$t_{prz}$	temperatura pary przegrzanej
$p_{prz}$	ciśnienie pary przegrzanej
$\dot{m}_{wtr1}$	masa wtrysku pierwotnego
$\dot{m}_{wtr2}$	masa wtrysku wtórnego
$p_k$	ciśnienie w kondensatorze
$p_{odgconst}$	ciśnienie odgazowycza
<b>Zmienne zależne dla wymienników regeneracyjnych</b>	
$t_{w1}$	temperatura wody na wlocie do wymiennika

$t_{w2}$	temperatura wody na wylocie z wymiennika
$t_{up}$	temperatura pary na wlocie do wymiennika
$p_{up}$	ciśnienie pary na wlocie do wymiennika
$t_{s1}$	temperatura skroplin na wyjściu z wymiennika
$t_{s2}$	temperatura skroplin doprowadzanych
$\Delta t_f$	spiętrzenie temperatur
$\Delta t_i$	przechłodzenie skroplin

Jak już wspomniano, dane pomiarowe wykorzystane do badań zostały zarejestrowane za pomocą systemu DCS. Pozwala to na przyjęcie pewnych założeń odnośnie jakości pozyskanych pomiarów [46]:

- Proces pomiaru, akwizycji oraz archiwizacji danych przeprowadzany jest automatycznie.
- Przyrządy oraz tory pomiarowe są o jakości i dokładności odpowiedniej do swojego przeznaczenia (w systemach DCS zazwyczaj stosowane jest oprzyrządowanie nowoczesne o wysokiej jakości).
- Pomiaru wykonywane są ze szczególną dbałością o ich jakość, wszelkie uszkodzenia czujników są eliminowane w miarę możliwości.
- System pomiarowy oraz system DCS wyposażone są w nieskomplikowane procedury analizy wyników pomiarów, których zadaniem jest odrzucenie ewentualnych nieprawidłowych wskazań przyrządów pomiarowych oraz tak zwanych błędów grubych.

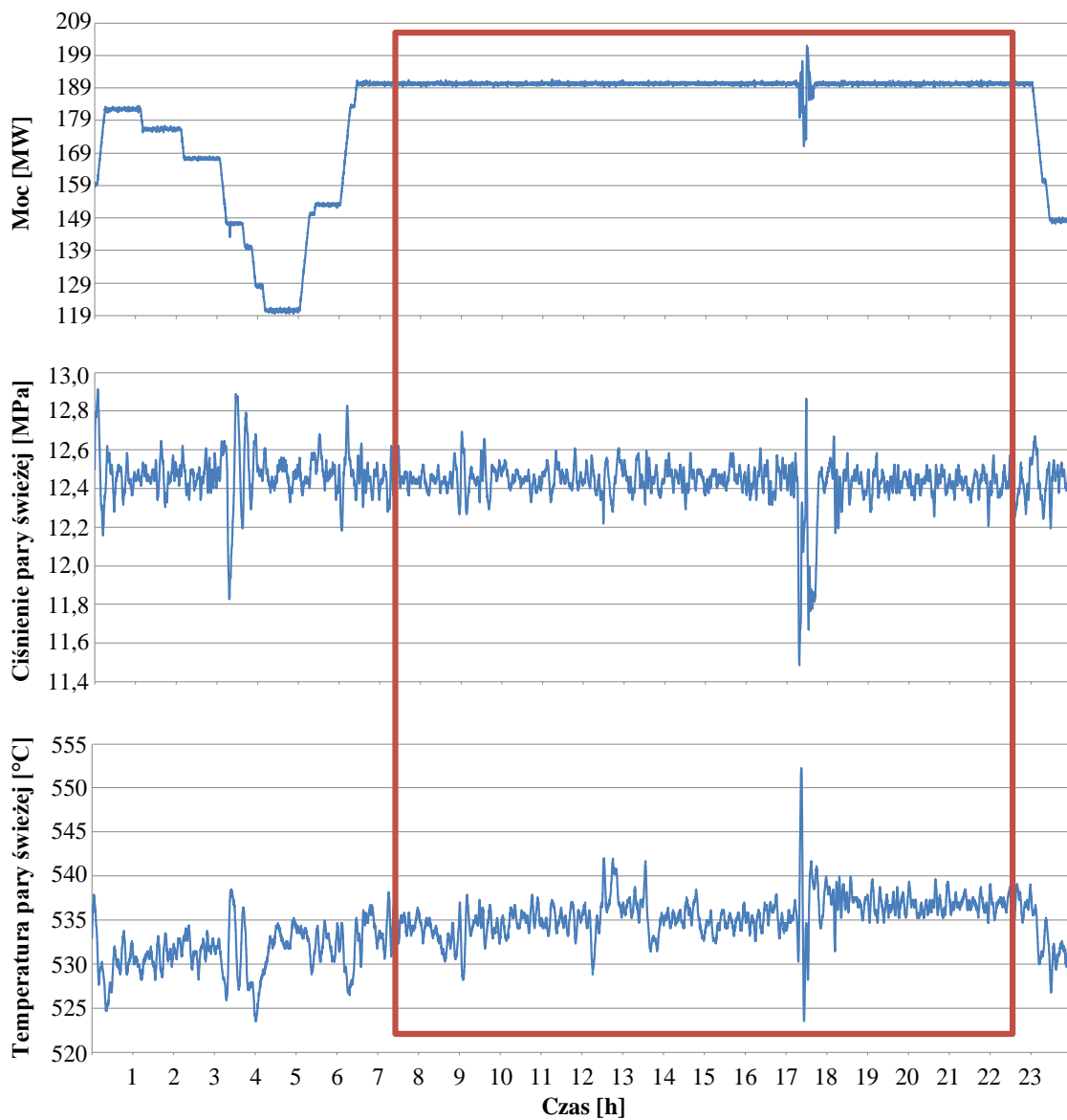
W oparciu o powyższe założenia można przyjąć, że analiza niepewności pomiarowych pozyskanych danych powinna uwzględniać głównie błędy przypadkowe. Można również przyjąć, że większość tak zwanych błędów grubych zostaje „zauważona” i odrzucona przez system DCS. Jeżeli pomimo tych działań dane pomiarowe zawierają wspomniane błędy grube można wyeliminować je w osobnych procesach służących do odpowiedniej obróbki danych [53]. Jeżeli chodzi o ocenę błędów systematycznych jest to zadanie bardzo trudne w przypadku pomiarów wykonywanych dla tak skomplikowanych układów jak omawiany blok elektrowni. Należy jednak pamiętać, że z punktu widzenia diagnostyki, gdzie generowanie residuów uszkodzeń odbywa się na podstawie różnic informacji pozyskanych z modelu oraz z aktualnych pomiarów, jeżeli błędy systematyczne zawarte są w obu źródłach informacji, będą one miały znikomy wpływ na proces diagnostyczny [54]. W tym przypadku błędy systematyczne należy potraktować jako jedną z cech modelowanego obiektu.

W przeprowadzonych badaniach uwzględniono dane pomiarowe otrzymane w trakcie pracy systemu w wybranym stanie ustalonym. W przypadku bloku energetycznego poprzez stan ustalony rozumie się sytuację, w której układ pracuje ze

stałym obciążeniem. Poza ustabilizowanym poziomem wytwarzanej mocy parametry ciepłno-przepływowe systemu tj. temperatury, ciśnienia, przepływy czynnika również nie powinny ulegać znaczącym zmianom (rys. 4.4). W wyborze okresów, pracy bloku uwzględnionych w badaniach kierowano się normami określającymi zasady poprawnego przeprowadzenia ciepłych pomiarów odbiorczych, które obarczone są największym rygiorem [14]. Według tych norm najbardziej wiarygodne pomiary parametrów uzyskuje się dla bloku ustabilizowanego cieplnie. Według norm pomiarów odbiorczych stan taki osiąga się poprzez wystarczająco długie okresy eksploatacji bloku przy ustalonym, w granicach dopuszczalnych odchyłeń i wahań, obciążeniu i licznych innych ciepłno-przepływowych parametrach ruchu [14]. Należy pamiętać, że normy pomiarów odbiorczych (odwołanie do norm) nie dotyczą pomiarów codziennych. Jednak utrzymanie wielu z tych zaleceń, szczególnie przy wyborze okresów stabilnej pracy znacznie poprawia jakość pomiarów codziennych [55].

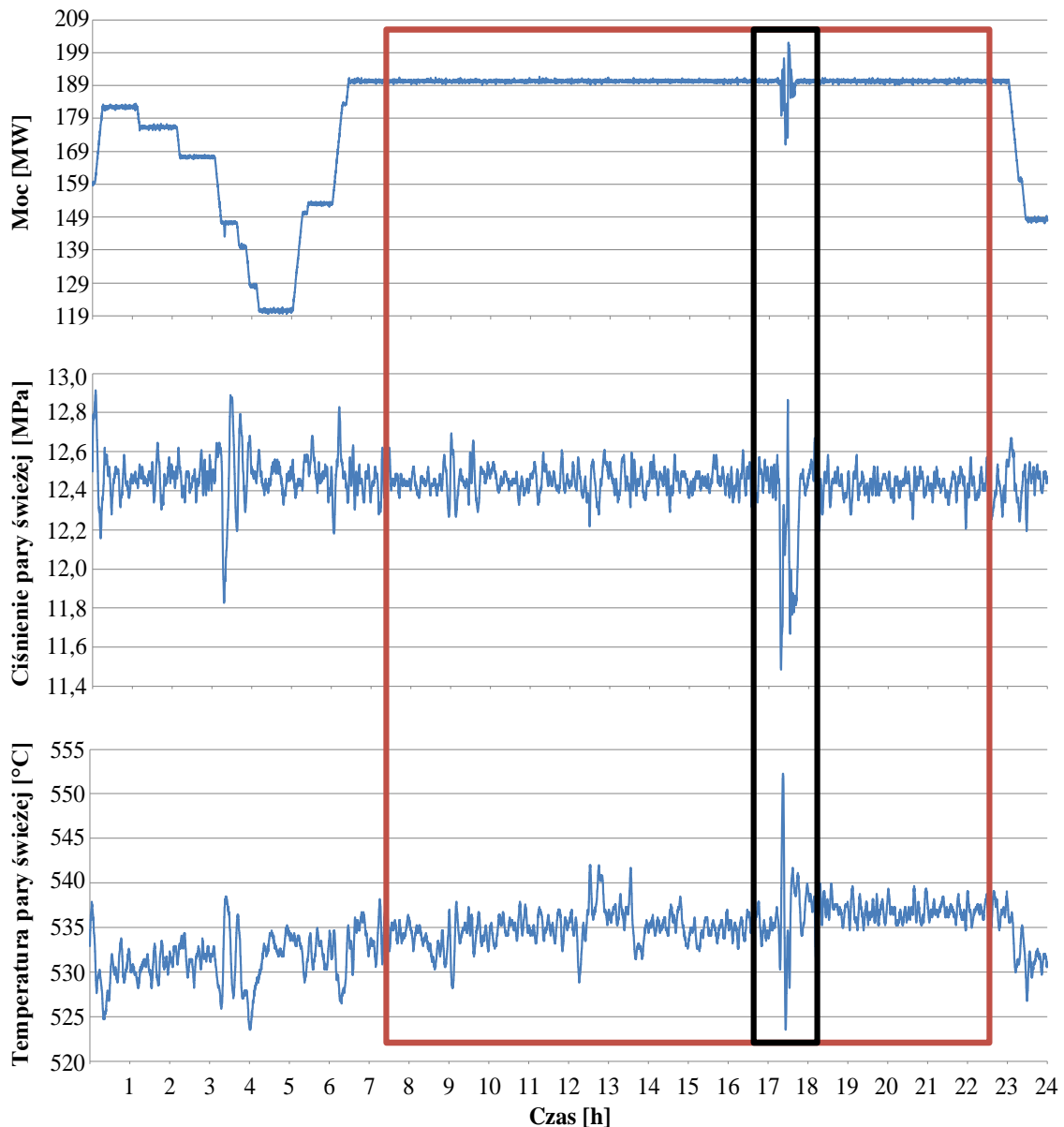
### Kolejne kroki selekcji pomiarów

Przedstawione powyżej uwarunkowania prowadzą do realizacji kolejnych etapów selekcji wyników pomiarów. Po wyselekcjonowaniu zbiorów danych odpowiadających pracy systemu w stanie ustalonym (przykład rys. 4.4) określono zbiór danych referencyjnych. Zbiory danych oczyszczono z tak zwanych błędów grubych (przykład rys. 4.5). Wyselekcjonowane zbiory parametrów pomiarowych oczyszczono również z danych brakujących lub niekompletnych wynikających z chwilowego braku zapisu wielkości zmierzonych w systemie DCS. Uznano, że dane uznane za błędne nie mają znaczącego wpływu na charakterystykę pracy badanego bloku w stanie ustalonym, jednak mogą one zaburzyć prawidłowe określenie wartości parametrów traktowanych jako referencyjne. Zbiór parametrów referencyjnych obejmuje zmienne niezależne oraz zmienne zależne systemu opisane w Rozdziale 3.1. W dalszych badaniach nad metodą oceny pomiaru dane potraktowane jako błędne na tym etapie zostaną uwzględnione w zbiorach parametrów jedynie po to aby zweryfikować przedstawioną metodę.



Rys. 4.4 Przykładowe parametry zarejestrowane dla stanu ustalonego pracy bloku. Czerwoną ramką oznaczono zbiór wyselekcjonowanych danych w stanie ustalonym





Rys. 4.5 Przykład odrzuconych pomiarów, nie uwzględnianych w zbiorze parametrów referencyjnych dla danego stanu ustalonego. Czerwoną ramką oznaczono zbiór wyselekcjonowanych danych w stanie ustalonym. Czarną ramką zaznaczono dane odrzucone uznane za niepoprawne z powodu wystąpienia chwilowego zakłócenia w systemie

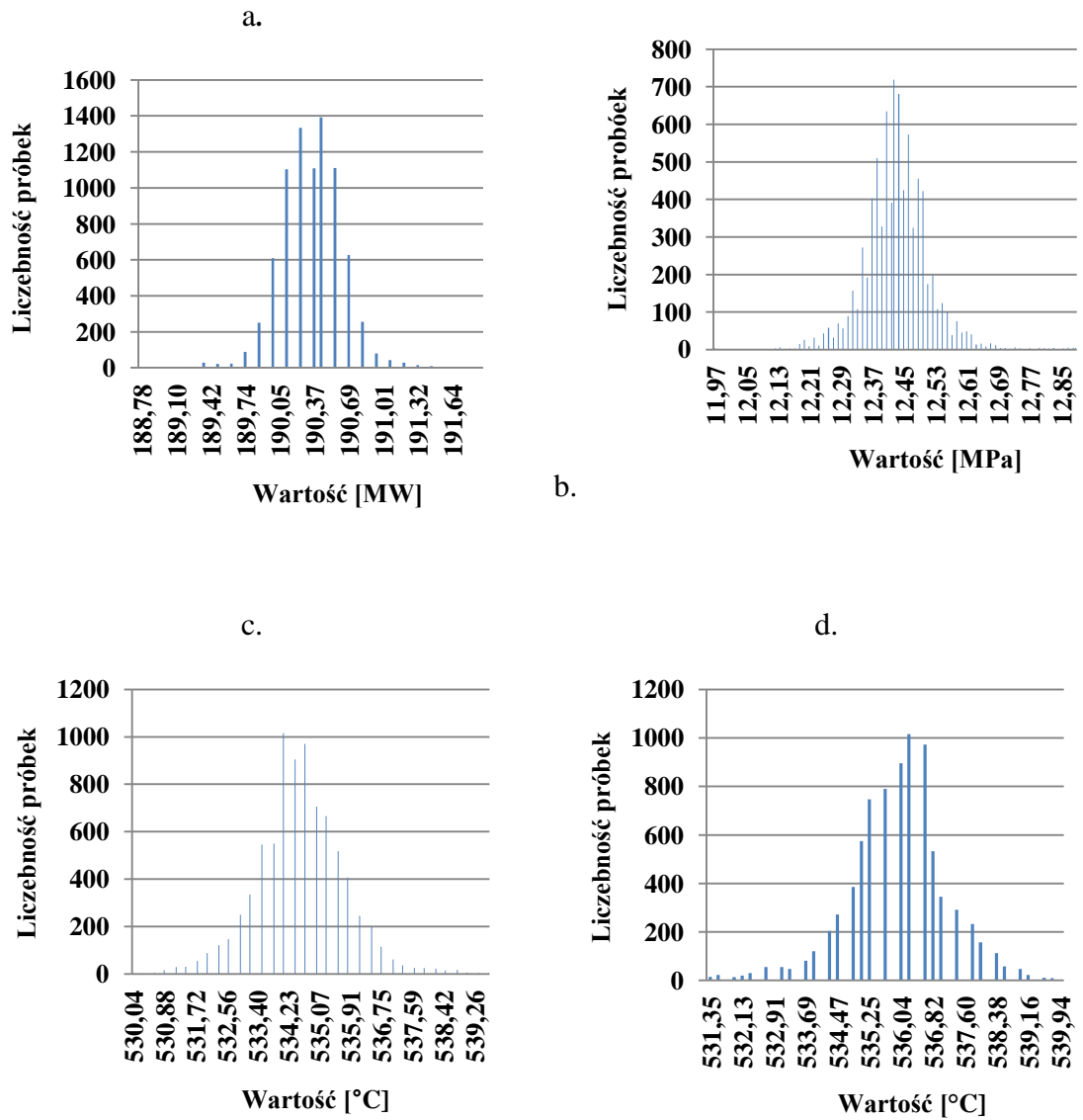
W trakcie pracy nad danymi rzeczywistymi wyznaczono zbiór pomiarów referencyjnych. Zbiór ten stanowi znaczny fragment dobrego pomiaru wykonany dla stanu ustalonego obciążenia, w którym można przyjąć, że układ był ustabilizowany cieplnie. Wyboru danego zbioru dokonano na podstawie obciążenia bloku. Przyjęto zasadę opisywaną w literaturze [56] według, której pomiary cieplno-przepływowe układów charakteryzują się największą dokładnością w obszarach pracy nominalnej.

W przypadku badanego bloku jest to praca przy obciążeniu bliskim 200MW. Ze względu na współpracę układu z krajowym systemem elektroenergetycznym, który

z góry narzuca moc z jaką eksploatowany ma być blok w danym okresie czasu, badany system nie osiągał wartości nominalnej obciążenia w okresie czasu uwzględnionym w analizowanych pomiarach. Z tego też powodu za stan obciążenia referencyjnego przyjęto wartość najbliższą mocy nominalnej osiąganą dla analizowanych zbiorów pomiarowych. Analiza wyselekcjonowanych zbiorów pomiarowych wskazuje, że należy przyjąć do dalszego przetwarzania obciążenie mocą 190MW. Zbiór wybrano również ze względu na pracę ze stałym obciążeniem w trakcie doby poprzedzającej pomiar referencyjny oraz w trakcie kolejnej doby po wykonanym pomiarze.

### 4.3.2 Ocena statystyczna pomiarów

Dla każdego z parametrów zbioru pomiarów traktowanych jako referencyjne określono wartość średnią ( $Z1.8$ ), którą traktuje się jako najlepszą estymatę wartości prawdziwej. W przeprowadzonych badaniach wartość średnią z pomiaru traktuje się jako wartość poprawnego pomiaru. Podejście takie jest możliwe ze względu na dużą liczebność próbek w zbiorze parametrów referencyjnych (ponad 1000). Dokonano oceny statystycznej pomiarów zawartych w zbiorze danych referencyjnych. Ze względu na brak dokładnej informacji na temat metodyki wykonanych pomiarów oraz klasy mierników ocenę ograniczono do wyznaczenia niepewności standardowych typu A (Załącznik 1). Za miarę wyznaczonej w ten sposób niepewności pomiarowej przyjęto odchylenie standardowe wartości oczekiwanej, ( $Z1.7$ ) wyznaczonej przez wspomnianą średnią arytmetyczną. Analizowany zbiór danych referencyjnych zawiera 8142 serie danych pomiarowych. Oznacza to, że dane referencyjne zebrane zostały z prawie całej doby w trakcie której układ pracował nieprzerwanie w stanie ustalonym. Histogramy opisujące fluktuacje poszczególnych danych pomiarowych brane pod uwagę w badaniu przyjmują rozkład zbliżony do rozkładu Gaussa (rys. 4.6). Dlatego też ocena niepewności pomiarowych została oparta na podstawowych parametrach tego rozkładu. Charakterystyki statystyczne zbioru referencyjnego zebrano w Tabela 4.2.



Rys. 4.6 Przykładowe rozkłady (histogramy) parametrów zbioru referencyjnego (a. moc b. ciśnienie pary świeżej c. temperatura pary świeżej d. temperatura pary przegrzanej)

Tabela 4.2 Wartości parametrów zbioru referencyjnego

Parametry niezależne dla bloku							
Parametr	Symbol	Jednostka	Średnia	Min	Max	Odchylenie standardowe	Wzgl. Odchylenie standardowe
Moc	$P$	MW	190,31	188,72	191,89	0,232	0,12%
Temperatura pary świeżej	$t_0$	°C	534,54	529,98	539,65	1,073	0,20%
Ciśnienie pary świeżej	$p_0$	MPa	12,43	11,96	12,89	0,047	0,61%
Temperatura pary przegrzanej	$t_{prz}$	°C	535,83	531,15	539,94	1,039	0,19%
Masowe natężenie wtrysku wody do przegrzewacza wtórnego	$\dot{m}_{wtr2}$	kg/s	76,75	63,09	108,39	5,495	7,16%
Ciśnienie w kondensatorze	$p_k$	kPa	6,193	5,86	6,40	0,104	1,68%
Temperatura wody chłodzącej kondensator	$t_{wch}$	°C	18,53	17,28	19,34	0,43	2,32%
Zmienne zależne dla wymienników regeneracyjnych NP.							
Parametr	Symbol	Jednostka	Średnia	Min	Max	Odchylenie standardowe	Wzgl. Odchylenie standardowe
Temperatura wody na wlocie do wymiennika XN4	$t_{w1}(XN4)$	°C	130,108	129,49	130,81	0,187	0,14%
Temperatura wody na wlocie do wymiennika XN3	$t_{w1}(XN3)$	°C	103,8	103,13	104,44	0,194	0,19%
Temperatura wody na wlocie do wymiennika XN2	$t_{w1}(XN2)$	°C	63,58	62,84	64,31	0,209	0,33%
Temperatura wody na wylocie z wymiennika XN4	$t_{w2}(XN4)$	°C	157,694	156,88	158,35	0,191	0,12%
Temperatura wody na wylocie z wymiennika XN3	$t_{w2}(XN3)$	°C	130,108	129,49	130,81	0,187	0,14%
Temperatura wody na wylocie z wymiennika XN2	$t_{w2}(XN2)$	°C	103,8	103,13	104,44	0,194	0,19%
Temperatura pary w upuście 4	$t_{up4}$	°C	376,112	371,48	378,22	0,814	0,22%
Temperatura pary w upuście 5	$t_{up5}$	°C	296,136	291,79	298,54	0,844	0,28%
Temperatura pary w upuście 6	$t_{up6}$	°C	199,132	194,82	201,27	0,82	0,41%
Ciśnienie pary w upuście 4	$p_{up4}$	Bar	0,387	0,384	0,394	0,0012	0,31%

## Metoda detekcji nieprawidłowego pomiaru

Ciśnienie pary w upuście 5	$p_{up5}$	MPa	0,174	0,172	0,178	0,00076	0,43%
Ciśnienie pary w upuście 6	$p_{up6}$	Bar	0,036	0,034	0,038	0,00045	1,24%
Temperatura skroplin z wymiennika XN4	$t_{s1}(XN4)$	°C	142,911	142,38	143,55	0,153	0,11%
Temperatura skroplin z wymiennika XN3	$t_{s1}(XN3)$	°C	109,344	108,54	110,01	0,179	0,16%
Temperatura skroplin z wymiennika XN2	$t_{s1}(XN2)$	°C	98,809	97,99	99,76	0,219	0,23%
Temperatura skroplin doprowadzanych do wymiennika XN3	$t_{s2}(XN3)$	°C	142,911	142,38	143,55	0,153	0,11%
Temperatura skroplin doprowadzanych do wymiennika XN2	$t_{s2}(XN2)$	°C	109,344	108,54	110,01	0,179	0,16%

Jak wspomniano w Rozdziale 2.2 aby pomiar mógł zostać uznany za referencyjny, musi spełnić wyśrubowane wymagania co do precyzji czujników pomiarowych oraz samej metodologii pomiaru. Najlepiej w celu określenia wartości referencyjnych rzeczywistych parametrów obiegu kierować się pomiarem gwarancyjnym, wykonywanym tuż po oddaniu układu do eksploatacji, kiedy nie występują jeszcze znaczące degradacje elementów systemu. Z braku dostępu do pomiarów gwarancyjnych, dla badanego bloku elektrowni parowej, do określenia parametrów referencyjnych posłużono się pomiarami eksploatacyjnymi. W tym celu wybrano po selekcji jeden zbiór pomiarowy, który najlepiej spełniał warunki przybliżone poniżej. Dokonano analizy dokładności wybranego zbioru pomiarowego. Sprawdzone w jakim stopniu pomiary uznane za referencyjne przekraczają określone według norm [14] dopuszczalne dla pomiaru gwarancyjnego odchylenia od wartości średniej. Uwzględniono dopuszczalne wartości określone dla metody wyznaczania niepewności pomiaru typu A (Tabela Z4.1). Przykład tabeli normatywnej dla pomiarów odbiorczych (gwarancyjnych) zamieszczono w Załącznik 4.

Na podstawie parametrów zbioru referencyjnego (Tabela 4.2) oraz informacji na temat maksymalnych dopuszczalnych odchyżeń parametrów pomiaru gwarancyjnego (Tabela Z4.1, Załącznik 4) dokonano weryfikacji zbioru referencyjnego (Tabela 4.3). Odnosząc się do chwilowych maksymalnych wahań wartości mierzonych w stosunku do wartości średniej pomiar określony jako referencyjny wykazuje większe fluktuacje parametrów niż te dopuszczalne według norm dla pomiaru gwarancyjnego. Należy jednak zauważyć, że pomiar referencyjny wyselekcjonowany został z dostępnych serii pomiarowych wykonanych w trakcie codziennej eksploatacji. Mimo to, chwilowe odchylenia parametrów nie są wyjątkowo duże. Należy również zwrócić uwagę na stosunkowo nieduże wartości odchyżeń standardowych dla parametrów zbioru referencyjnego. Traktując odchylenie standardowe jako miarę niepewności pomiaru można stwierdzić, że jego niewielka wartość świadczy o wysokim prawdopodobieństwie uzyskania pomiaru poprawnego.



Tabela 4.3 Porównanie wartości maksymalnych dopuszczalnych wahań parametrów zbioru referencyjnego do wartości określonych według normy

Zmienna	Maksymalne dopuszczalne nagłe wahania w stosunku do wartości średniej podczas każdego badania według normy (Tabela Z4.1)	Maksymalne dopuszczalne nagłe wahania w stosunku do wartości średniej podczas każdego badania wyznaczona dla zbioru referencyjnego na podstawie danych (Tabela 4.2)
Moc	$\pm 0,25$ %	+ 0,84 % - 0,83 %
Ciśnienie pary dolotowej	$\pm 0,5$ % ciśnienia bezwzględnego	+ 3,8 % - 3,7 %
Temperatura pary dolotowej	$\pm 2$ K	+ 4,56 K - 5,11 K
Temperatura pary wtórnie przegrzanej	$\pm 1$ K	+ 4,68 K - 4,11 K
Temperatura wody chłodzącej na dopływie do skraplacza	$\pm 2$ K	+ 1,25 K - 0,81 K
Ciśnienie upustu 4	patrz uwaga 4	+ 1,15 % - 2,3 %
Ciśnienie upustu 5	patrz uwaga 4	+ 0,93 % - 1,46 %
Ciśnienie upustu 6	patrz uwaga 4	+ 5,21 % - 4,63 %

### 4.3.3 Ustalenie oczekiwanych wartości parametrów na podstawie modelu symulacyjnego

Na podstawie tak przygotowanego zbioru wartości referencyjnych (Tabela 4.4) dla bloku parowego, który pracuje w stanie ustalonym przy obciążeniu 190MW przygotowano dane „wsadowe”, które zostały wprowadzone do programu DIAGAR. Na podstawie tych danych określono dokładne warunki pracy poprawnie pracującego bloku. Oznacza to, że na podstawie procedury postępowania opisanej w Rozdziale 3.2 dla modelu symulacyjnego omawianego bloku parowego określono wartości referencyjne zmiennych zależnych. Stosując kolejne iteracje mające na celu jak najlepsze dostrojenie modelu do warunków rzeczywistej pracy obiegu sprawdzono również poprawność parametrów niezależnych określonych jako referencyjne metodami statystycznymi [57]. Dane uzyskane na podstawie modelu symulacyjnego zaimplementowanego w programie DIAGAR w kolejnych etapach badań posłużyły jako dane wzorcowe w metodzie oceny poprawności pomiarów dla badanego układu (rys. 4.1).

Tabela 4.4 Zbiór danych „wsadowych” dla modelu symulacyjnego stworzonego w programie DIAGAR (rys. 3.5)

Numer aparatu	Nazwa aparatu	Wprowadzane parametry
500G	Kocioł	Strumień masy pary świeżej
		Ciśnienie pary świeżej
		Temperatura pary świeżej
44G	I Grupa stopni turbiny WP	Ciśnienie pary za stopniem regulacyjnym
		Entalpia pary na wlocie do części WP
		Ciśnienie w komorze stopnia regulacyjnego
		Ciśnienie pary za I grupą stopni WP
		Strumień masy pary przepływający przez I grupę stopni
		Sprawność I grupy stopni
44G	II Grupa stopni turbiny WP	Entalpia pary na dolocie do II grupy stopni WP
		Ciśnienie pary na dolocie do II grupy stopni WP
		Ciśnienie pracy na wylocie z II grupy stopni WP
		Strumień masy pary przepływający przez II grupę stopni WP
		Sprawność II grupy stopni WP
316G	Przegrzewacz międzystopniowy	Oszacowana strata ciśnienia
		Temperatura pary za przegrzewem międzystopniowym
		Strumień masy wtrysku wtórnego
44G	I Grupa stopni turbiny SP	Entalpia pary na dolocie do I grupy stopni SP
		Ciśnienie pary na dolocie do I grupy stopni SP
		Ciśnienie pracy na wylocie z I grupy stopni SP
		Strumień masy pary przepływający przez I grupę stopni SP
		Sprawność I grupy stopni SP
44G	II Grupa stopni turbiny SP	Entalpia pary na dolocie do II grupy stopni SP
		Ciśnienie pary na dolocie do II grupy stopni SP
		Ciśnienie pracy na wylocie z II grupy stopni SP
		Strumień masy pary przepływający przez II grupę stopni SP
		Sprawność II grupy stopni SP
44G	III Grupa stopni turbiny SP	Entalpia pary na dolocie do III grupy stopni SP
		Ciśnienie pary na dolocie do III grupy stopni SP
		Ciśnienie pracy na wylocie z III grupy stopni SP
		Strumień masy pary przepływający przez III grupę stopni SP
		Sprawność III grupy stopni SP
44G	IV Grupa stopni turbiny SP	Entalpia pary na dolocie do IV grupy stopni SP
		Ciśnienie pary na dolocie do IV grupy stopni SP
		Ciśnienie pracy na wylocie z IV grupy stopni SP
		Strumień masy pary przepływający przez IV grupę stopni SP
		Sprawność IV grupy stopni SP
351G	Strata ciśnienia w rurociągu między kałłubem SP i NP.	

44G	I Grupa stopni turbiny NP	Entalpia pary na dolocie do I grupy stopni NP.
		Ciśnienie pary na dolocie do I grupy stopni NP.
		Ciśnienie pracy na wylocie z I grupy stopni NP.
		Strumień masy pary przepływający przez I grupę stopni NP.
		Sprawność I grupy stopni NP.
44G	II Grupa stopni turbiny NP	Entalpia pary na dolocie do II grupy stopni NP.
		Ciśnienie pary na dolocie do II grupy stopni NP.
		Ciśnienie pracy na wylocie z II grupy stopni NP.
		Strumień masy pary przepływający przez II grupę stopni NP.
		Sprawność II grupy stopni NP.
405	Skraplacz	Temperatura wody chłodzącej na dolocie do skraplacza
		Ciśnienie w skraplaczu
445	Wymiennik regeneracyjny XW7	Spiętrzenie temperatur
		Przechłodzenie skroplin
440	Wymiennik regeneracyjny XW6	Spiętrzenie temperatur
		Przechłodzenie skroplin
435	Wymiennik regeneracyjny XW5	Spiętrzenie temperatur
		Przechłodzenie skroplin
395	Wymiennik regeneracyjny XN4	Spiętrzenie temperatur
		Przechłodzenie skroplin
390	Wymiennik regeneracyjny XN3	Spiętrzenie temperatur
		Przechłodzenie skroplin
375	Wymiennik regeneracyjny XN2	Spiętrzenie temperatur
		Przechłodzenie skroplin
350	Wymiennik regeneracyjny XN1	Spiętrzenie temperatur
		Przechłodzenie skroplin

Na tym etapie prac poza przygotowaniem danych referencyjnych koniecznych do przeprowadzenia metody detekcji poprawności pomiaru sprawdzono również, czy można mówić o powtarzalności stanów pracy układu. Powtarzalność ta ma kluczowe znaczenia dla opracowywanej metody. Jeżeli blok elektrowni przy tym samym obciążeniu może pracować w innych warunkach cieplnych (ciśnienia, temperatury) metoda oceny pomiaru odnosząca się do parametrów referencyjnych pracy nie mogłaby zostać z powodzeniem zaimplementowana, ponieważ przy różnych warunkach pracy układu dla danego obciążenia trudno byłoby określić poprawną wartość parametrów, do której odnosi się cała metoda.

Dlatego też dokonano sprawdzenia odchyłeń parametrów zależnych oraz niezależnych bloku, dla różnych zbiorów danych pozyskanych na przestrzeni 30 dni wykonywanych pomiarów. Cechą wspólną zbiorów była ta sama moc jaką obciążony był układ, w tym przypadku przyjęto wartość około 190MW. Zbiory wyselekcjonowano tak, aby spełniały założenia pomiaru w warunkach stabilizacji cieplnej. Dla każdego parametru uwzględnionego w danym zbiorze wyznaczono wartość średnią (Tabela 4.5). Wartość ta posłużyła do porównania powtarzalności parametrów pracy układu przy danym obciążeniu. Spośród wyznaczonych średnich wybrano wartości najbardziej odbiegające od wartości parametru referencyjnego (Tabela 4.2). Na tej podstawie



wyznaczono maksymalne odchylenia parametrów danego zbioru od wartości referencyjnych (Tabela 4.6). Wartości te odniesiono do norm dotyczących maksymalnego dopuszczalnego odchylenia wartości średniej od wartości podstawowej dla pomiaru uznawanego za poprawny (Tabela 4.2).

Na podstawie tego porównania można uznać, że warunki pracy bloku w przypadku zachowanych tych samych obciążeń są powtarzalne. Jedynie parametry odnoszące się do pracy kondensatora (temperatura wody chłodzącej, ciśnienie w kondensatorze) oraz masa wtrysku wtórnego nie może zostać uznana za parametr powtarzalny przy danym obciążeniu. Brak powtarzalności parametrów pracy kondensatora został wyszczególniony w Tabeli 4.6 (parametry zaznaczone na czerwonym tle).

Jeżeli chodzi o parametry opisujące pracę kondensatora, należy pamiętać, że zarówno temperatura wody chłodzącej skraplacz jak i wynikające pośrednio z tej temperatury ciśnienie w skraplaczu ściśle związane jest z warunkami otoczenia panującymi w trakcie wykonywanych pomiarów. Ponieważ woda chłodząca kondensator pobierana jest z naturalnego zbiornika otwartego jej temperatura bezpośrednio zależy od warunków pogodowych tj. od temperatury powietrza. W przypadku pomiarów wykonywanych w sposób ciągły należy pamiętać, że temperatura otoczenia podlega wahaniom zarówno ze względu na porę dnia jak i ze względu na porę roku. Wraz z dobowymi oraz rocznymi wahaniami temperatury wody chłodzącej występują wahania ciśnienia panującego w kondensatorze.

W przypadku masy wtrysku wtórnego należy pamiętać, że jest to wielkość służąca do regulacji temperatury pary przegrzanej. W tym przypadku masa zależy bezpośrednio od potrzeb regulacji bloku oraz od działania samego układu regulacji. Dlatego też nie można traktować tej wartości jako powtarzalnej.

Tabela 4.5 Zbiór wartości średnich parametrów badanego bloku dla obciążenia 190MW, #- oznacza brak pomiaru

Parametr	Jednostka	8.11	9.11	12.11	13.11	14.11	14.11	15.11	15.11
Moc	MW	190,31	190,31	190,31	190,24	190,39	190,29	190,31	190,30
Temperatura pary świeżej	°C	#	#	534,15	533,61	530,87	530,94	532,24	534,24
Ciśnienie pary świeżej	MPa	12,43	12,43	12,42	12,46	12,48	12,47	12,45	12,43
Temperatura pary przegrzanej	°C	535,48	535,46	535,57	535,52	535,52	535,54	535,52	535,47
Masowe natężenie wtrysku wody do przegrzewacza wtórnego	t/h	#	#	69,14	72,76	78,87	74,70	76,52	90,51
Ciśnienie w kondensatorze	kPa	6,98	6,82	#	#	#	#	#	#
Temperatura wody chłodzącej kondensator	°C	21,28	21,07	20,51	22,98	23,10	22,91	22,63	22,69

## Metoda detekcji nieprawidłowego pomiaru

Temperatura wody na wlocie do wymiennika XN4	°C	130,34	130,27	130,16	130,51	130,65	130,63	130,67	130,63
Temperatura wody na wylocie z wymiennika XN3	°C	157,90	157,85	157,77	158,06	158,21	158,15	158,20	158,15
Temperatura skroplin z wymiennika XN4	°C	143,15	143,08	143,04	143,27	143,43	143,35	143,46	143,38
Temperatura pary w upuście 4	°C	375,66	375,66	375,79	376,22	375,69	375,44	375,69	375,95
Ciśnienie pary w upuście 4	°C	0,390	0,389	0,388	0,392	0,394	0,396	0,395	0,395
Temperatura wody na wlocie do wymiennika XN3	°C	104,13	104,05	104,03	104,36	104,44	104,41	104,45	104,41
Temperatura skroplin z wymiennika XN3	°C	109,62	109,59	109,46	109,83	110,04	110,02	110,04	109,93
Temperatura pary w upuście 5	°C	295,89	295,79	295,74	296,17	295,95	296,25	296,10	296,07
Ciśnienie pary w upuście 5	MPa	0,174	0,174	0,174	0,176	0,177	0,177	0,179	0,179
Temperatura wody na wlocie do wymiennika XN2	°C	64,64	64,42	64,25	65,19	65,24	65,28	65,15	65,11
Temperatura skroplin z wymiennika XN2	°C	99,30	99,19	99,10	99,57	99,73	99,71	99,67	99,54
Temperatura pary w upuście 6	°C	199,10	199,06	199,04	199,30	199,22	199,26	199,22	199,19
Ciśnienie pary w upuście 6	MPa	0,038	0,037	0,037	0,038	0,039	0,038	0,039	0,039
<b>Parametr</b>	<b>Jednostka</b>	<b>16.11</b>	<b>17.11</b>	<b>18.11</b>	<b>19.11</b>	<b>19.11</b>	<b>19.11</b>	<b>20.11</b>	<b>20.11</b>
Moc	MW	190,30	190,31	190,32	190,31	190,42	190,32	190,31	190,32
Temperatura pary świeżej	°C	534,23	534,54	534,03	533,81	533,96	533,27	534,03	530,37
Ciśnienie pary świeżej	MPa	12,43	12,43	12,43	12,43	12,42	12,43	12,45	12,42
Temperatura pary przegrzanej	°C	535,58	535,83	536,45	536,60	536,47	536,49	536,50	535,47
Masowe natężenie wtrysku wody do przegrzewacza wtórnego	t/h	76,84	76,75	71,40	69,31	66,01	70,17	67,90	76,,88
Ciśnienie w kondensatorze	kPa	#	6,19	6,00	5,66	5,58	5,82	5,83	5,64
Temperatura wody chłodzącej kondensator	°C	21,20	18,54	17,95	16,27	15,90	17,03	17,05	16,03
Temperatura wody na wlocie do wymiennika	°C	130,47	130,11	129,90	129,85	129,81	129,96	129,91	129,94



## Metoda detekcji nieprawidłowego pomiaru

XN4									
Temperatura wody na wylocie z wymiennika XN3	°C	158,03	157,69	157,46	157,44	157,39	157,50	157,45	157,48
Temperatura skroplin z wymiennika XN4	°C	#	142,91	142,71	142,69	142,63	142,77	142,71	142,75
Temperatura pary w upuście 4	°C	376,36	376,11	376,33	376,74	376,81	376,80	376,52	375,81
Ciśnienie pary w upuście 4	°C	0,393	0,388	0,385	0,383	0,382	0,384	0,383	0,383
Temperatura wody na wlocie do wymiennika XN3	°C	104,25	103,81	103,54	103,44	103,39	103,58	103,54	103,48
Temperatura skroplin z wymiennika XN3	°C	109,69	109,34	109,22	109,07	109,02	109,17	109,12	109,16
Temperatura pary w upuście 5	°C	296,35	296,13	296,27	296,46	296,78	296,49	296,06	295,89
Ciśnienie pary w upuście 5	MPa	0,178	0,174	0,172	0,171	0,170	0,172	0,171	0,171
Temperatura wody na wlocie do wymiennika XN2	°C	64,52	63,52	63,18	62,79	62,61	63,10	63,00	62,65
Temperatura skroplin z wymiennika XN2	°C	99,29	98,74	98,64	98,49	98,41	98,59	98,53	98,50
Temperatura pary w upuście 6	°C	199,37	199,13	199,23	199,45	199,52	199,34	198,99	198,73
Ciśnienie pary w upuście 6	MPa	0,039	0,038	0,036	0,036	0,035	0,035	0,036	0,036

Tabela 4.6 Zbiór danych przedstawiający maksymalne (Max) oraz minimalne (Min) odchylenie średnich od wartości referencyjnych

wartości Parametr	Jednostka	Wartość referencyjna	Wartość Min	Wartość Max	Odchylenie wartości Min od wartości referencyjnej	Odchylenie wartości Max od wartości referencyjnej
Moc	MW	190,31	190,24	190,42	0,037%	0,0565%
Temperatura pary świeżej	°C	534,54	530,37	534,54	0,78%	0,001%
Ciśnienie pary świeżej	MPa	12,43	12,42	12,48	0,108%	0,369%
Temperatura pary przegrzanej	°C	535,83	535,46	536,63	0,069%	0,15%
Masowe natężenie wtrysku wody do przegrzewacza wtórnego	t/h	75,75	66,01	90,51	14%	17,93%
Ciśnienie w kondensatorze	kPa	6,193	5,58	6,98	9,828%	12,78%

## Metoda detekcji nieprawidłowego pomiaru

Temperatura wody chłodzącej kondensator	°C	18,53	15,90	23,10	14,17%	24,65%
Temperatura wody na wlocie do wymiennika XN4	°C	130,11	129,81	130,67	0,226%	0,436%
Temperatura wody na wylocie z wymiennika XN3	°C	157,69	157,39	158,21	0,191%	0,33%
Temperatura skroplin z wymiennika XN4	°C	142,91	142,63	143,46	0,196%	0,383%
Temperatura pary w upuście 4	°C	376,11	375,44	376,81	0,177%	0,187%
Ciśnienie pary w upuście 4	°C	0,387	0,382	0,396	0,98%	2,275%
Temperatura wody na wlocie do wymiennika XN3	°C	103,80	103,39	104,45	0,392%	0,624%
Temperatura skroplin z wymiennika XN3	°C	109,34	109,02	110,04	0,298%	0,637%
Temperatura pary w upuście 5	°C	296,14	295,74	296,78	0,135%	0,218%
Ciśnienie pary w upuście 5	MPa	0,174	0,170	0,179	2,019%	2,784%
Temperatura wody na wlocie do wymiennika XN2	°C	63,58	62,61	65,28	1,533%	2,671%
Temperatura skroplin z wymiennika XN2	°C	98,81	98,41	99,73	0,408%	0,930%
Temperatura pary w upuście 6	°C	199,13	198,73	199,52	0,202%	0,196%
Ciśnienie pary w upuście 6	MPa	0,038	0,036	0,039	4,054%	2,786%

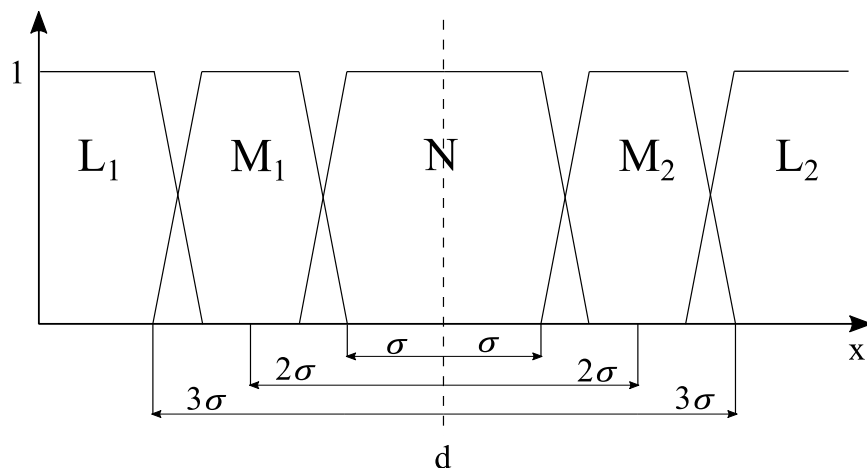


## 4.4. Określenie zmiennych, przestrzeni lingwistycznych oraz reguł rozmytych

Na wejście systemu wprowadzono dwie zmienne lingwistyczne: „jakość pomiaru”  $X_1$  oraz „częstość wartości pomiaru”  $X_2$ . Na wyjściu systemu określano jedną zmienną lingwistyczną „oceny poprawności pomiaru”  $y$ . Dla wyjściowej zmiennej lingwistycznej  $y$  służącej do oceny poprawności pomiaru określono trzy zbiory ( $G$ -Good,  $S$ - Suspect,  $B$ -Bad) w przestrzeni lingwistycznej. W tym przypadku ze względu na potrzebę uzyskania binarnej (jednoznacznej) oceny pomiaru posłużono się zbiorami rozłącznymi. Dla wartości zmiennej  $G$  (Good) zakres określono w granicach od 0 do 0,25, dla wartości zmiennej  $S$  (Suspect) zakres wynosi od 0,25 do 0,75, natomiast dla wartości zmiennej  $B$  wynosi on od 0,75 do 1.

### 4.4.1 Zmienna lingwistyczna: jakość pomiaru

Przestrzeń zmiennej lingwistycznej ( $X_1$ ) „jakość pomiaru” identyfikowana jest dla wszystkich badanych parametrów (np. moc, ciśnienie, temperatura) Wyznaczono wartości lingwistyczne: Normal ( $N$ ), Medium ( $M_1, M_2$ ), Large ( $L_1, L_2$ ). Środki oraz rozpiętości tych zbiorów uzależnione są od wartości odchylenia standardowego badanego parametru (rys. 4.7).

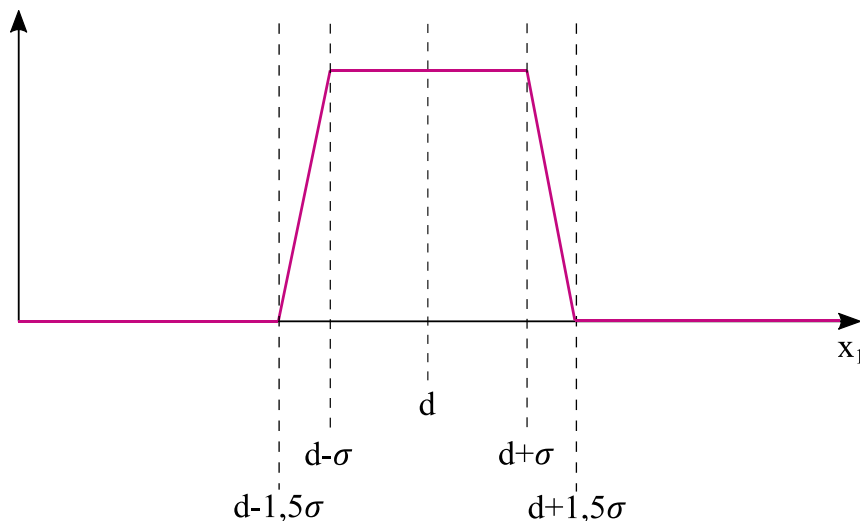


Rys. 4.7 Przestrzeń lingwistyczna zmiennej  $X_1$

Odchylenie standardowe ( $\sigma$ ) należy traktować jako wielkość charakteryzującą miernik. W prezentowanym podejściu odchylenie standardowe służy od określenia przedziałów, dla których uważa się pomiar poddawany ocenie za poprawny. W tym celu zastosowano metody statystyczne, służące do wyznaczenia niepewności

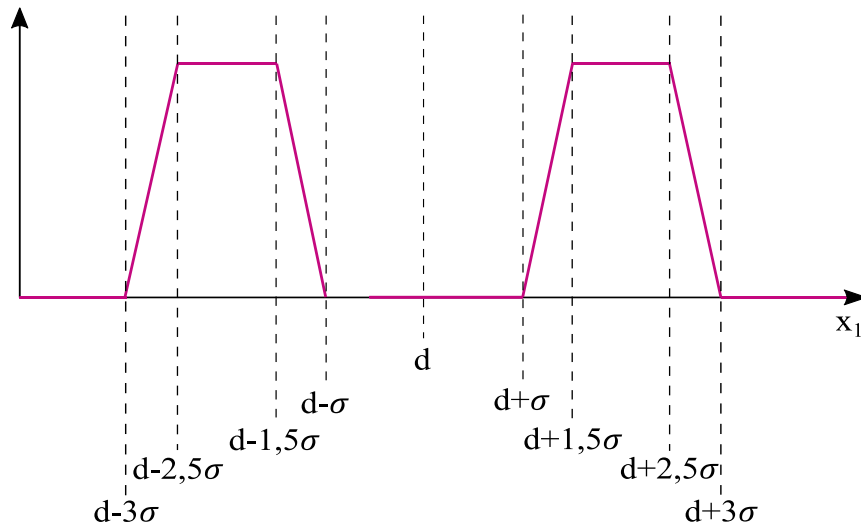
standardowych typu A (Załącznik 1). Wartość wzorcową danego parametru wyznaczono na podstawie modelu symulacyjnego (Rozdział 3.2). W tym przypadku traktowano ją jako najlepszą estymatę wartości oczekiwanej ( $d$ ), wokół której zbudowano przestrzeń lingwistyczną zmiennej  $X_1$ .

Dla zbioru danych referencyjnych wyznaczono również odchylenie standardowe  $\sigma$  typu A (Z1.7). Odchylenie standardowe w tym przypadku uznano za równoznaczne z niepewnością pojedynczego pomiaru  $u(x)$ . Można uznać, że takie podejście jest prawidłowe, jeżeli ilość  $n$  próbek badanego zbioru jest wystarczająco liczebna ( $n \geq 30$ ). Niepewności pomiarowe określono za pomocą analizy statystycznej, uwzględniając znikomą wiedzę na temat metodyki pomiaru oraz samych przyrządów mierniczych, co zostało szerzej opisane w Załącznik 1. Dla zmiennej lingwistycznej  $X_1$  opisującej „jakość pomiaru” określono 3 zbiory opisujące przestrzeń lingwistyczną ( $N$ - Normal,  $M_1, M_2$  - Medium,  $L_1, L_2$ - Large). W tym celu zastosowano funkcję klasy  $\Gamma$  (Z2.13), funkcję klasy L (Z2.14) oraz funkcję trapezową (Z2.16). Rozpiętość zbiorów wyznaczona została na podstawie reguły trzech sigm ( $3\sigma$ ) opisanej w Załącznik 1.



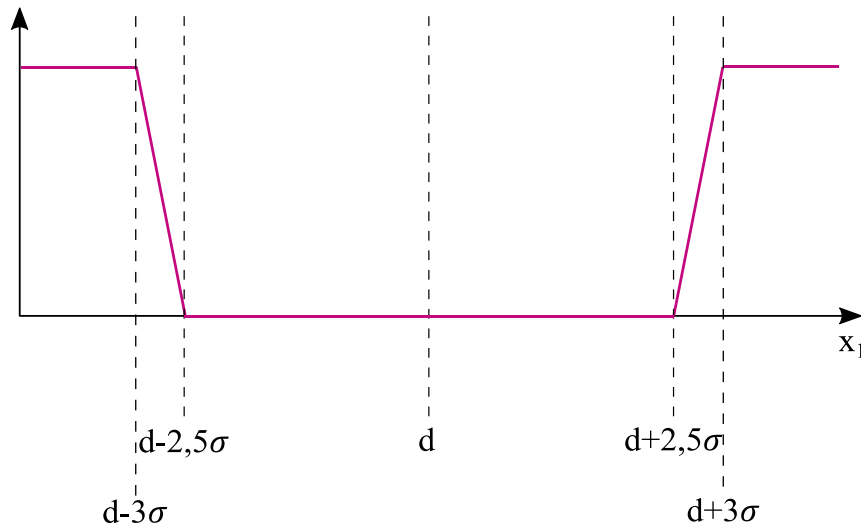
Rys. 4.8 Zbiór N – Normal opisujący przestrzeń lingwistyczną zmiennej  $X_1$

$$N(X_1) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq d - 1,5\sigma \vee x \geq d + 1,5\sigma \\ \frac{x - (d - 1,5\sigma)}{(d - \sigma) - (d - 1,5\sigma)} & \text{dla } d - 1,5\sigma < x \leq d - \sigma \\ 1 & \text{dla } d - \sigma < x < d + \sigma \\ \frac{(d + 1,5\sigma) - x}{(d + 1,5\sigma) - (d + \sigma)} & \text{dla } d + \sigma < x < d + 1,5\sigma \end{cases} \quad (4.1)$$



Rys. 4.9 Zbiór M – Medium opisujący przestrzeń lingwistyczną zmiennej  $X_1$

$$\begin{aligned}
 M(X_1) &= \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq d - 3\sigma \vee x \geq d + 3\sigma \\ & \vee d - \sigma \leq x \leq d + \sigma \\ \frac{x - (d - 3\sigma)}{(d - 2,5\sigma) - (d - 3\sigma)} & \text{dla } d - 3\sigma < x \leq d - 2,5\sigma \\ 1 & \text{dla } d - 2,5\sigma < x < d - 1,5\sigma \\ & \vee d + 1,5\sigma < x < d + 2,5\sigma \\ \frac{(d - \sigma) - x}{(d - \sigma) - (d - 1,5\sigma)} & \text{dla } d - 1,5\sigma \leq x < d - \sigma \\ \frac{x - (d + \sigma)}{(d + 1,5\sigma) - (d + \sigma)} & \text{dla } d + \sigma < x \leq d + 1,5\sigma \\ \frac{(d + 3\sigma) - x}{(d + 3\sigma) - (d + 2,5\sigma)} & \text{dla } d + 2,5\sigma \leq x < d + 3\sigma \end{cases} \quad (4.2)
 \end{aligned}$$

Rys. 4.10 Zbiór L – Large opisujący przestrzeń lingwistyczną zmiennej  $X_1$ 

$$L(X_1) = \begin{cases} 1 & \text{dla } x \leq d - 3\sigma \vee x \geq d + 3\sigma \\ \frac{(d - 2,5\sigma) - x}{(d - 2,5\sigma) - (d - 3\sigma)} & \text{dla } d - 3\sigma < x \leq d - 2,5\sigma \\ \frac{x - (d + 2,5\sigma)}{(d + 3\sigma) - (d + 2,5\sigma)} & \text{dla } d + 2,5\sigma < x \leq d + 3\sigma \\ 0 & \text{dla } d - 2,5\sigma < x \leq d + 2,5\sigma \end{cases} \quad (4.3)$$

Tabela 4.7 Wartości oczekiwanych  $d$  oraz odchyłeń standardowych  $\sigma$  dla parametrów systemu poddanych ocenie wiarygodności pomiaru

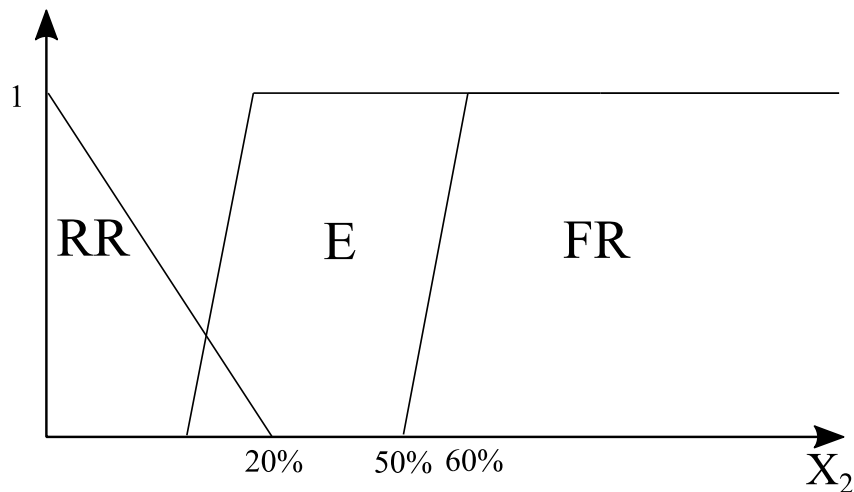
Parametr	Jednostka	$d$	$\sigma$
Moc	MW	190,31	0,232
Temperatura pary świeżej	°C	534,54	1,073
Ciśnienie pary świeżej	MPa	12,43	0,075
Temperatura pary przegrzanej	°C	535,83	1,039
Temperatura wody na wylocie z wymiennika XN4	°C	157,69	0,191
Temperatura wody na wlocie do wymiennika XN4/ Temperatura wody na wylocie z wymiennika XN3	°C	130,11	0,187
Temperatura skroplin z wymiennika XN4	°C	142,91	0,153



Temperatura pary w upuście 4	°C	376,11	0,814
Ciśnienie pary w upuście 4	MPa	0,388	0,0012
Temperatura wody na wlocie do wymiennika XN3/Temperatura wody na wylocie z wymiennika XN2	°C	103,81	0,194
Temperatura skroplin z wymiennika XN3	°C	109,34	0,179
Temperatura pary w upuście 5	°C	296,14	0,844
Ciśnienie pary w upuście 5	MPa	0,174	0,000758
Temperatura wody na wlocie do wymiennika XN2	°C	63,58	0,209
Temperatura skroplin z wymiennika XN2	°C	98,81	0,222
Temperatura pary w upuście 6	°C	199,13	0,820
Ciśnienie pary w upuście 6	MPa	0,036	0,000451

#### 4.4.2 Zmienna lingwistyczna: częstość wartości pomiaru

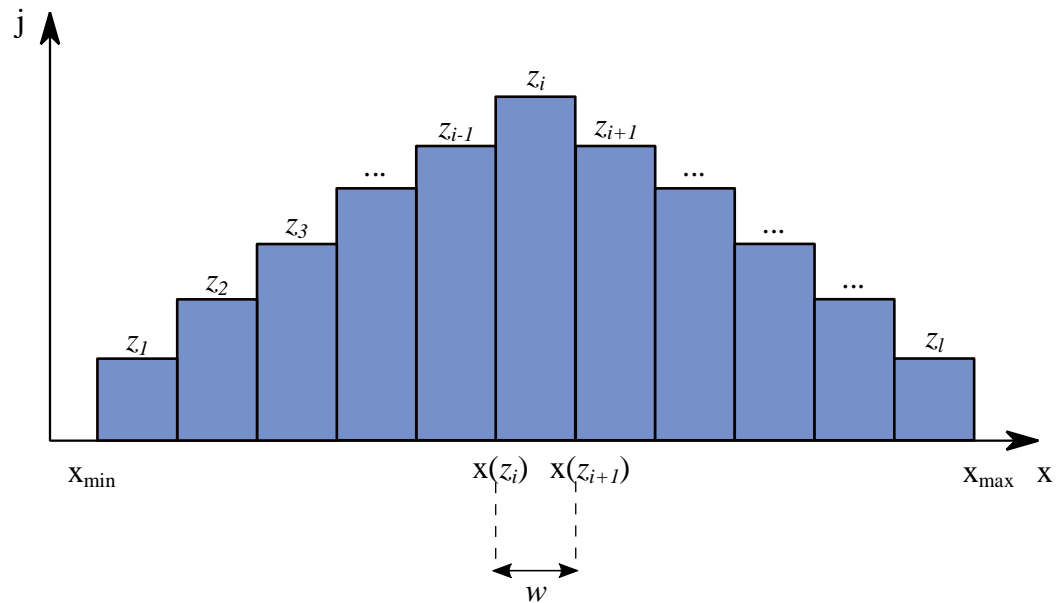
Analizując dostępne pomiary zaobserwowano, że mierzone wartości powtarzają się. Uwzględniając czas obserwacji wyznaczono częstość występowania próbek o danej wartości (lub w pewnym wąskim zakresie). Wykorzystując tę wiedzę zaproponowano zmienną lingwistyczną „częstość wartości pomiaru”  $X_2$ , która przyjmuje wartości: Rare ( $RR$ ), Expected ( $E$ ), Frequent ( $FR$ ) (rys. 4.11). Zmienna ta opisuje częstość  $\nu$  występowania danej, konkretnej wartości w pewnym okresie czasu. Odnosi się ona do charakteru pomiaru uwzględniając wahania oraz fluktuacje wynikające zarówno ze specyfiki pracy badanego bloku energetycznego jak i z samej metodologii wykonanego pomiaru.



Rys. 4.11 Przestrzeń lingwistyczna zmiennej  $X_2$  (częstość wartości pomiaru)

W celu określenia funkcji przynależności dla poszczególnych zbiorów oraz rozpiętości tych zbiorów posłużono się wiedzą oraz doświadczeniem innych badaczy [16]. Ze względu na unikalny charakter pozyskanych pomiarów wynikający z pracy badanego układu. Badany układ jest układem jednostkowym i niepowtarzalnym, dlatego zakresy zaproponowane w literaturze zostały nieco zmienione, tak aby lepiej ująć charakter parametrów poddawanych ocenie.

Zebrane dane zostały poddane wstępnej obróbce oraz selekcji. Na tej podstawie utworzono zbiór referencyjny (Rozdział 4.3). Zbiór ten zawiera dane, które charakteryzują wybrane parametry. Przeanalizowano powtarzające się wartości. Ze względu na specyfikę mierzonych parametrów nie można mówić o powtarzalności dokładnie tej samej wartości pomiaru. Dlatego też przestrzeń zbioru referencyjnego podzielono na wąskie zakresy  $z$ , w obszarze których badano ilość próbek  $j$  należących do danego przedziału (rys. 4.12).



Rys. 4.12 Schemat przedstawiający podział przestrzeni parametru zbioru referencyjnego na  $l$  przedziałów o szerokości  $w$

Szerokość poszczególnych przedziałów  $w$  określono na podstawie:  $l$  ilości przedziałów  $z_i$ , dla  $i = 1, \dots, l$  wartości minimalnej  $x_{\min}$  oraz wartości maksymalnej  $x_{\max}$  parametru należącego do zbioru referencyjnego (4.4).

$$w = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{n} \quad (4.4)$$

Określono zakresy poszczególnych przedziałów począwszy od wartości minimalnej próbki z danego przedziału  $x(z_i)_{\min}$ . (4.5)

$$x(z_i)_{\min} \leq z_i < x(z_i)_{\min} + w \quad (4.5)$$

$$z_{i-1} \leq z_i < z_{i+1}$$

Następnie ustalono procentowy udział wszystkich próbek zbioru w poszczególnych przedziałach przestrzeni zbioru. Procentowy udział próbek w przedziałach określa się mianem częstości  $v$  (4.6).

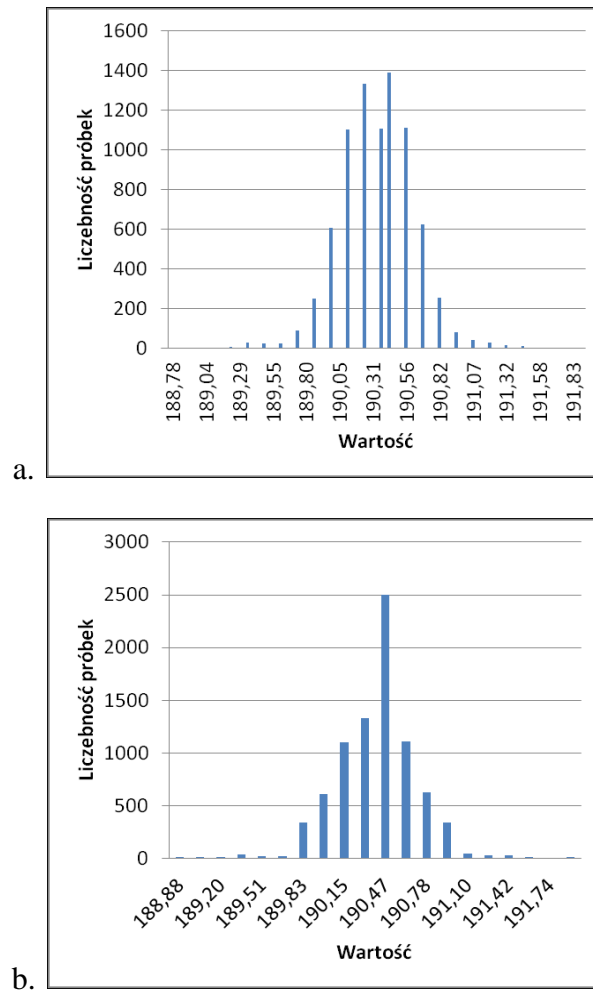
$$v = \frac{j}{l} * 100\% \quad (4.6)$$

gdzie

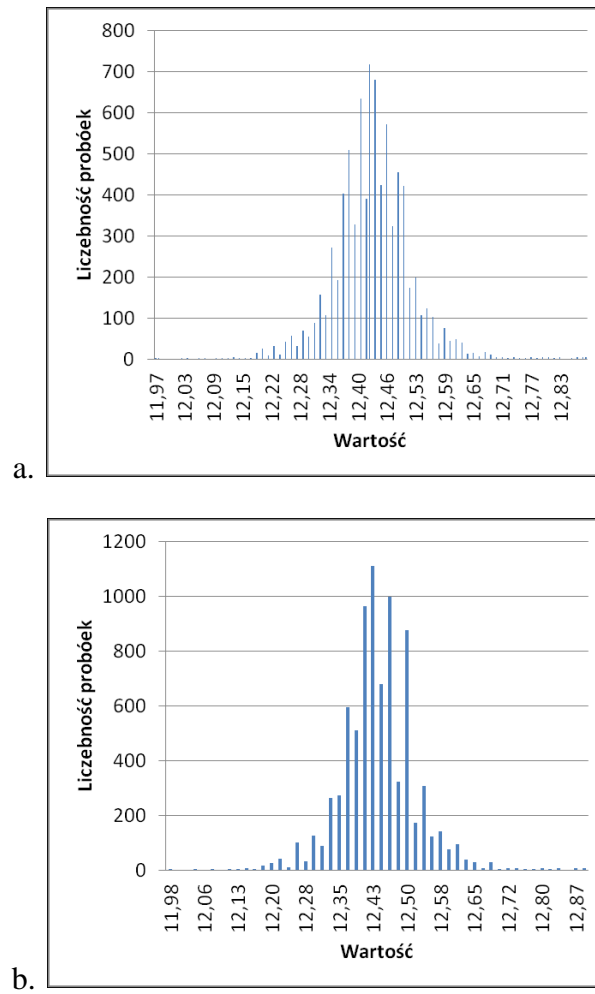
$j$  - liczba próbek w danym przedziale,

$l$  - liczba wszystkich próbek w zbiorze.

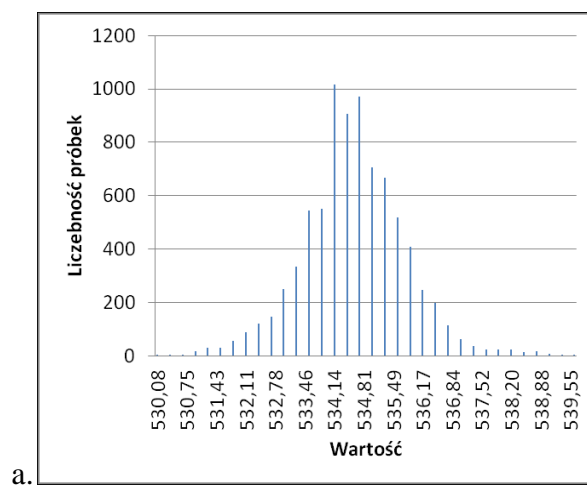
Dla każdego z parametrów zbioru referencyjnego liczbę przedziałów  $z$  dobrano tak, aby rozkład liczebności próbek  $j$  przyjmował charakter zbliżony do rozkładu Gaussa. W tym celu wykorzystano metodę histogramu (rys. 4.13-4.15). Ze względu na różny charakter rozkładu wartości mierzonych parametrów zależny od typu pomiaru (tj. pomiar mocy  $P$ , temperatury  $t$ , ciśnienia  $p$ ) liczbę  $l$  zbiorów  $z$ , dla każdego z parametrów należało dobrać indywidualnie, tak aby uwzględnić naturalne wahania oraz fluktuacje.

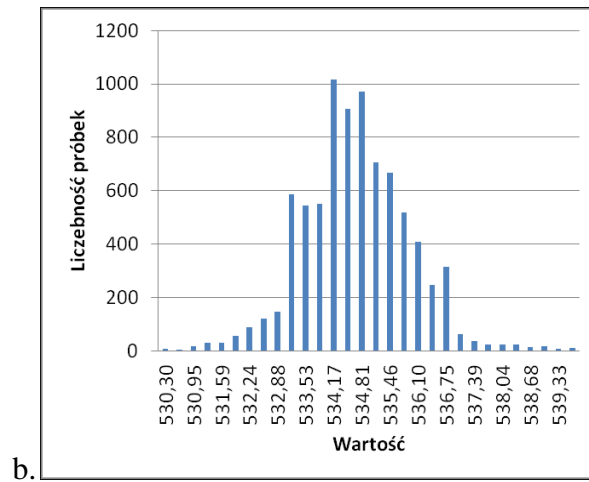


Rys. 4.13 Histogramy przedstawiające rozkład wartości mierzonych mocy [MW] ze względu na liczbę zbiorów  $l$  a.  $l=50$ , b.  $l=20$



Rys. 4.14 Histogramy przedstawiające rozkład wartości mierzonych ciśnienia pary świeżej [MPa] ze względu na liczbę zbiorów  $l$  a.  $l=100$ , b.  $l= 50$





Rys. 4.15 Histogramy przedstawiające rozkład wartości mierzonych temperatury pary świeżej [°C] ze względu na liczbę zbiorów  $l$  a.  $l=100$ , b.  $l=50$

Z obserwacji wynika, że dla parametrów takich jak np. moc  $P$  czy ciśnienie pary świeżej  $p_0$ , które w trakcie eksploatacji systemu podlegają ścisłej regulacji, co przyczynia się do zmniejszenia wahań i fluktuacji wartości mierzonych. Można zastosować większą liczbę  $l$  zbiorów  $z$ . Zabieg ten spowoduje zawężenie szerokości przedziałów  $w$ . W przypadku pomiarów temperatury  $t$ , których wartości charakteryzują się mniejszą powtarzalnością z powodu występowania fluktuacji wynikających z pracy systemu należy zastosować mniejszą liczbę  $l$  zbiorów  $z$  tak aby ich szerokość  $w$  była wystarczająco duża. W przypadku temperatury zbyt zawężone przedziały powodują, że częstotliwość pomiarów uznawana jest niesłusznie za niską pomimo, że mierzone wartości oscylują w bliskim obszarze wartości oczekiwanej (Tabela 4.8).

Tabela 4.8 Wartości wejściowe dla zmiennej lingwistycznej opisującej ocenę częstości odnotowanej wartości pomiaru. Opis zmiennych w tekście powyżej.

Parametr	jednostka	$l$	$w$	$u_{max}$
Moc	MW	100	0,357	43,55%
Temperatura pary świeżej	°C	30	0,714	31,70%
Ciśnienie pary świeżej	MPa	50	0,063	20,62%
Temperatura pary przegrzanej	°C	30	0,714	35,14%
Temperatura wody na wlocie z wymiennika XN4	°C	30	0,196	43,69%
Temperatura wody na wlocie do wymiennika XN4/Temperatura wody na wlocie z wymiennika XN3	°C	30	0,179	35,54%
Temperatura skroplin z wymiennika XN4	°C	30	0,179	36,72%
Temperatura pary w upuście 4	°C	30	0,832	34,60%
Ciśnienie pary w upuście 4	MPa	25	0,00048	41,46%

## Metoda detekcji nieprawidłowego pomiaru

Temperatura wody na wlocie do wymiennika XN3/Temperatura wody na wylocie z wymiennika XN2	°C	30	0,179	46,34%
Temperatura skroplin z wymiennika XN3	°C	30	0,179	34,57%
Temperatura pary w upuście 5	°C	30	0,714	33,71%
Ciśnienie pary w upuście 5	MPa	30	0,000786	36,06%
Temperatura wody na wlocie do wymiennika XN2	°C	30	0,204	34,55%
Temperatura skroplin z wymiennika XN2	°C	30	0,214	39,30%
Temperatura pary w upuście 6	°C	30	0,821	37,58%
Ciśnienie pary w upuście 6	MPa	30	0,000446	38,35%



### 4.4.3 Baza reguł

Reguły proponowanego systemu rozmytego zostały określone dla każdej, możliwej konfiguracji wartości zmiennych lingwistycznych, które podawano na wejścia systemu:  $(X_1, X_2)$  (rys. 4.16).

$X_1 \backslash X_2$	RR	E	FR
$L_1$	B	B	S
$M_1$	B	S	S
S	G	G	G
$M_2$	B	S	S
$L_2$	B	B	S

Rys. 4.16 Tablica reguł, gdzie  $X_1$  oznacza wejściową zmienną lingwistyczną opisującą ocenę statystyczną pomiaru (L- Large, M- Medium, S- Small),  $X_2$  oznacza wejściową zmienną lingwistyczną opisującą częstość wartości pomiaru (RR- Rare, E- Expected, FR- Frequent), natomiast wartości B- Bad, S- Suspect, G- Good odnoszą się do wyjściowej zmiennej lingwistycznej Y służącej do oceny poprawności pomiaru

Początkowe reguły ustalono na podstawie wiedzy eksperckiej, przy założeniu równomiernego podziału przestrzeni zmiennych lingwistycznych. Ze względu na powtarzalność reguł dokonano ich agregacji dla zbiorów  $M_1$  i  $M_2$  oraz  $L_1$  i  $L_2$ . W rezultacie złączenia zbiorów określono reguły dla zbioru  $M \in M_1, M_2$  oraz  $L \in L_1, L_2$ .

Na podstawie tablicy przykładowych reguł (rys. 4.16) można wyróżnić następujące reguły dla systemu:

- Jeżeli odchylenie standardowe jest duże i częstość pomiaru jest rzadka wtedy pomiar jest niepoprawny.**

$$\left. \begin{array}{l} R^1: \text{If } x_1 \in L_1 \text{ and } x_2 \in RR \text{ than } y \in B \\ R^2: \text{If } x_1 \in L_2 \text{ and } x_2 \in RR \text{ than } y \in B \end{array} \right\} \Rightarrow R: \text{If } x_1 \in L \text{ and } x_2 \in RR \text{ than } y \in B$$



**2. Jeżeli odchylenie standardowe jest duże i częstość pomiaru jest spodziewana wtedy pomiar jest niepoprawny.**

$$\left. \begin{array}{l} R^3: \text{If } x_1 \in L_1 \text{ and } x_2 \in E \text{ than } y \in B \\ R^4: \text{If } x_1 \in L_2 \text{ and } x_2 \in E \text{ than } y \in B \end{array} \right\} \Rightarrow R: \text{If } x_1 \in L \text{ and } x_2 \in E \text{ than } y \in B$$

**3. Jeżeli odchylenie standardowe jest duże i częstość pomiaru jest częsta wtedy pomiar jest podejrzany.**

$$\left. \begin{array}{l} R^5: \text{If } x_1 \in L_1 \text{ and } x_2 \in FR \text{ than } y \in S \\ R^6: \text{If } x_1 \in L_2 \text{ and } x_2 \in FR \text{ than } y \in S \end{array} \right\} \Rightarrow R: \text{If } x_1 \in L \text{ and } x_2 \in FR \text{ than } y \in S$$

**4. Jeżeli odchylenie standardowe jest średnie i częstość pomiaru jest rzadka wtedy pomiar jest niepoprawny.**

$$\left. \begin{array}{l} R^7: \text{If } x_1 \in M_1 \text{ and } x_2 \in RR \text{ than } y \in B \\ R^8: \text{If } x_1 \in M_2 \text{ and } x_2 \in RR \text{ than } y \in B \end{array} \right\} \Rightarrow R: \text{If } x_1 \in M \text{ and } x_2 \in RR \text{ than } y \in B$$

**5. Jeżeli odchylenie standardowe jest średnie i częstość pomiaru jest spodziewana wtedy pomiar jest podejrzany.**

$$\left. \begin{array}{l} R^9: \text{If } x_1 \in M_1 \text{ and } x_2 \in E \text{ than } y \in S \\ R^{10}: \text{If } x_1 \in M_2 \text{ and } x_2 \in E \text{ than } y \in S \end{array} \right\} \Rightarrow R: \text{If } x_1 \in M \text{ and } x_2 \in E \text{ than } y \in S$$

**6. Jeżeli odchylenie standardowe jest średnie i częstość pomiaru jest częsta wtedy pomiar jest podejrzany.**

$$\left. \begin{array}{l} R^{11}: \text{If } x_1 \in M_1 \text{ and } x_2 \in FR \text{ than } y \in S \\ R^{12}: \text{If } x_1 \in M_2 \text{ and } x_2 \in FR \text{ than } y \in S \end{array} \right\} \Rightarrow R: \text{If } x_1 \in M \text{ and } x_2 \in FR \text{ than } y \in S$$

**7. Jeżeli odchylenie standardowe jest małe wtedy pomiar jest poprawny.**

$$\left. \begin{array}{l} R^{13}: \text{If } x_1 \in N \text{ and } x_2 \in RR \text{ than } y \in G \\ R^{14}: \text{If } x_1 \in N \text{ and } x_2 \in E \text{ than } y \in G \\ R^{15}: \text{If } x_1 \in N \text{ and } x_2 \in FR \text{ than } y \in G \end{array} \right\} \Rightarrow R: \text{If } x_1 \in N \text{ than } y \in G$$

Reguły powinny zostać określone indywidualnie dla każdego rodzaju pomiaru (tj. ciśnień, temperatur, strumieni mas), ze względu na różny charakter parametrów (Rozdział 3.1).

#### 4.4.4 Ustalenie reguł metodą k-średnich

Reguły zaproponowane przez eksperta dotyczą wybranego przypadku. W celu uelastycznienia proponowanej metody postanowiono zweryfikować proponowane reguły i ustalić je ponownie z pomocą algorytmów grupowania danych. Weryfikacji reguł dokonano przy pomocy algorytmu k-średnich (ang. *C-means*) (Załącznik 2).

Klasyfikacja według algorytmu k-średnich przeprowadzona została dla każdego z parametrów. Specjalnie przygotowano zestawy danych, tak by próbki reprezentowały wszystkie możliwe sytuacje i stany. Uwzględniono zbiory rozmyte opisane w przestrzeni rozpatrywanych zmiennych lingwistycznych  $X_1$ ,  $X_2$ , i ich relację rozmytą  $R \subseteq X_1 \times X_2$  określoną na iloczynie kartezjańskim:

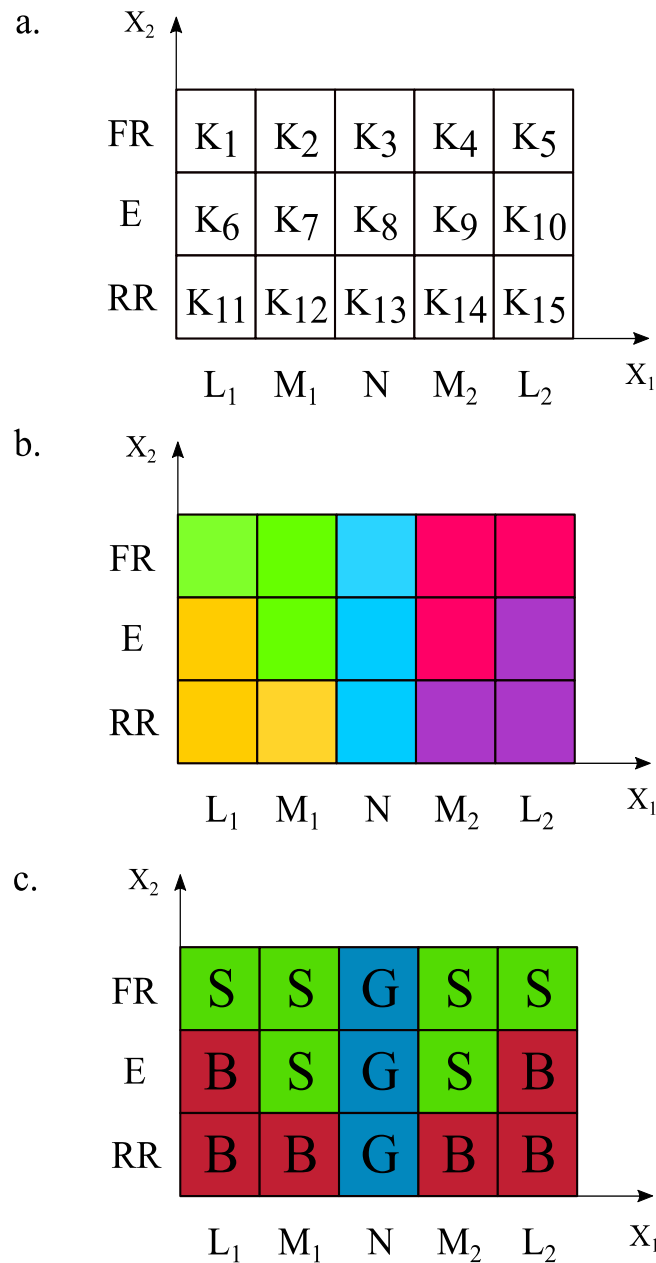
$$R \subseteq X_1 \times X_2 = \{(x_1, x_2): x_1 \in X_1, x_2 \in X_2\} \quad (4.7)$$

Przestrzeń poszukiwań stanowi 15 obszarów (rys. 4.17a).

$$X_1 \times X_2 = \{F, E, R\} \times \{L_1, M_1, N, M_2, L_2\} \quad (4.8)$$

Ze względu na sposób eksploatacji bloków parowych dużej mocy, w których nie dopuszcza się do pracy systemu w przypadku parametrów znacznie odstających od wartości oczekiwanych w długim okresie czasu, aby przedstawić całą, możliwą przestrzeń zmiennych lingwistycznych wygenerowano za pomocą programu DIAGAR dodatkowe próbki. Dzięki czemu możliwe było zamodelowanie pomiarów niepoprawnych pozyskiwanych w dłuższym okresie czasu. Zabieg ten spowodował, że tworzone reguły opisują całą przestrzeń zmiennych lingwistycznych.

Przy pomocy algorytmu k-średnich podzielono 15 wyznaczonych przestrzeni na 5 głównych grup (rys. 4.17b). Po analizie utworzonych reguł z pomocą algorytmu k-średnich dokonano agregacji reguł, tak samo jak w przypadku przyjętym w Rozdziale 4.4.3. Wartości lingwistyczne zmiennej wyjściowej  $Y$  zostały opisane tak jak na rysunku (rys. 4.17c).



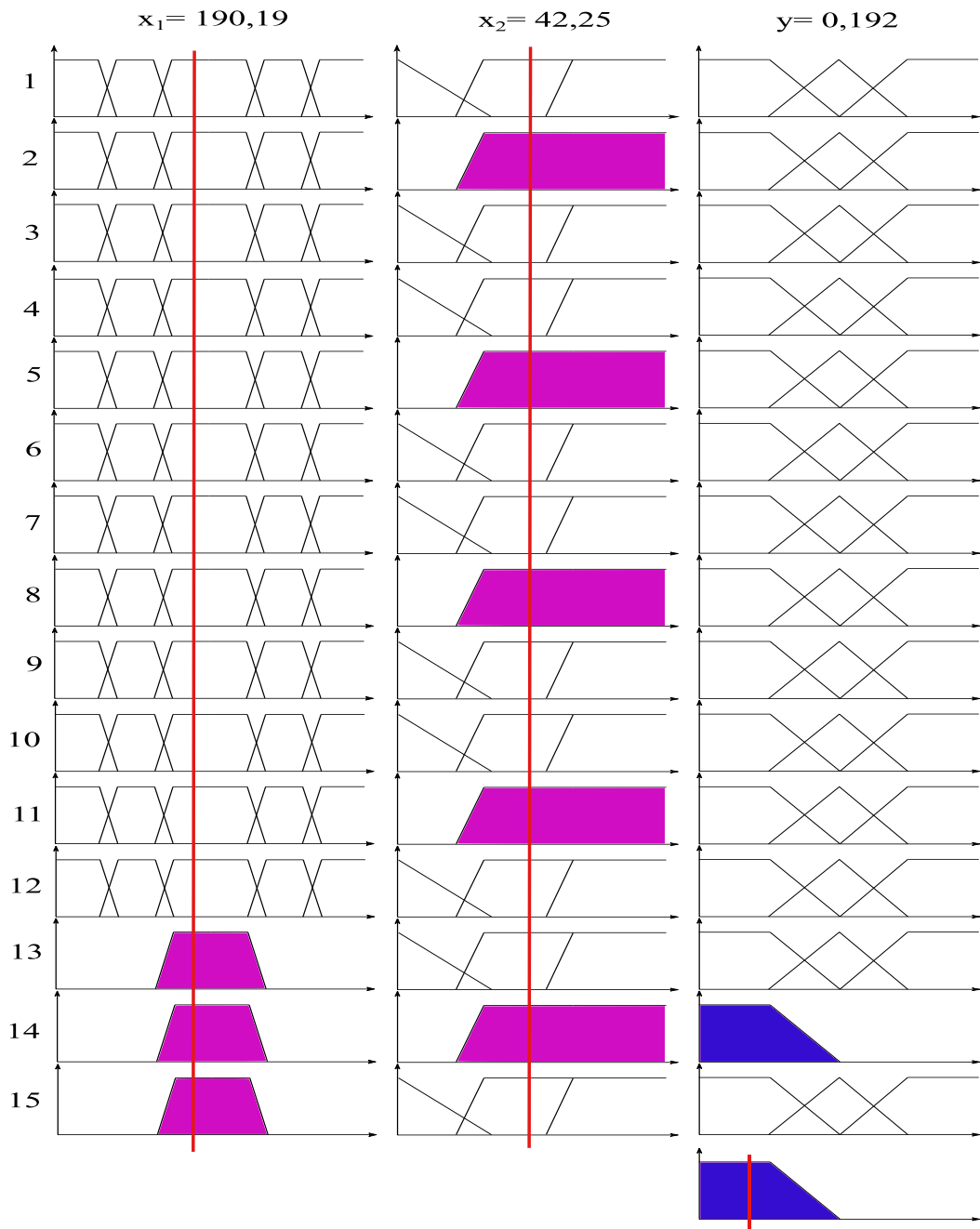
Rys. 4.17 a. Schemat przedstawiający przestrzeń poszukiwań podzieloną na 15 obszarów – klastrow K, b. Schemat przedstawiający podział przestrzeni na 5 scalonych grup za pomocą algorytmu k-średnich (poszczególne kolory oznaczają wyznaczone grupy), c. Schemat przedstawiający scalone zbiory wraz z określonymi wartościami lingwistycznymi zmiennej wyjściowej (Y), gdzie  $X_1$  oznacza wejściową zmienną lingwistyczną opisującą ocenę statystyczną pomiaru (L- Large, M- Medium, S- Small),  $X_2$  oznacza wejściową zmienną lingwistyczną opisującą częstość wartości pomiaru (RR- Rare, E- Expected, FR- Frequent, Y oznacza zmienną wyjściową ocenę pomiaru (B- Bad, S- Suspect, G-Good).

## 4.4.5 Rola rozmytego systemu wnioskującego

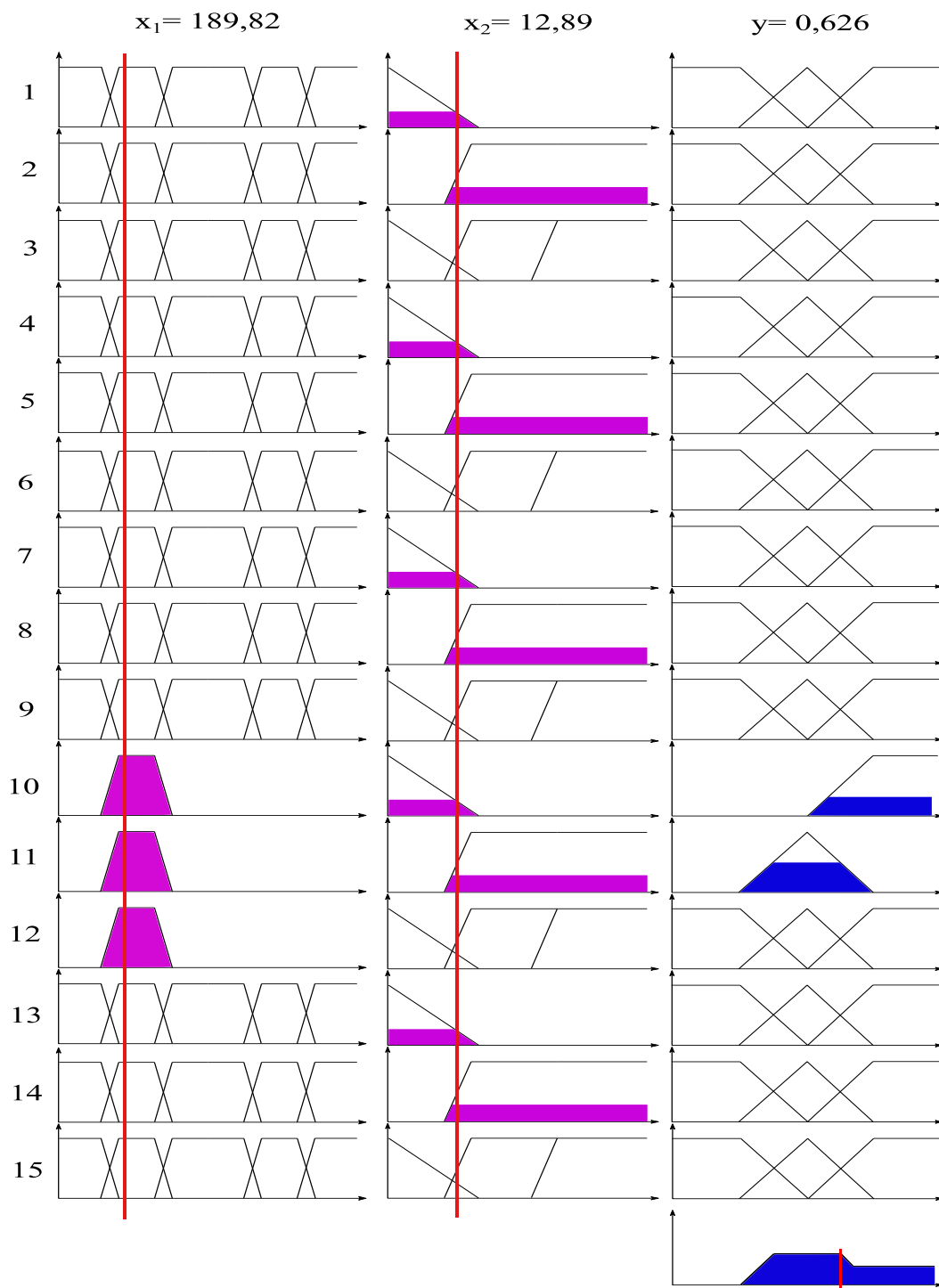
Na podstawie działań opisanych w Rozdziałach 4.3.1-4.4.4 oraz wiedzy przedstawionej w Załącznik 2 stworzony został rozmyty system wnioskujący (ang. *fuzzy system*) (rys. 2.1).

Zadaniem systemu jest dokonanie oceny poprawności rzeczywistego pomiaru  $y$  dla danego parametru, na podstawie informacji o jego jakości opisywanej przez odchylenie standardowe  $\sigma$  oraz procentowej częstości występowania danej wartości w całym zbiorze określonym dla rozpatrywanego pomiaru. Częstość odnosi się do charakteru badanego parametru. Wartość wyjściowa systemu rozmytego jest wartością ostrą. W procesie wnioskowania (rys. 4.18-4.20) wykorzystano bazę reguł opisaną w Rozdziale 4.4.3. Poprzedniki reguł zawierają zmienne lingwistyczne  $(x_1, x_2)$ . Wartości tych zmiennych stanowią zbiory rozmyte, które zostały opisane w Załącznik 2. Próbką podawana na wejście systemu rozmytego wzbudza odpowiednie reguły (Załącznik 2). Aktywność danej reguły uzależnia aktywację zbioru rozmytego w następniku reguły. Na tym etapie sygnały z aktywnych reguł są agregowane. Następnie realizowany jest proces wyostrażania metodą środka ciężkości (Z2.46). Dzięki temu wartość wyjściowa systemu rozmytego precyzyjną oceną

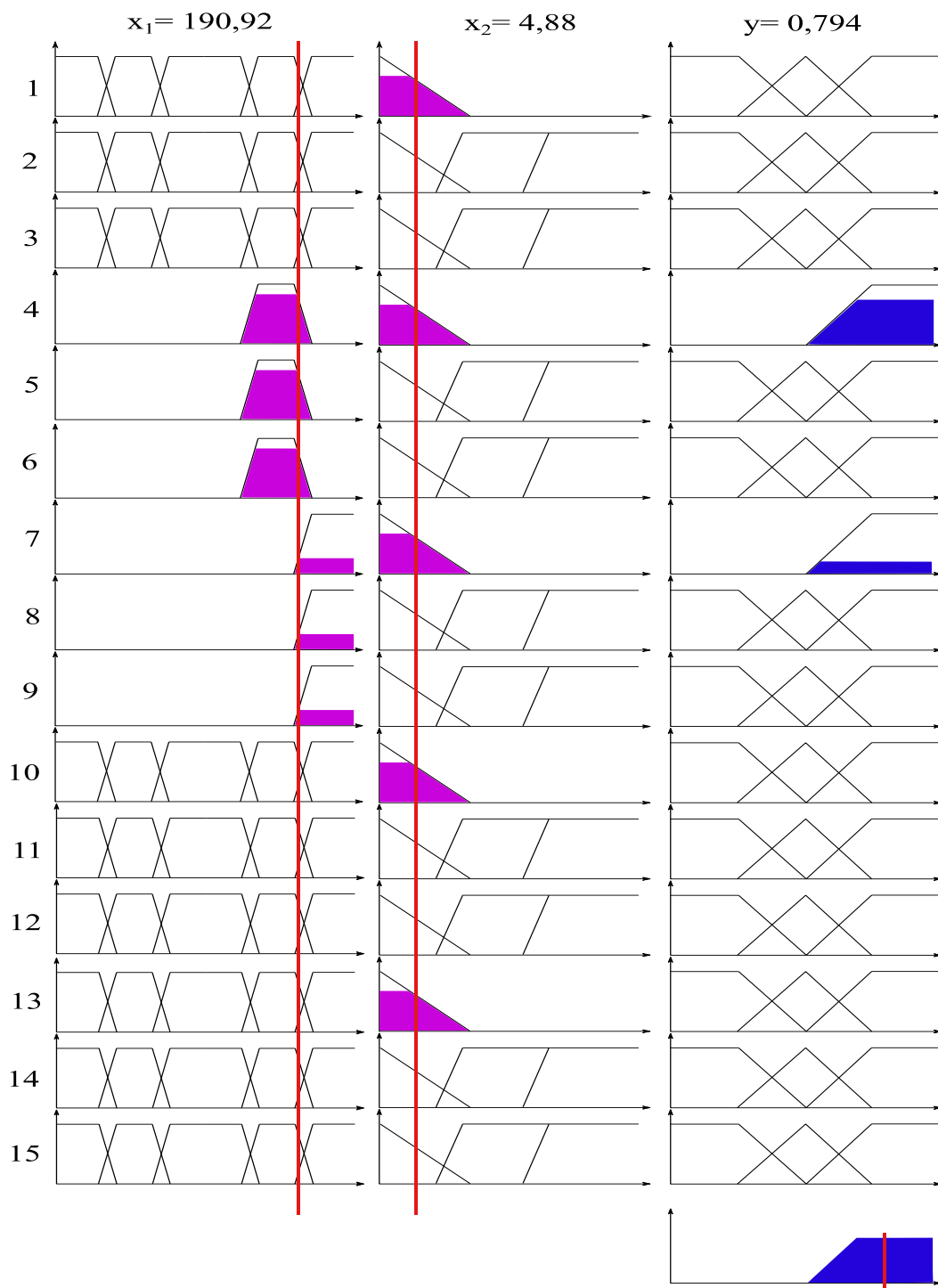
Badany pomiar może zostać oceniony jako poprawny (*G- Good*), oznacza to, że oceniona wartość mieści się w zakresie określonym dla pomiaru, który można uznać za wiarygodny. Pomiar taki można traktować jako użyteczną informację w procesie diagnostyki. Podejrzany (*S-Suspect*), a więc pomiar, który nie powinien powodować alarmów, ale powinien być poddany obserwacji w dłuższej perspektywie czasu. Z punktu widzenia procesów diagnostycznych jego wiarygodność powinna zostać dodatkowo zweryfikowana. Niepoprawny (*B- Bad*), a więc taki, którego wartość jest znacznie różna od wartości oczekiwanej dla danego parametru w zadanych warunkach eksploatacji bloku. Pomiar oceniony jako zły nie może zostać potraktowany jako wiarygodny i nie powinien być brany pod uwagę w procesach diagnostyki.



Rys. 4.18 Przykład procesu wnioskowania dla przypadku uznanego za poprawny (Good), w którym (moc)  $x_1=190,19$  MW, (częstość)  $x_2=42,25$ , (ocena)  $y=0,192$



Rys. 4.19 Przykład procesu wnioskowania dla przypadku uznanego za podejrzany (Suspect), w którym (moc)  $x_1=189,82$  MW, (częstość)  $x_2 =12,89$ , (ocena)  $y = 0,626$



Rys. 4.20 Przykład procesu wnioskowania dla przypadku uznanego za niepoprawny (Bad), w którym (moc)  $x_1=190,92$  MW, (częstość)  $x_2=4,88$ , (ocena)  $y = 0,794$

## 4.4.6 Weryfikacja bazy reguł

Baza reguł ustalona na podstawie wiedzy eksperckiej (Rozdział 4.4.3) oraz potwierdzona metodą k-średnich (Rozdział 4.4.4) została poddana ostatecznej weryfikacji na podstawie norm określających poprawność pomiaru opisanych w Rozdziale 4.3. Ocena uzyskana za pomocą norm pozwala na uznanie pomiaru za poprawny lub niepoprawny, są to wartości lingwistyczne. Sygnał wyjściowy  $y$  z systemu rozmytego jest porównywany w przestrzeni wartości lingwistycznych.

Weryfikacja proponowanej metody oceny pomiaru wykorzystuje porównanie dwóch ocen: oceny pomiaru uzyskanej z rozmytego systemu wnioskującego  $y$  oraz oceny pomiaru określonej na podstawie norm. W przypadku wystąpienia różnicy pomiędzy nimi odpowiednio korygowano bazę reguł. Ponieważ na podstawie norm nie można określić tzw. pomiarów podejrzanych ( $y = \text{Suspect}$ ), spójności oceny oczekiwano w przypadku pomiarów określanych przez system rozmyty jako poprawne ( $y = \text{Good}$ ) oraz niepoprawne ( $y = \text{Bad}$ ). Zabieg ten pozwolił na weryfikację i zmianę skrajnych reguł uznanych za zbyt restrykcyjne, które fałszywie określały pomiary poprawne lub podejrzane jako niepoprawne oraz takich, które traktowały ocenę pomiaru zbyt pobłażliwie co powodowało, że pomiary niepoprawne uznawane zostały za poprawne lub podejrzane. Zabieg ten powoduje, że przedstawiona metoda staje się użyteczna i uniwersalna, co zostało zaprezentowane przy pomocy przykładu (Tabela 4.9).

Tabela 4.9 Zbiór przykładowych ocen pomiarów w zależności od zastosowanej bazy reguł, gdzie REG1 oznacza bazę reguł przed weryfikacją, REG2 oznacza ostateczną bazę reguł po weryfikacji

Moc				Temperatura pary świeżej				Ciśnienie pary świeżej			
X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	REG 1	REG 2	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	REG 1	REG 2	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	REG 1	REG 2
190,19	44,22	Wood	Good	12,52	2,89	Bad	Suspect	532,03	3,67	Suspect	Good
189,94	9,69	Suspect	Good	12,52	2,89	Bad	Suspect	532,32	2,97	Bad	Suspect
190,31	44,22	Wood	Good	12,54	1,91	Bad	Suspect	530,57	22,5	Bad	Suspect
190,79	4,77	Bad	Bad	12,54	1,91	Bad	Suspect	532,62	2,97	Bad	Suspect
190,55	40,08	Suspect	Good	12,52	2,89	Bad	Suspect	534,08	0,16	Good	Good
189,94	9,69	Suspect	Good	12,34	6,44	Suspect	Suspect	533,49	0,7	Good	Good
190,31	44,22	Wood	Good	12,32	6,44	Suspect	Suspect	532,91	0,7	Bad	Suspect
189,82	9,69	Bad	Suspect	12,5	9,64	Good	Good	528,81	8,05	Bad	Suspect
190,06	44,22	Suspect	Good	12,5	9,64	Good	Good	528,52	2,27	Bad	Bad
190,06	44,22	Suspect	Good	12,49	9,64	Good	Good	527,93	2,27	Bad	Bad
190,79	4,77	Bad	Bad	12,26	1,04	Bad	Bad	527,64	1,33	Bad	Bad
190,79	4,77	Bad	Bad	12,26	1,04	Bad	Bad	532,32	2,97	Bad	Suspect
189,58	0,78	Bad	Bad	12,46	4,01	Good	Good	530,86	19,61	Bad	Suspect
190,55	40,08	Suspect	Good	12,44	4,01	Good	Good	530,86	19,61	Bad	Suspect
190,06	44,22	Suspect	Good	12,22	0,6	Bad	Bad	532,03	13,67	Suspect	Good
190,06	44,22	Suspect	Good	12,24	0,42	Bad	Bad	531,74	13,67	Bad	Good
189,21	0,08	Bad	Bad	12,4	3,71	Good	Good	531,74	13,67	Bad	Good
189,58	0,79	Bad	Bad	12,39	3,71	Good	Good	531,15	19,61	Bad	Suspect



## 4.5. Określenie relacji między zmiennymi za pomocą algorytmu A priori

Ogólne zasady i działanie algorytmu zaprezentowano w Załącznik 2. Algorytm A priori został zbudowany na podstawie parametrów rzeczywistych, zarówno zależnych jak i niezależnych. Pomiar wykorzystane w celu ustalenia relacji przez algorytm zostały zweryfikowane co do poprawności za pomocą rozmytego systemu wnioskującego (Rozdział 4.4.5). Jedynie poprawne pomiary uwzględniono w procesie tworzenia asocjacyjnych reguł.

Parametry biorące udział w badaniu powinny opisywać różne warunki eksploatacji bloku parowego. Dlatego też spośród dostępnych danych rzeczywistych określonych jako poprawne wyselekcjonowano trzy stany pracy ustalonej (~120MW, ~160MW, ~190MW). Stany obciążenia bloku wybrano ze względu na długi czas pracy systemu przy stałym obciążeniu uwzględniając termiczne ustabilizowanie parametrów pracy bloku.

Wybrano taką samą liczebność próbek dla parametrów reprezentujących dany stan obciążenia bloku. Dane wykorzystane w algorytmie zostały poddane normalizacji według wzoru (Z2.2). Każdy z parametrów biorący udział w badaniu został podzielony na 3 podzbiory (Tabela 4.10, Tabela 4.11). Zakresy podzbiorów wynikają z wartości minimalnych i maksymalnych badanych parametrów dla założonych stanów ustalonych. Podziału dokonano tak aby każdy z podzbiorów opisywał przestrzeń wartości parametrów dla danego stanu obciążenia.

Tabela 4.10 Wartości podzbiorów parametrów niezależnych wykorzystanych w algorytmie A priori

Lp	Parametr	Jednostka	Numer przedziału	Symbol zbioru	Wartość min	Wartość max
1.	Moc	MW	1	M_1	0,00	155,39
			2	M_2	155,39	183,62
			3	M_3	183,62	190,67
2.	Ciśnienie pary świeżej	MPa	1	PS_1	0,00	12,49
			2	PS_2	12,49	12,59
			3	PS_3	12,59	12,62

3.	Temperatura pary świeżej	°C	1	T_PS_1	0,00	530,71
			2	T_PS_2	530,71	535,05
			3	T_PS_3	535,05	536,13
4.	Temperatura pary przegrzanej	°C	1	T_PR_1	0	534,96
			2	T_PR_2	534,96	537,3
			3	T_PR_3	537,3	537,89
5.	Temperatura wody chłodzącej	°C	1	T_WCH_1	0,00	19,4
			2	T_WCH_2	19,4	21,34
			3	T_WCH_3	21,34	21,83

Tabela 4.11 Wartości podzbiorów parametrów zależnych wykorzystanych w algorytmie A priori

Lp.	Parametr	Jednostka	Numer przedziału	Symbol zbioru	Wartość min	Wartość max
1.	Temperatura kondensatu przed XN3/ za XN2	°C	1	T_KON_P_XN3_1	0,00	98,22
			2	T_KON_P_XN3_2	98,22	103,08
			3	T_KON_P_XN3_3	103,08	104,29
2.	Temperatura skroplin z XN3	°C	1	T_SKR_XN3_1	0,00	102,76
			2	T_SKR_XN3_2	102,76	108,44
			3	T_SKR_XN3_3	108,44	109,86
3.	Temperatura pary w upuście 5	°C	1	T_UP_5_1	0,00	292,09
			2	T_UP_5_2	292,09	296,54
			3	T_UP_5_3	296,54	297,66
4.	Ciśnienie pary w upuście 5	MPa	1	P_UP_5_1	0,00	0,119
			2	P_UP_5_2	0,119	0,164
			3	P_UP_5_3	0,164	0,175
5.	Temperatura kondensatu za X3/ przed X4	°C	1	T_KON_Z_XN3_1	0,00	121,80
			2	T_KON_Z_XN3_2	121,80	128,66
			3	T_KON_Z_XN3_3	128,66	130,37
6.	Temperatura skroplin z XN4	°C	1	T_SKR_XN4_1	0,00	135,49
			2	T_SKR_XN4_2	135,49	141,71

Metoda detekcji nieprawidłowego pomiaru

			3	T_SKR_XN4_3	141,71	143,26
7.	Temperatura pary w upuście 4	°C	1	T_UP_4_1	0,00	368,39
			2	T_UP_4_2	368,39	373,0
			3	T_UP_4_3	373,00	378,81
8.	Ciśnienie pary w upuście 4	MPa	1	P_UP_4_1	0,00	0,247
			2	P_UP_4_2	0,247	0,341
			3	P_UP_4_3	0,341	0,389
9.	Temperatura kondensatu za XN4	°C	1	T_KON_Z_XN4_1	0,00	145,2
			2	T_KON_Z_XN4_2	145,20	153,77
			3	T_KON_Z_XN4_3	153,77	158,03
10.	Temperatura kondensatu przed XN2	°C	1	T_KON_XN2_1	0,00	59,47
			2	T_KON_XN2_2	59,47	62,77
			3	T_KON_XN2_3	62,77	63,97
11.	Temperatura skroplin z XN2	°C	1	T_SKR_XN2_1	0,00	88,79
			2	T_SKR_XN2_2	88,79	96,18
			3	T_SKR_XN2_3	96,18	99,46
12.	Temperatura pary w upuście 6	°C	1	T_UP_6_1	0,00	195,13
			2	T_UP_6_2	195,13	196,63
			3	T_UP_6_3	196,63	201,86
13.	Ciśnienie pary w upuście 6	MPa	1	P_UP_6_1	0,00	0,0054
			2	P_UP_6_2	0,0054	0,023
			3	P_UP_6_3	0,023	0,037

# 5. WYNIKI ZASTOSOWANIA METODY OCENY WIARYGODNOŚCI POMIARÓW

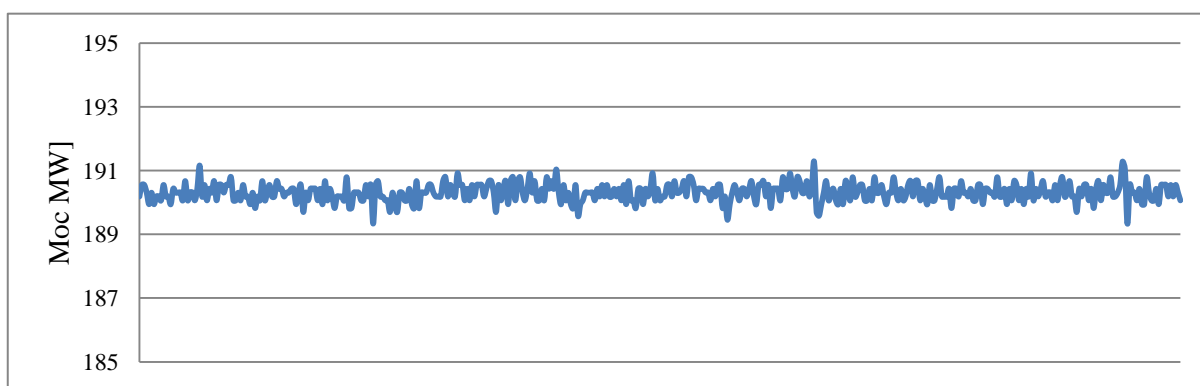
W Rozdziale 5 opisano rezultaty przeprowadzonego badania mającego na celu oceny wiarygodności pomiarów wykonanych dla bloku elektrowni parowej o mocy 200MW. Zaprezentowano wyniki działania metody dla trzech, różnych wariantów pracy bloku. W wariacie pierwszym pokazano wyniki oceny pomiarów zebranych w trakcie pracy bloku w stanie ustalonym z obciążeniem nominalnych, w wariacie drugim odniesiono się do oceny pomiarów dla stanu ustalonego w którym wystąpiło nagłe zakłócenie, natomiast w wariacie trzecim przedstawiono działanie metody dla systemu pracującego z obciążeniem zmiennym. Wyniki przeprowadzonego badania zaprezentowano w formie tabelarycznej (dla wybranego, reprezentacyjnego zbioru próbek) (Załącznik 5, Załącznik 6, Załącznik 7) oraz w formie graficznej (dla całego zestawu próbek biorącego udział w danym wariacie przeprowadzonych badań). Oprócz przedstawionych badań opisano również wyniki pozyskane dla próby określenia zależności pomiędzy parametrami badanego systemu.

Budowa przedstawionych w dalszej części pracy wykresów podyktowana jest potrzebą wyszukania okresów, w których wyniki pomiarów należą do klasy poprawnych (Good). Te z kolei mogą już być używane w programach i procedurach diagnostyki. Zapewniają w ten sposób wykonanie zadań diagnostycznych z wysoką dokładnością. Pomiary zaprezentowane w rozdziałach pracy kwalifikacyjnej służą przede wszystkim diagnostyce ciepłno-przepływowej. Dotyczy to w tym przypadku zwłaszcza fragmentu obiegu bloku energetycznego obejmującego obszar wymienników regeneracyjnych niskiego ciśnienia (NP). W ten sposób wypełnione jest założenie budowania metody oceny wiarygodności pomiarów dla diagnostyki ciepłno-przepływowej złożonego obiektu energetycznego, reprezentowanego tutaj przez elektrowniany blok energetyczny dużej mocy.

## 5.1. Ocena wiarygodności wartości mierzonych

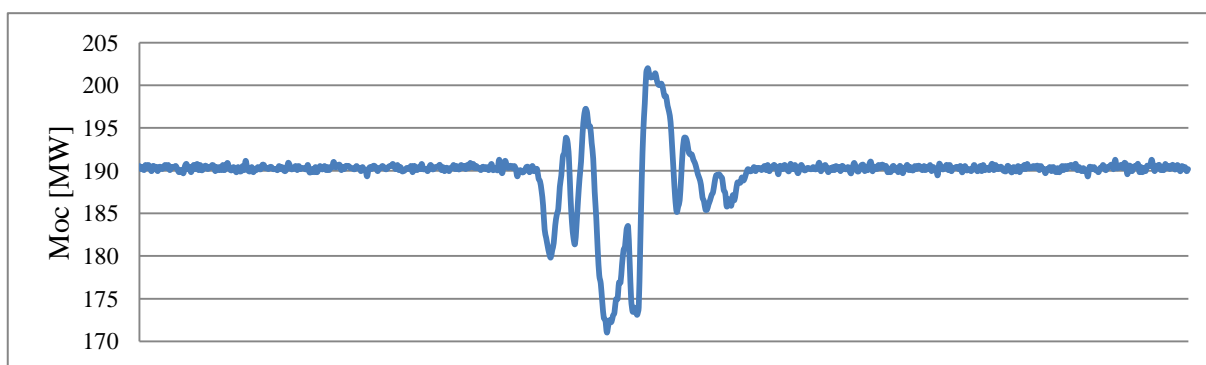
Na podstawie metody opisanej w Rozdziale 1 przeprowadzono ocenę wiarygodności wartości parametrów pozyskanych z pomiarów. Ocenę przeprowadzono dla trzech różnych stanów pracy systemu:

**WARIANT I:** Praca systemu w stanie ustalonym z mocą bliską nominalnej bez wyraźnych zakłóceń w trakcie eksploatacji (rys. 5.1).



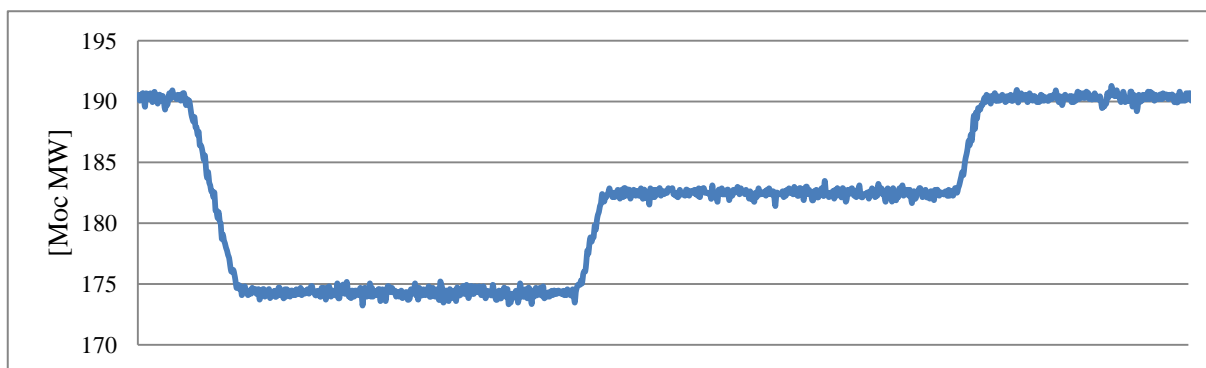
Rys. 5.1 Wykres przedstawiający pracę systemu w stanie ustalonym z mocą bliską nominalnej bez wyraźnych zakłóceń w trakcie eksploatacji

**WARIANT II:** Praca systemu w stanie ustalonym, w czasie której wystąpiły chwilowe zakłócenia (rys. 5.2).



Rys. 5.2 Wykres przedstawiający pracę systemu w stanie ustalonym z mocą bliską nominalnej, w trakcie której wystąpiły wyraźne zakłócenia

## WARIANT III: Praca systemu w trakcie zmiany obciążenia bloku (rys. 5.3).



Rys. 5.3 Wykres przedstawiający pracę systemu w trakcie zmiany obciążenia bloku

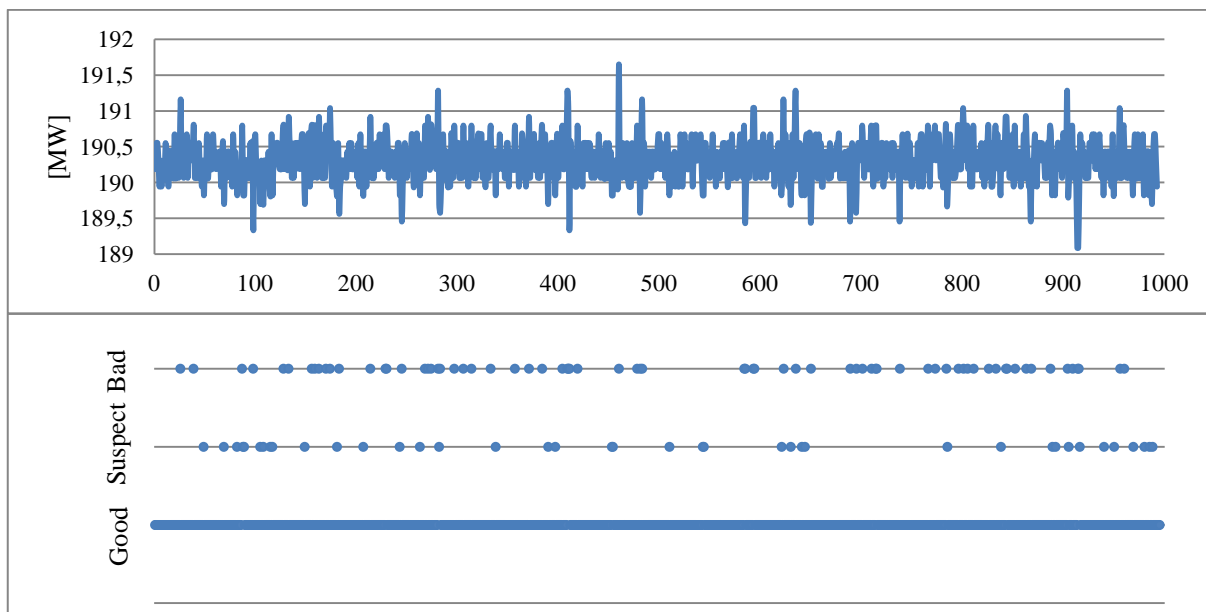
Ocenię poddano parametry niezależne systemu oraz parametry zależne opisujące pracę wymienników regeneracyjnych (XN4, XN3, XN2) (Tabela 4.1). W pracy przedstawiono fragment wyników uzyskanych dla trzech przedstawionych przypadków (Tabela Z5.1-Tabela Z5.5). Wyniki przedstawiono również w formie wykresów (rys. 5.4-5.54).

### 5.1.1 Wariant I

W tym przypadku przedstawiono ocenę parametrów niezależnych oraz zależnych dla stanu pracy systemu ze stałym obciążeniem. Istotnym aspektem przedstawionego stanu jest wartość mocy z jaką w trakcie akwizycji danych pracował blok. Moc wynosi około 190MW i można przyjąć, że jest ona bliska mocy nominalnej badanego układu (200MW). Należy również zauważyć, że badanie przeprowadzono na próbkach, które zostały zebrane w stanie ustabilizowania cieplnego bloku.

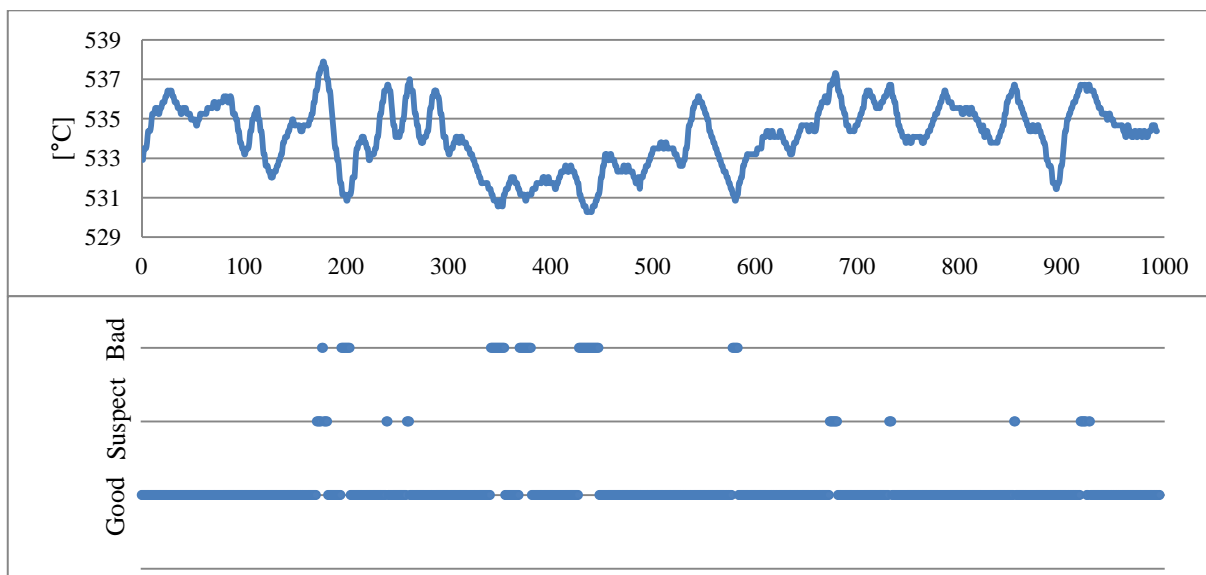
Na podstawie wyników przeprowadzonej oceny (Załącznik 5, Tabela Z5.1-Tabela Z5.5), (rys. 5.4-5.20) można zauważyć, że zaproponowana metoda oceny niepewności pomiarów większość próbek, dla wszystkich badanych parametrów zakwalifikowała jako poprawne (Good). Metoda wykryła pojedyncze błędy pomiarowe oceniając odstające próbki jako podejrzane (Suspect) lub niepoprawne (Bad). Wystąpienie próbek określonych jako podejrzane (Suspect) czy też niepoprawne (Bad) można uzasadnić charakterem pracy bloku, w którym występują pewne chwilowe zakłócenia. Na podstawie wyników można zauważyć, że metoda uwzględnia naturalne fluktuacje parametrów, które wynikają z pracy systemu, a nie z występowania błędów nieprawidłowego pomiaru. Pomimo oscylacji wartości mierzonej wokół wartości oczekiwanej metoda nie ocenia parametrów jako podejrzane czy też niepoprawne. Jednocześnie metoda pozostaje czuła na próbki, których wartości zdecydowanie odstają od wartości oczekiwanej.

## Moc



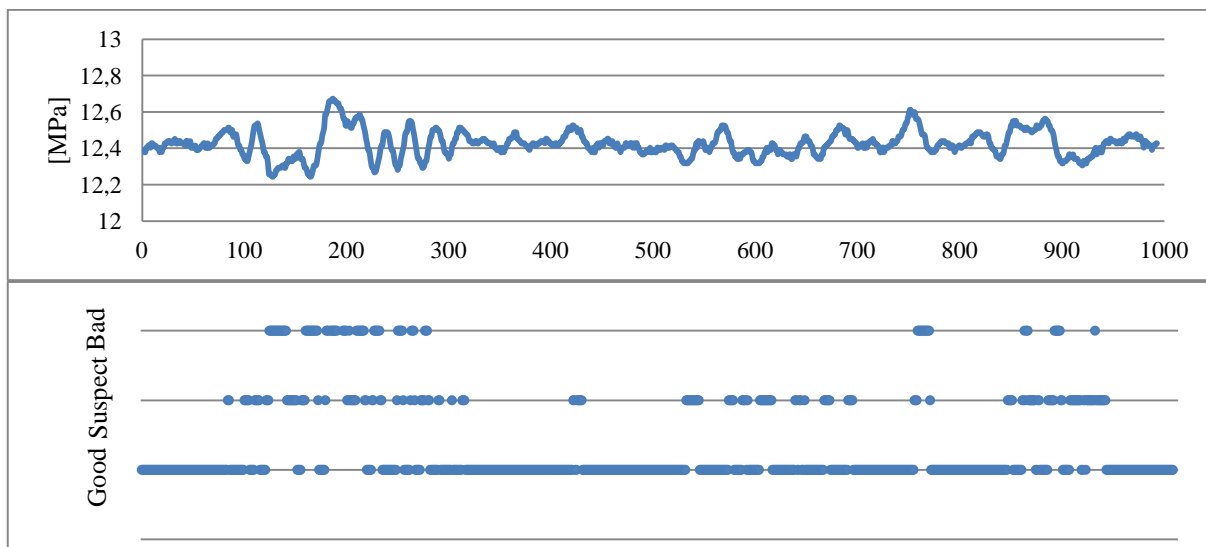
Rys. 5.4 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla mocy w przypadku pracy w stanie ustalonym (Wariant I)

## Temperatura pary świeżej



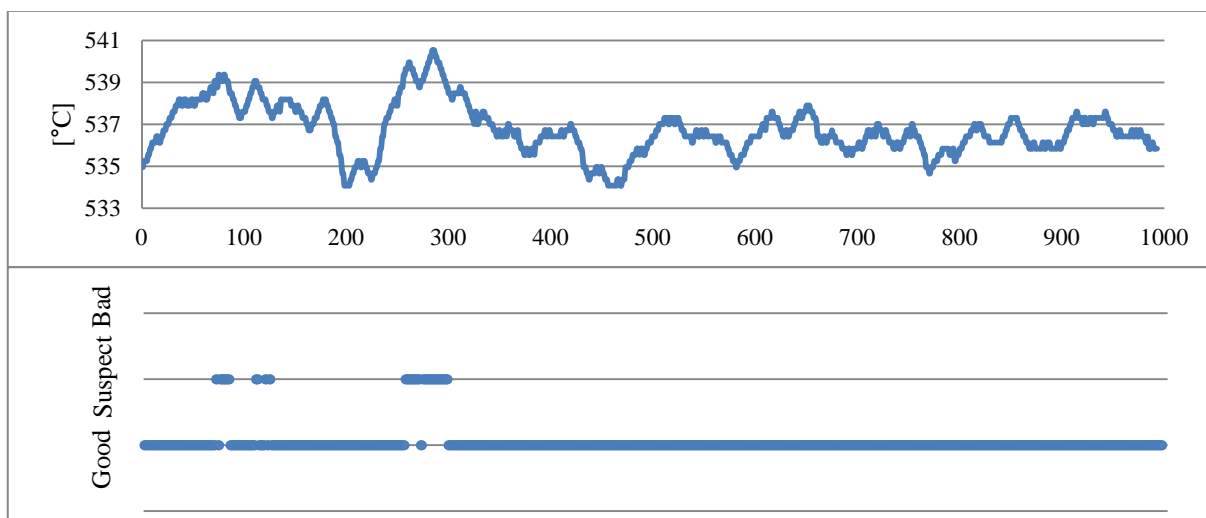
Rys. 5.5 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury pary świeżej w przypadku pracy w stanie ustalonym (Wariant I)

### Ciśnienie pary świeżej



Rys. 5.6 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla ciśnienia pary świeżej w przypadku pracy w stanie ustalonym (Wariant I)

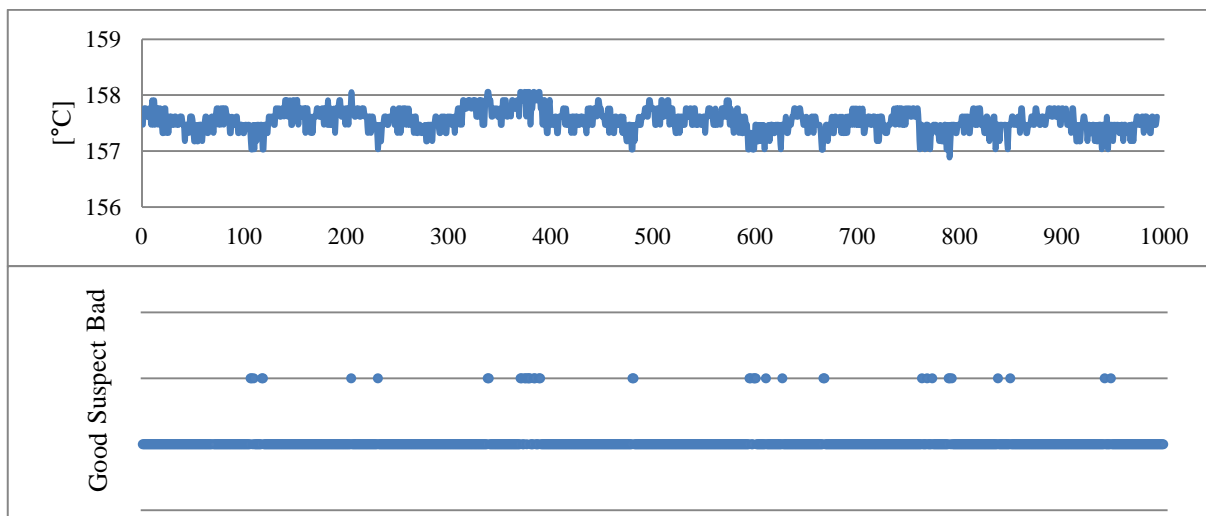
### Temperatura pary przegrzanej



Rys. 5.7 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury pary przegrzanej w przypadku pracy w stanie ustalonym (Wariant I)

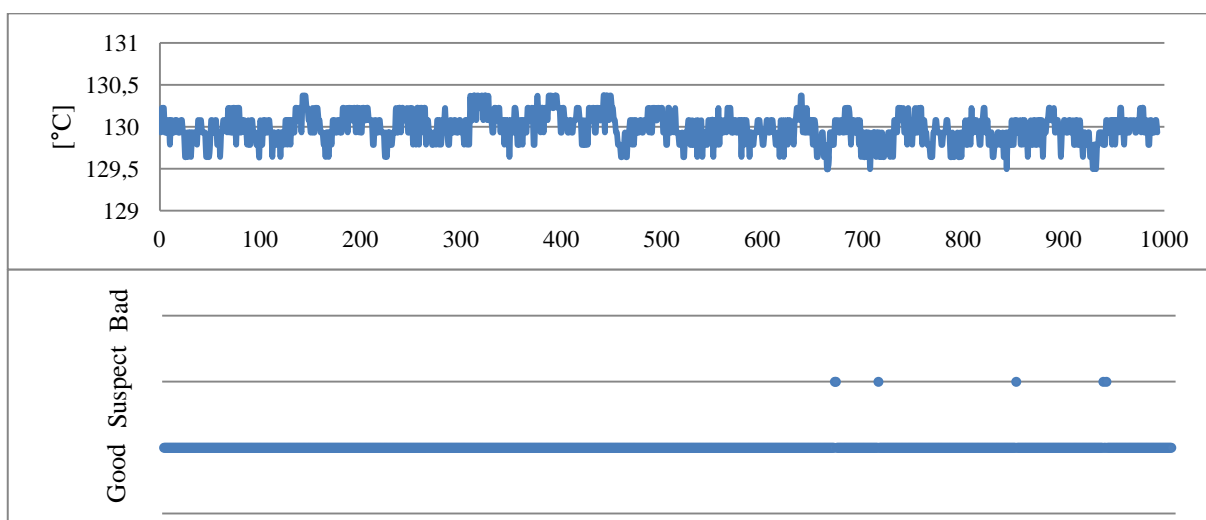


### Temperatura kondensatu na wylocie z XN4



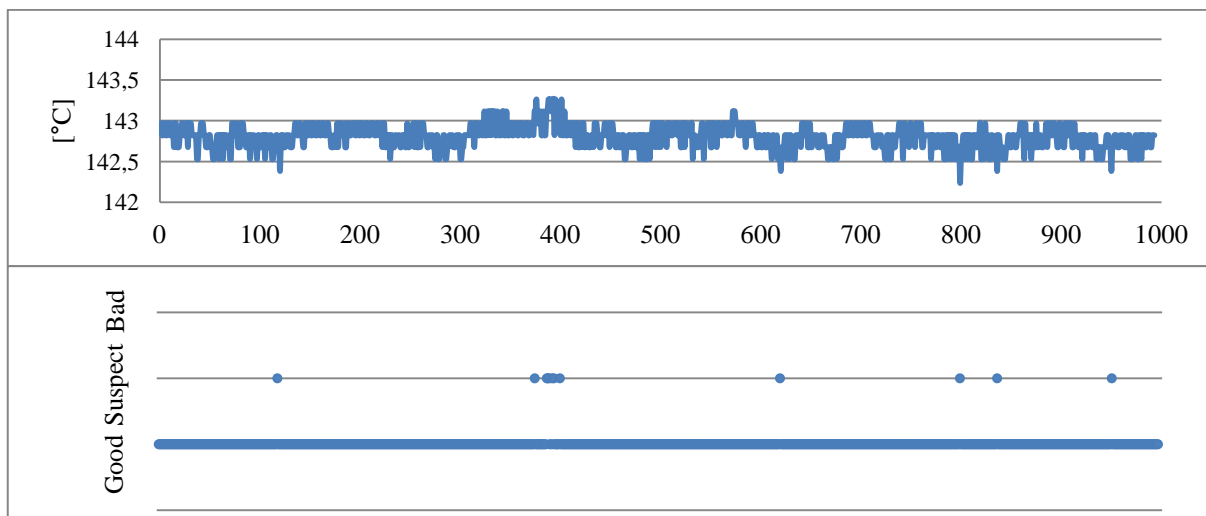
Rys. 5.8 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury kondensatu na wylocie z XN4 w przypadku pracy w stanie ustalonym (Wariant I)

### Temperatura kondensatu na wlocie do wymiennika XN4/ Temperatura kondensatu na wylocie z wymiennika XN3



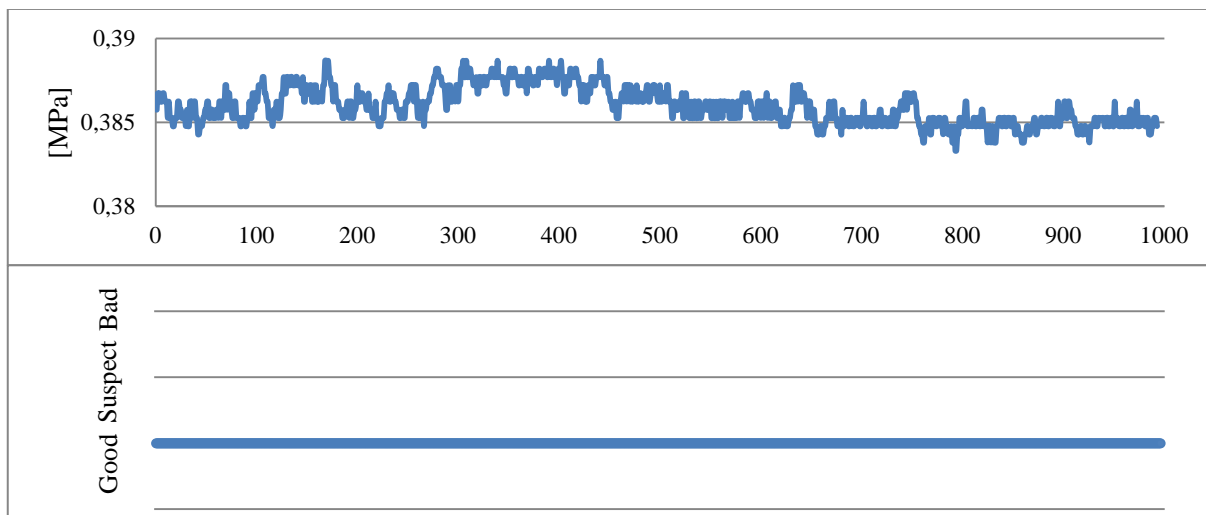
Rys. 5.9 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury kondensatu na wlocie do wymiennika XN4/ temperatury kondensatu na wylocie z wymiennika XN3 w przypadku pracy w stanie ustalonym (Wariant I)

## Temperatura skroplin z wymiennika XN4



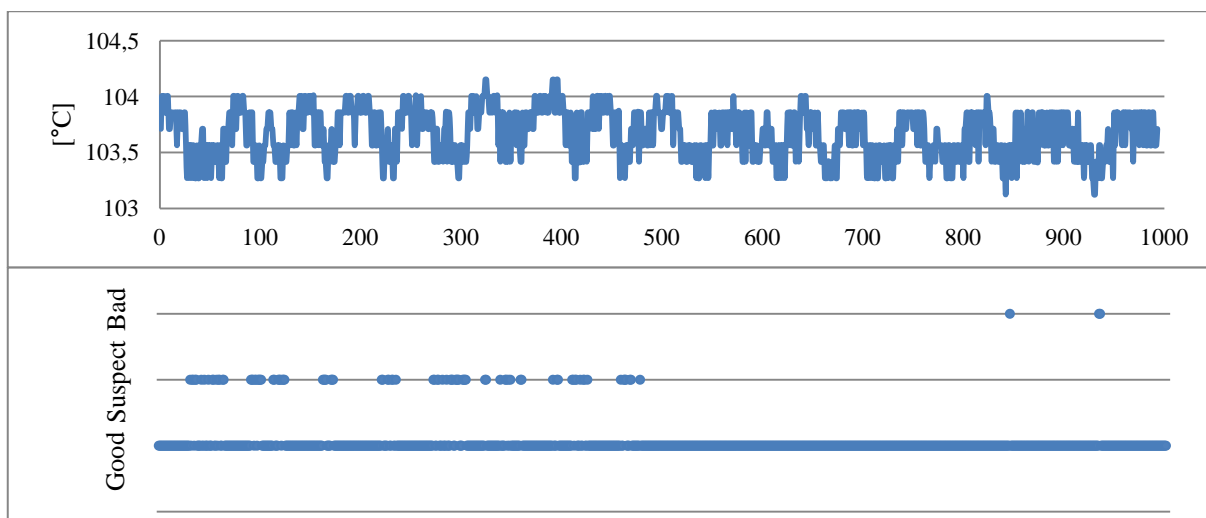
Rys. 5.10 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury skroplin z wymiennika XN4 w przypadku pracy w stanie ustalonym (Wariant I)

## Ciśnienie pary w upuście 4



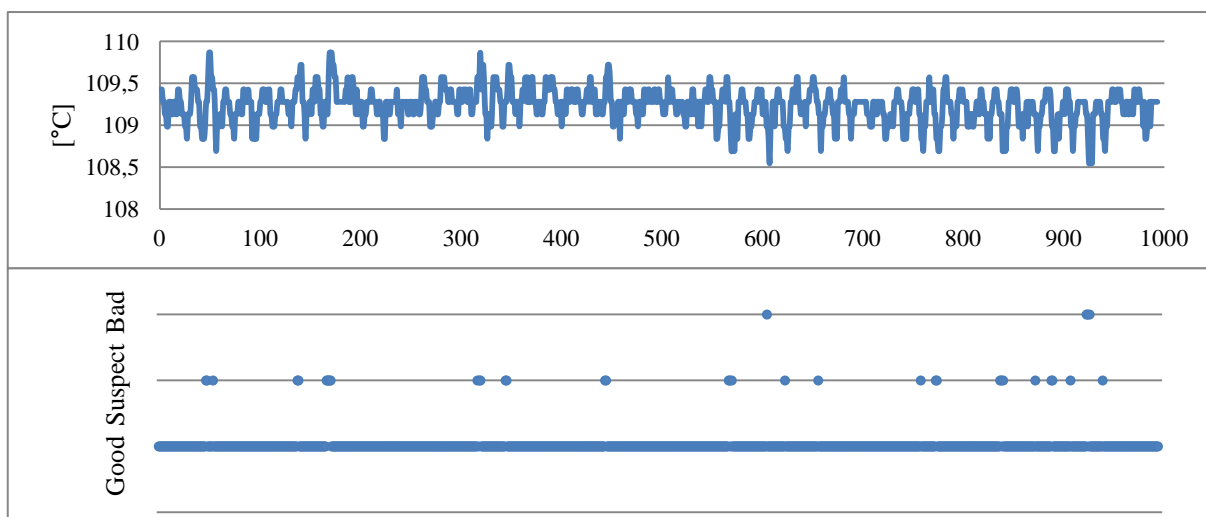
Rys. 5.11 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla ciśnienia pary w upuście 4 w przypadku pracy w stanie ustalonym (Wariant I)

Temperatura kondensatu na wlocie do wymiennika XN3/ Temperatura kondensatu na wylocie z wymiennika XN2



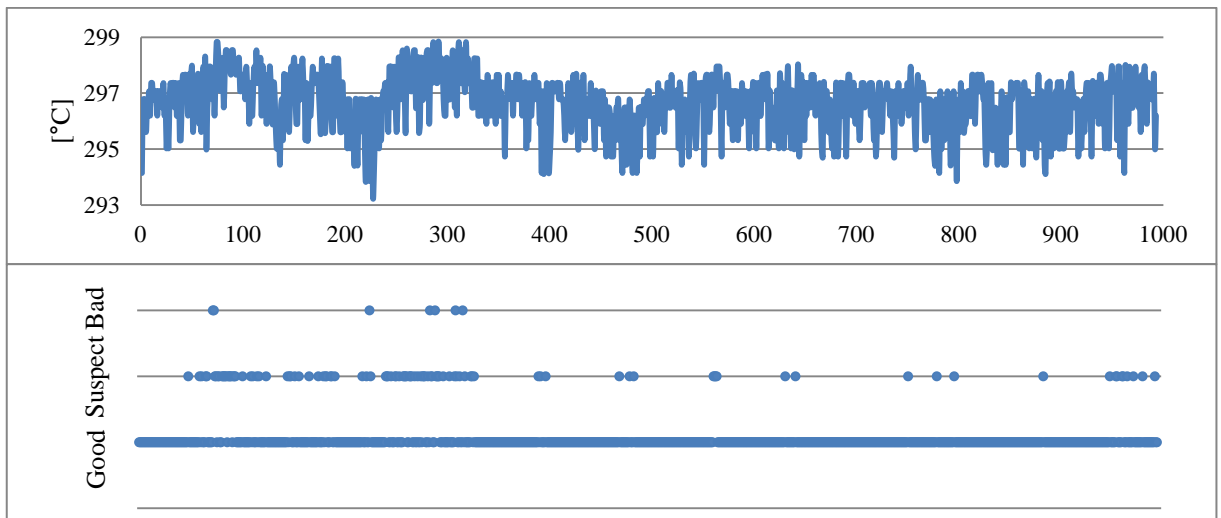
Rys. 5.12 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury kondensatu na wlocie do wymiennika XN3/ temperatury kondensatu na wylocie z wymiennika XN2 w przypadku pracy w stanie ustalonym (Wariant I)

Temperatura skroplin z wymiennika XN3



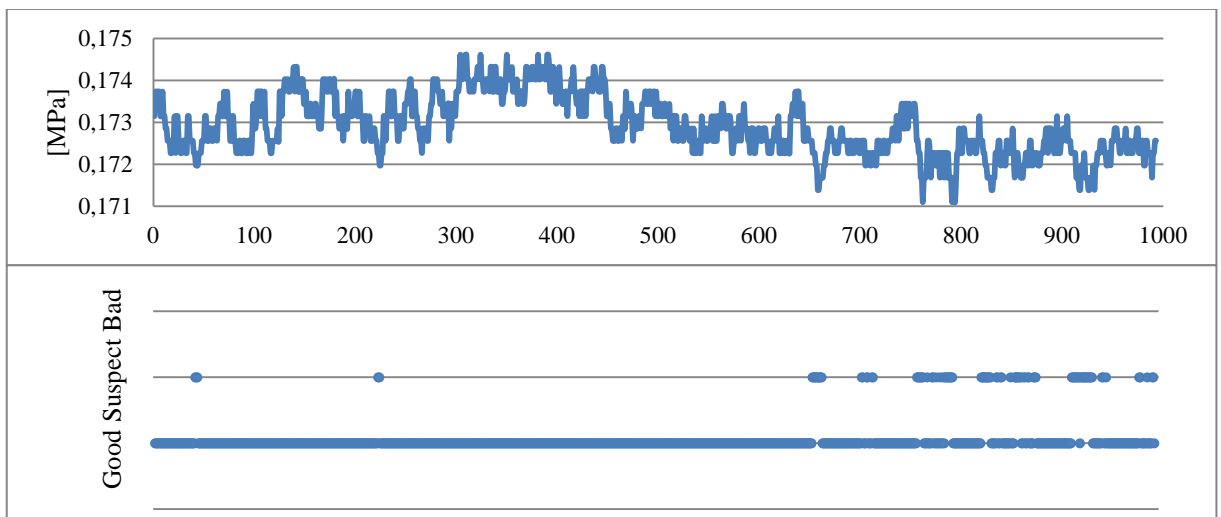
Rys. 5.13 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury skroplin z wymiennika XN3 w przypadku pracy w stanie ustalonym (Wariant I)

## Temperatura pary w upuście 5



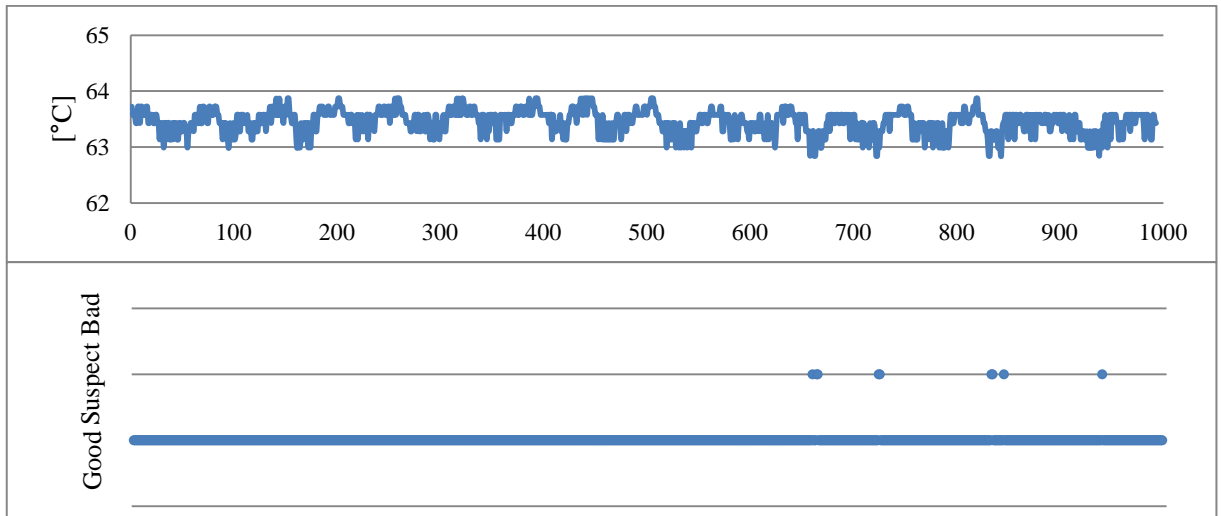
Rys. 5.14 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury pary w upuście 5 w przypadku pracy w stanie ustalonym (Wariant I)

## Ciśnienie w upuście 5



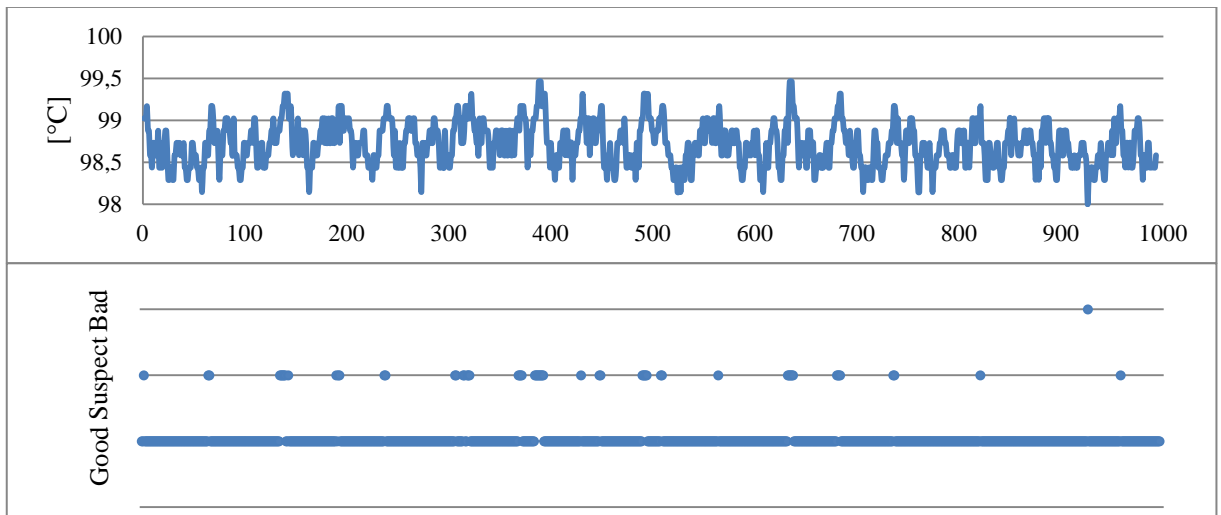
Rys. 5.15 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla ciśnienia pary w upuście 5 w przypadku pracy w stanie ustalonym (Wariant I)

### Temperatura kondensatu na wlocie do wymiennika XN2



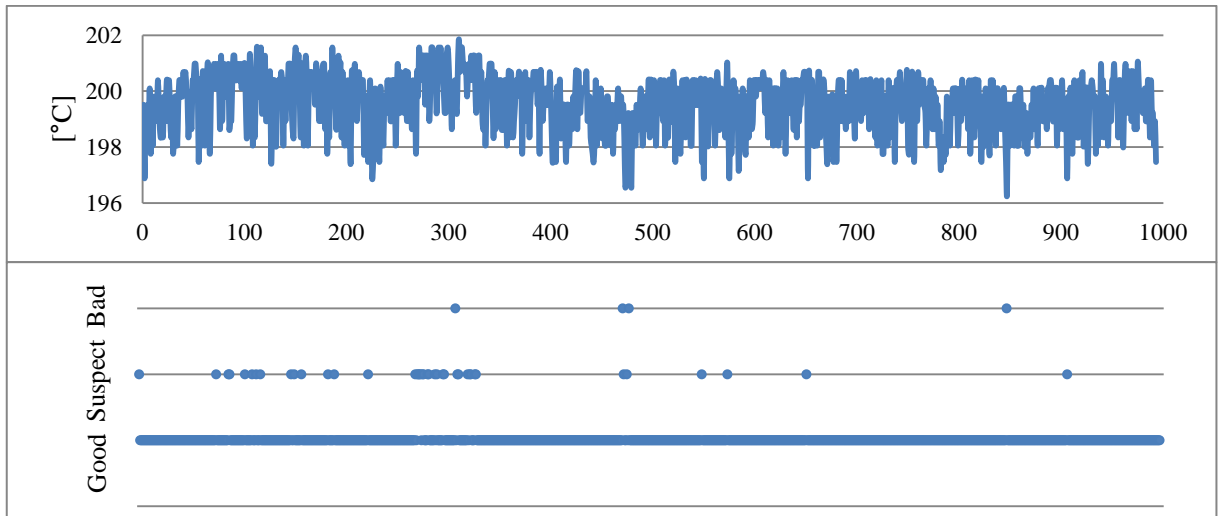
Rys. 5.16 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury kondensatu na wlocie do wymiennika XN2 w przypadku pracy w stanie ustalonym (Wariant I)

### Temperatura skroplin z wymiennika XN2



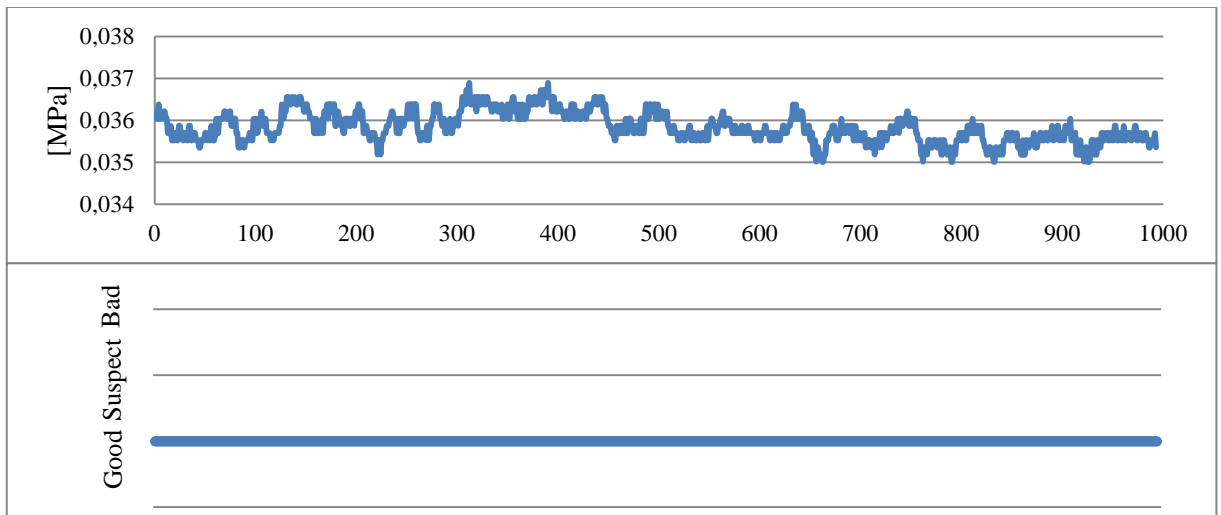
Rys. 5.17 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury skroplin z wymiennika XN2 w przypadku pracy w stanie ustalonym (Wariant I)

## Temperatura pary w upuście 6



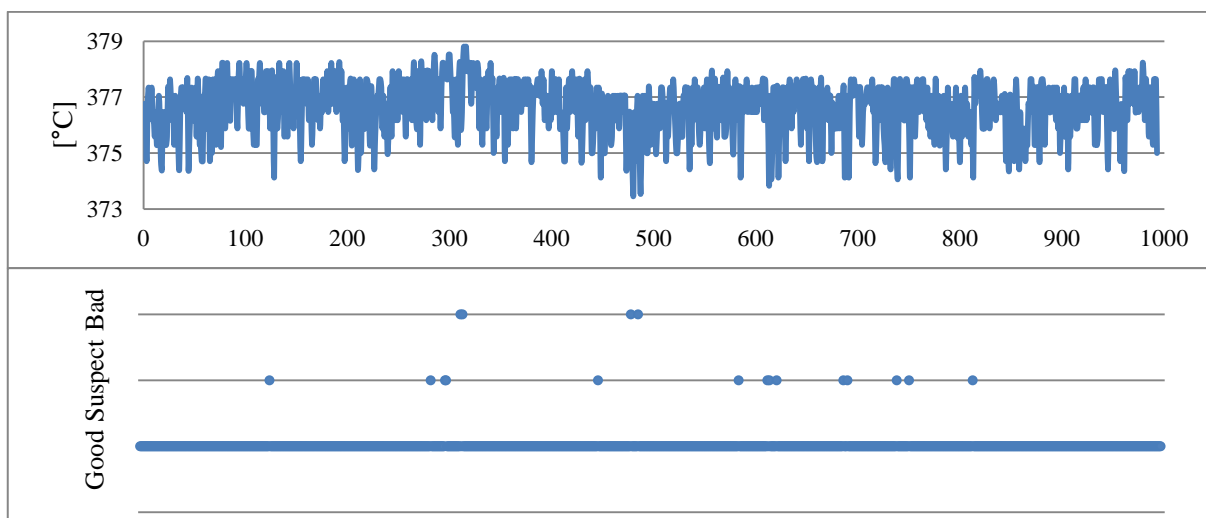
Rys. 5.18 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury pary w upuście 6 w przypadku pracy w stanie ustalonym (Wariant I)

## Ciśnienie pary w upuście 6



Rys. 5.19 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla ciśnienia pary w upuście 6 w przypadku pracy w stanie ustalonym (Wariant I)

## Temperatura pary w upuście 4



Rys. 5.20 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury pary w upuście 4 w przypadku pracy w stanie ustalonym (Wariant I)

Zastosowanie metody w przypadku, kiedy wszystkie parametry można uznać za poprawne miało na celu udowodnienie, że odnosząc się do pomiarów referencyjnych, oceny statystycznej pomiaru oraz częstotliwości występowania danej wartości pomiaru pomimo naturalnych odchyłeń parametrów mierzonych od wartości oczekiwanej można w wiarygodny sposób ocenić poprawność pozyskanego pomiaru.

### 5.1.2 Wariant II

W tym przypadku przedstawiono ocenę parametrów niezależnych oraz zależnych dla stanu pracy systemu ze stałym obciążeniem, w którym wystąpiło nagle, chwilowe zakłócenie mocy systemu (Załącznik 6, Tabela Z6.1Z6.5), (rys. 5.21-5.37).

Zakłócenie to wpłynęło pośrednio na parametry niezależne (ciśnienie pary świeżej, temperaturę pary świeżej, temperaturę pary przegrzanej), w których również można zaobserwować chwilowe, dynamiczne odchylenia parametrów o znacznej wartości. Należy zauważyć, że w systemie stosowany jest układ regulacji automatycznej, który przy pomocy parametrów niezależnych wpływa na warunki pracy systemu. Wspomniane zakłócenie wpłynęło również na parametry zależne. Można zauważyć, że odchylenie wartości mocy od wartości stałej powoduje chwilowe odchylenia w przypadku parametrów zależnych.

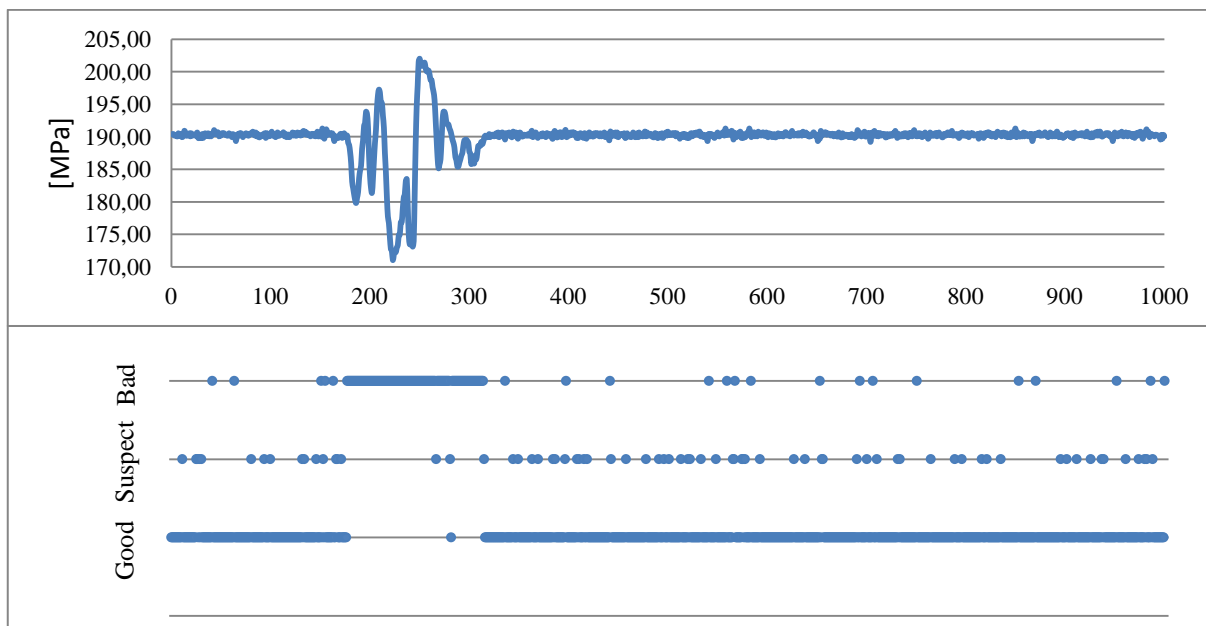
Zaprezentowana metoda w przypadku wystąpienia chwilowego, nagłego zakłócenia wykrywa próbki które znacznie odstają od wartości oczekiwanej jednocześnie występują z małą częstotliwością w całym badanym zbiorze. Próbkę tę zostały zaklasyfikowane jako niepoprawne (Bad).

W przypadku wystąpienia chwilowego zakłócenia system może utracić stabilność cieplną, co przejawia się większymi odchyleniami parametrów od wartości

oczekiwanej. Dla przedstawionego przypadku można zauważyć taką tendencję szczególnie wśród parametrów zależnych odnoszących się do pracy wymienników. Po wystąpieniu zakłócenia zarówno temperatury kondensatu na wlocie i wylocie z wymienników (XN4, XN3, XN2), temperatury skroplin z wymienników oraz ciśnienia pary w upustach zasilających wykazywały znaczne odchylenia od wartości referencyjnej. Należy jednak zauważyć, że próbki te ze względu na niepewność oraz częstość występowania w zbiorze zostały ocenione jako podejrzane (Suspect). W tym przypadku nie można powiedzieć, że badany pomiar jest niepoprawny (Bad), ale jego ocena nie daje pewności co do wiarygodności pozyskanych informacji. Niepewność co do wiarygodności pomiaru w tym przypadku wynika bezpośrednio ze stanu pracy systemu, a nie z samej metodologii pomiaru.

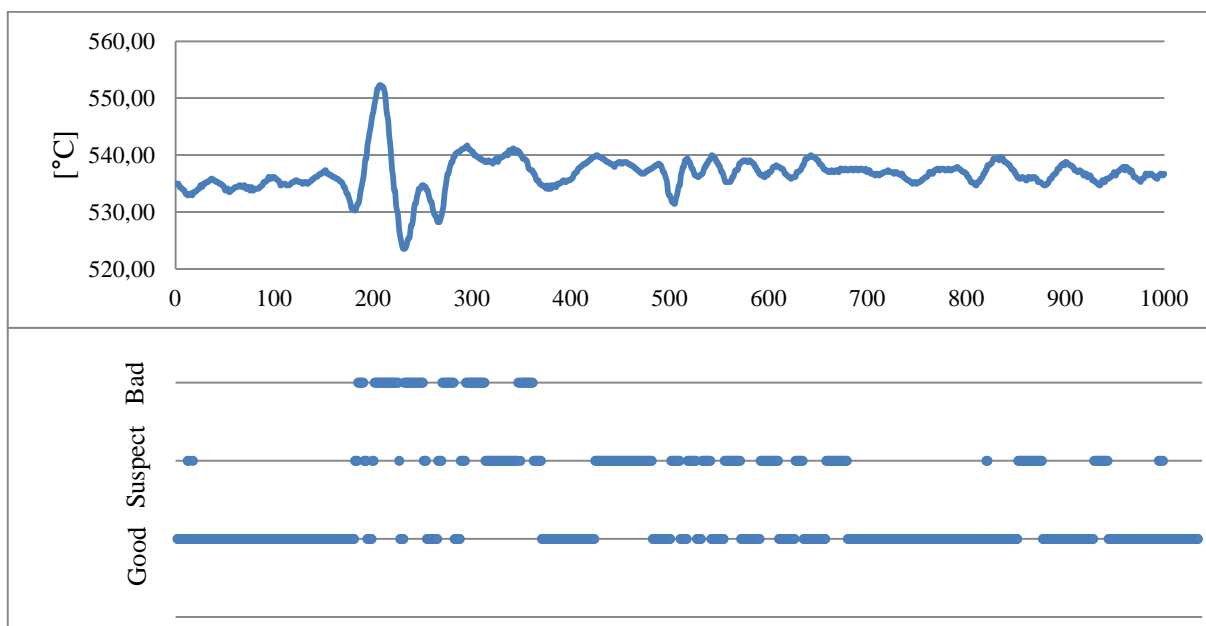


## Moc



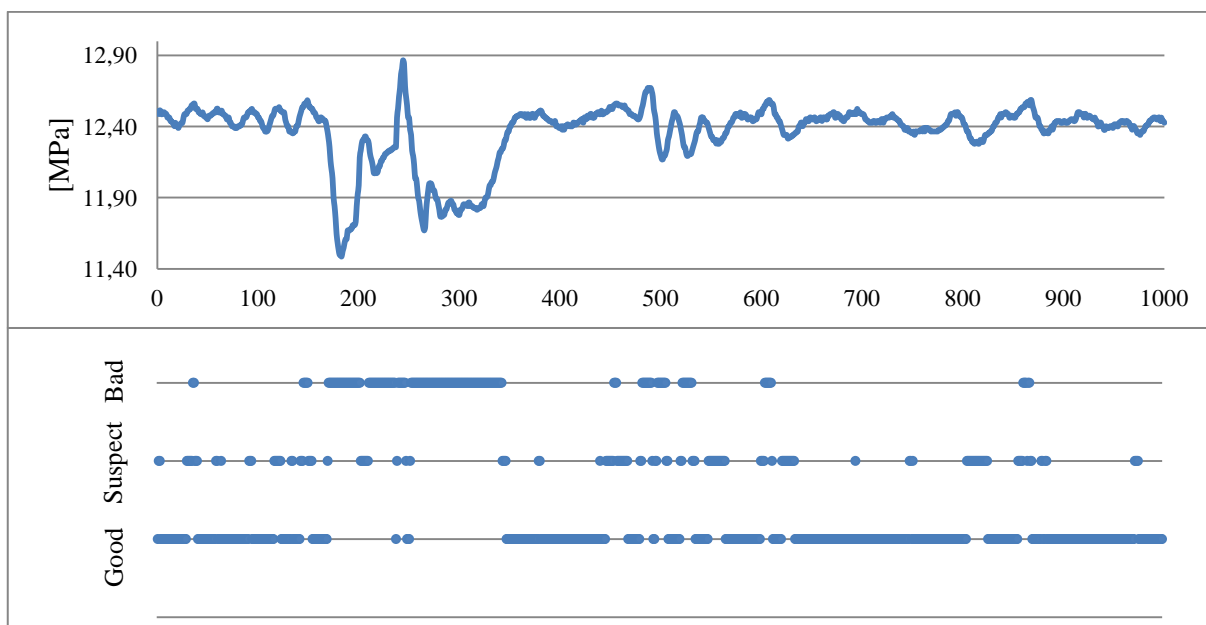
Rys. 5.21 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla mocy w przypadku pracy w stanie ustalonym, w którym wystąpiły chwilowe zakłócenia (Wariant II)

## Temperatura pary świeżej



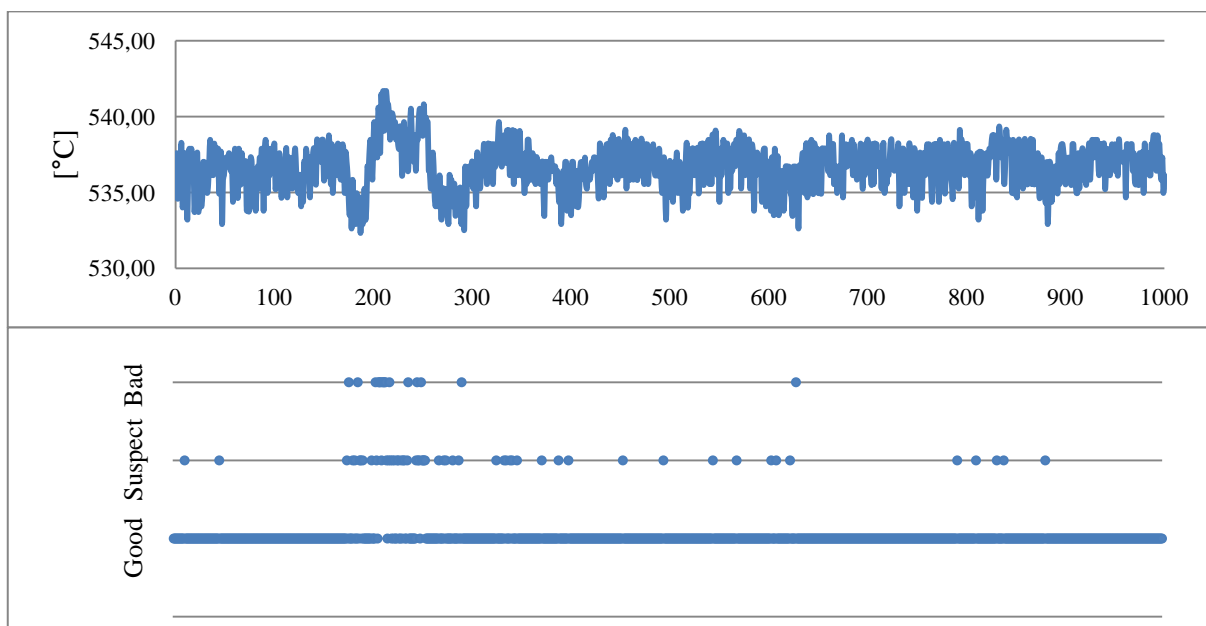
Rys. 5.22 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury pary świeżej w przypadku pracy w stanie ustalonym, w którym wystąpiły chwilowe zakłócenia (Wariant II)

### Ciśnienie pary świeżej



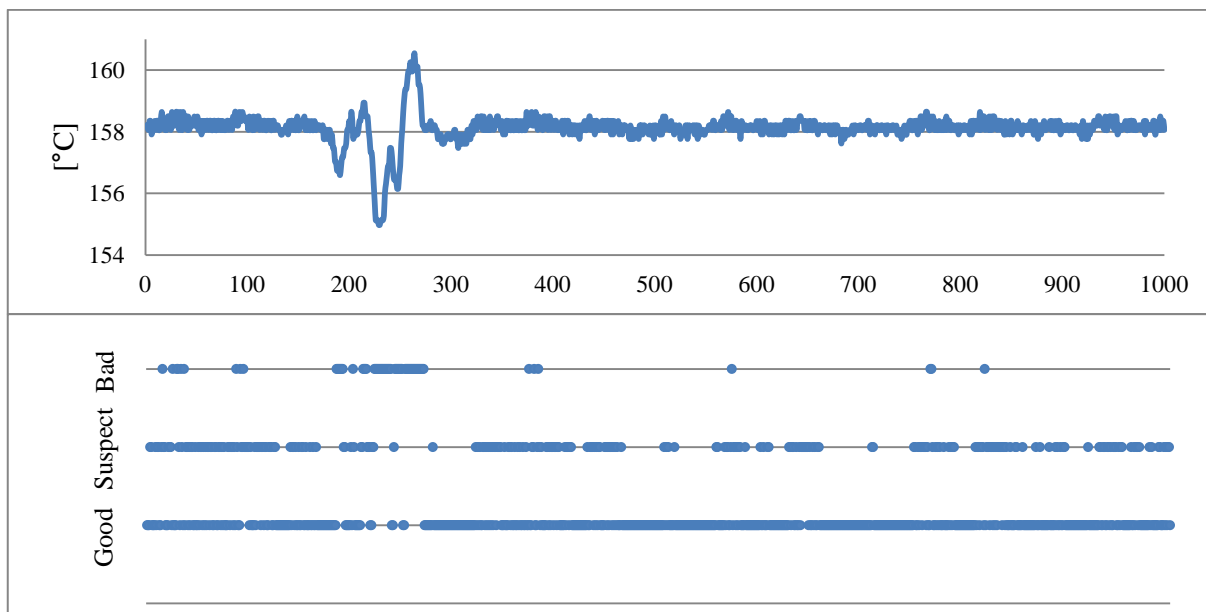
Rys. 5.23 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla ciśnienia pary świeżej w przypadku pracy w stanie ustalonym, w którym wystąpiły chwilowe zakłócenia (Wariant II)

### Temperatura pary przegrzanej



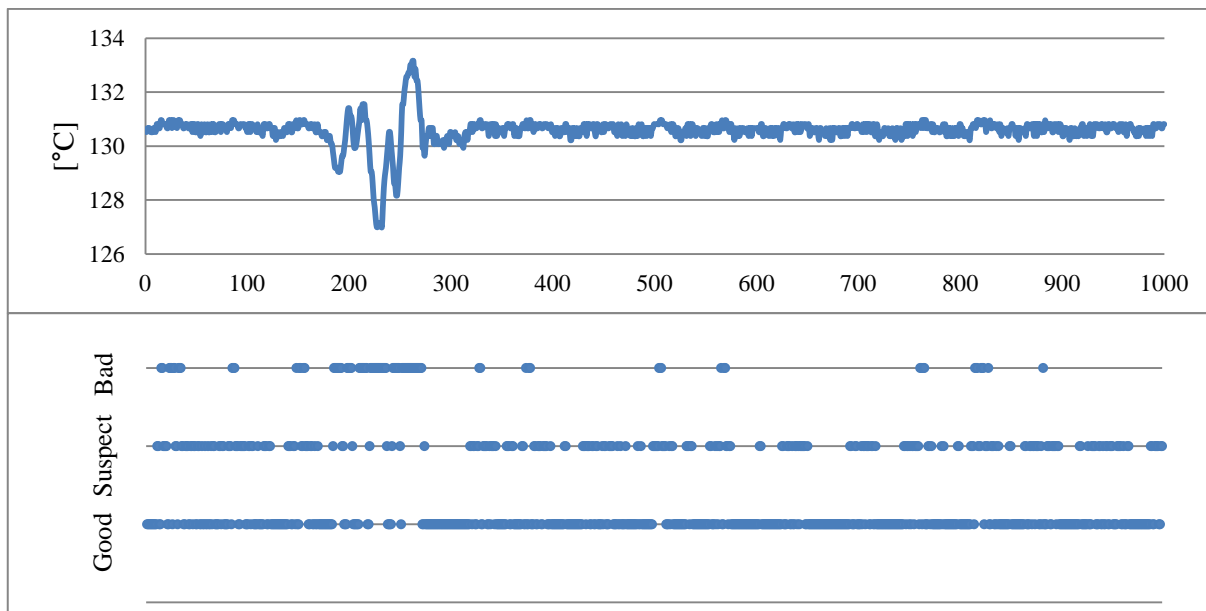
Rys. 5.24 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury pary przegrzanej w przypadku pracy w stanie ustalonym, w którym wystąpiły chwilowe zakłócenia (Wariant II)

### Temperatury kondensatu na wylocie z XN4



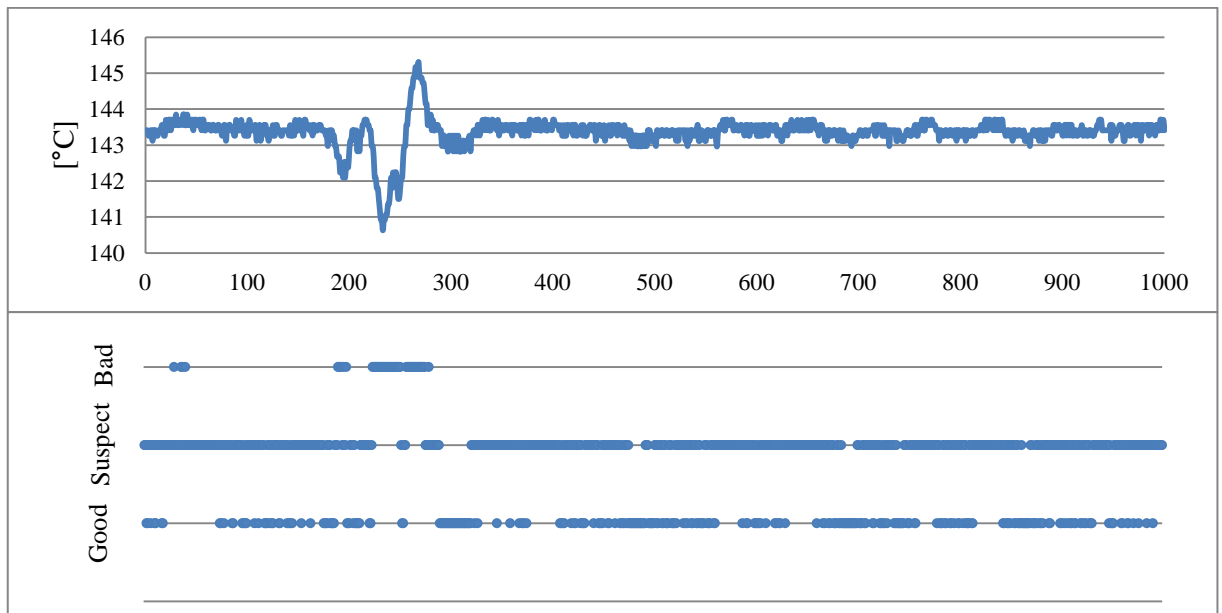
Rys. 5.25 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury kondensatu na wylocie z wymiennika XN4 w przypadku pracy w stanie ustalonym, w którym wystąpiły chwilowe zakłócenia (Wariant II)

### Temperatura kondensatu na wlocie do wymiennika XN4/ Temperatura kondensatu na wylocie z wymiennika XN3



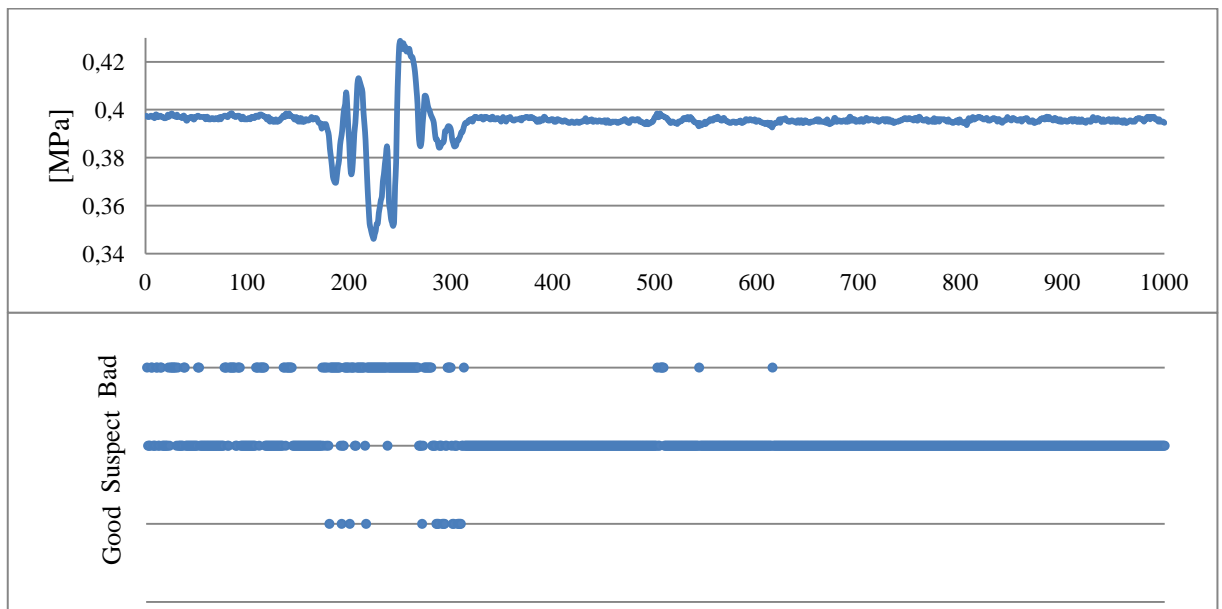
Rys. 5.26 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury kondensatu na wlocie do wymiennika XN4/temperatury kondensatu na wylocie z wymiennika XN3 w przypadku pracy w stanie ustalonym, w którym wystąpiły chwilowe zakłócenia (Wariant II)

### Temperatura skroplin z wymiennika XN4



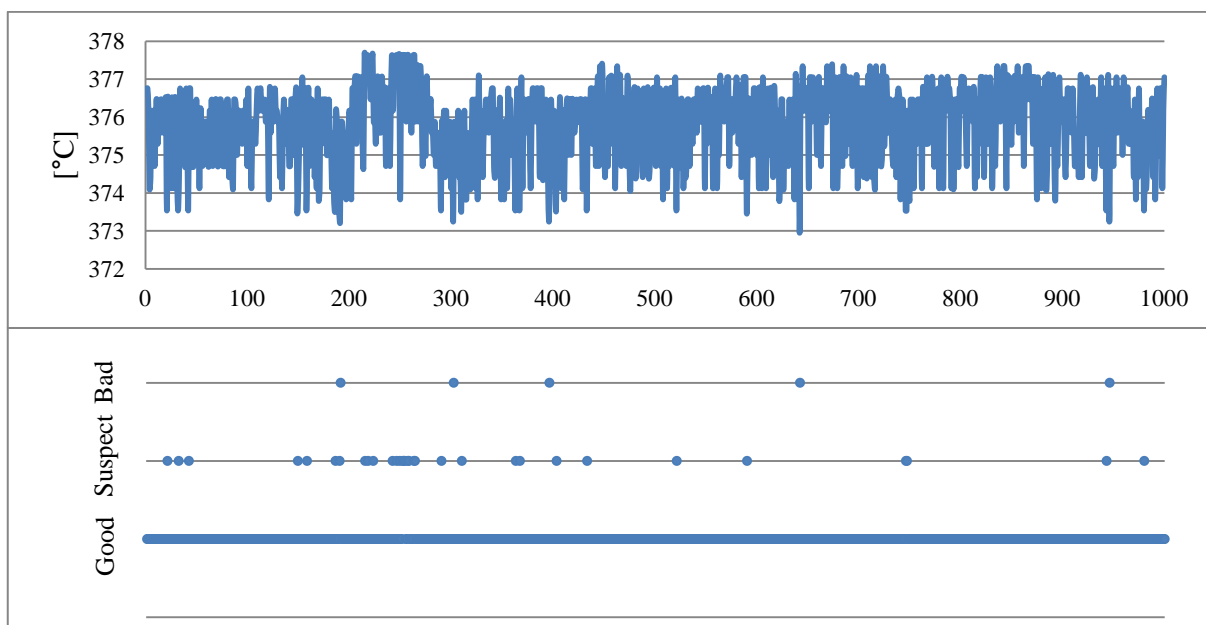
Rys. 5.27 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury skroplin z wymiennika XN4 w przypadku pracy w stanie ustalonym, w którym wystąpiły chwilowe zakłócenia (Wariant II)

### Ciężnienie pary w upuście 4



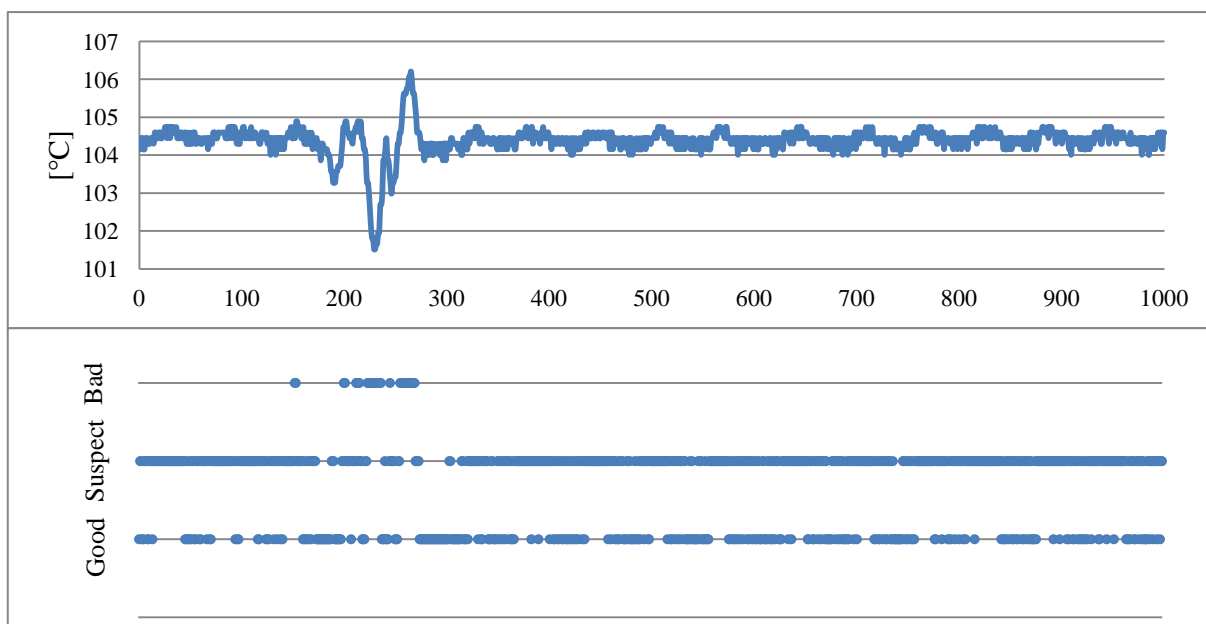
Rys. 5.28 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla ciśnienia pary w upuście 4 w przypadku pracy w stanie ustalonym, w którym wystąpiły chwilowe zakłócenia (Wariant II)

### Temperatura pary w upuście 4



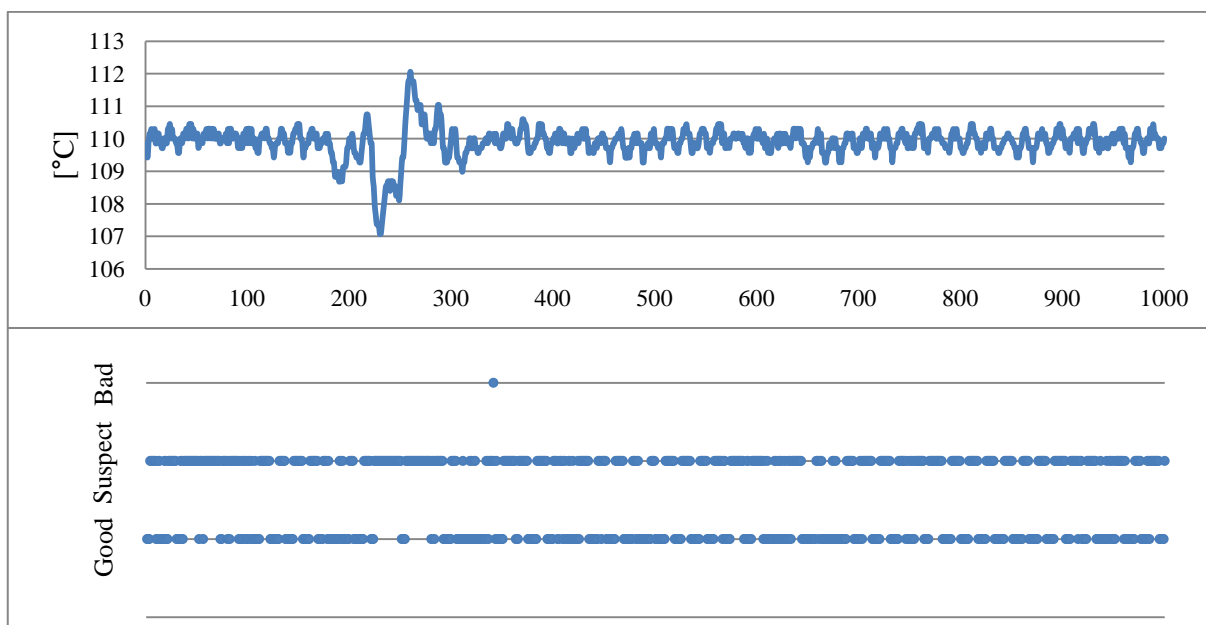
Rys. 5.29 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury pary w upuście 4 w przypadku pracy w stanie ustalonym, w którym wystąpiły chwilowe zakłócenia (Wariant II)

### Temperatury kondensatu na wlocie do wymiennika XN3/ Temperatury kondensatu na wylocie z wymiennika XN2



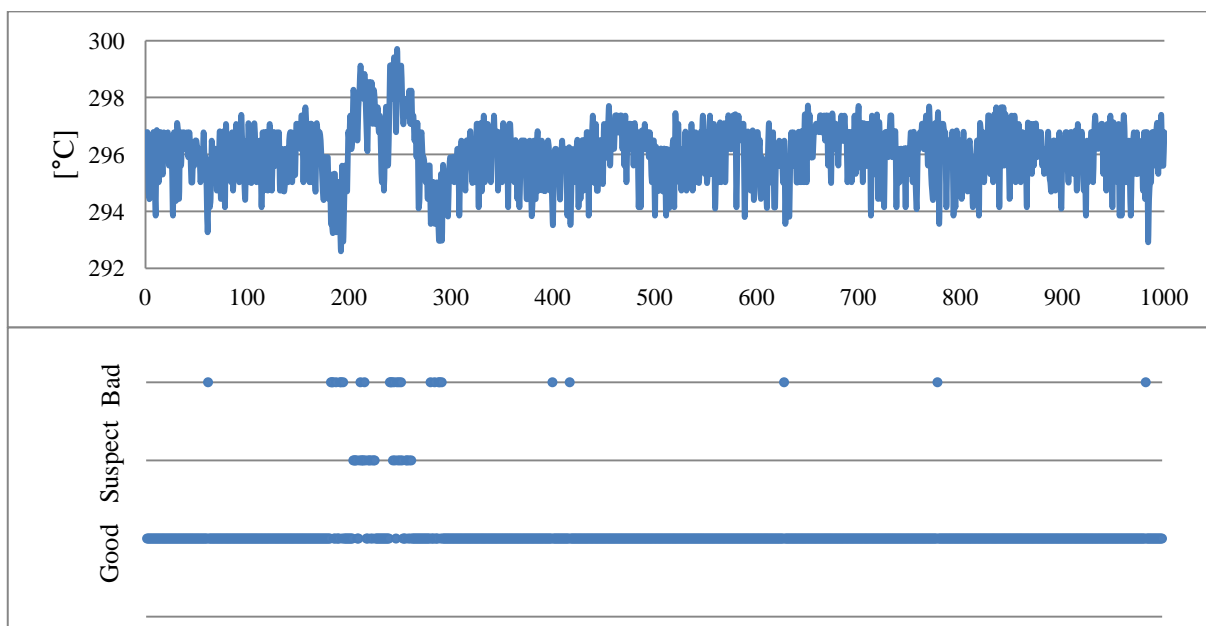
Rys. 5.30 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury kondensatu na wlocie do wymiennika XN3/ temperatury kondensatu na wylocie z wymiennika XN2 w przypadku pracy w stanie ustalonym, w którym wystąpiły chwilowe zakłócenia (Wariant II)

## Temperatura skroplin z wymiennika XN3



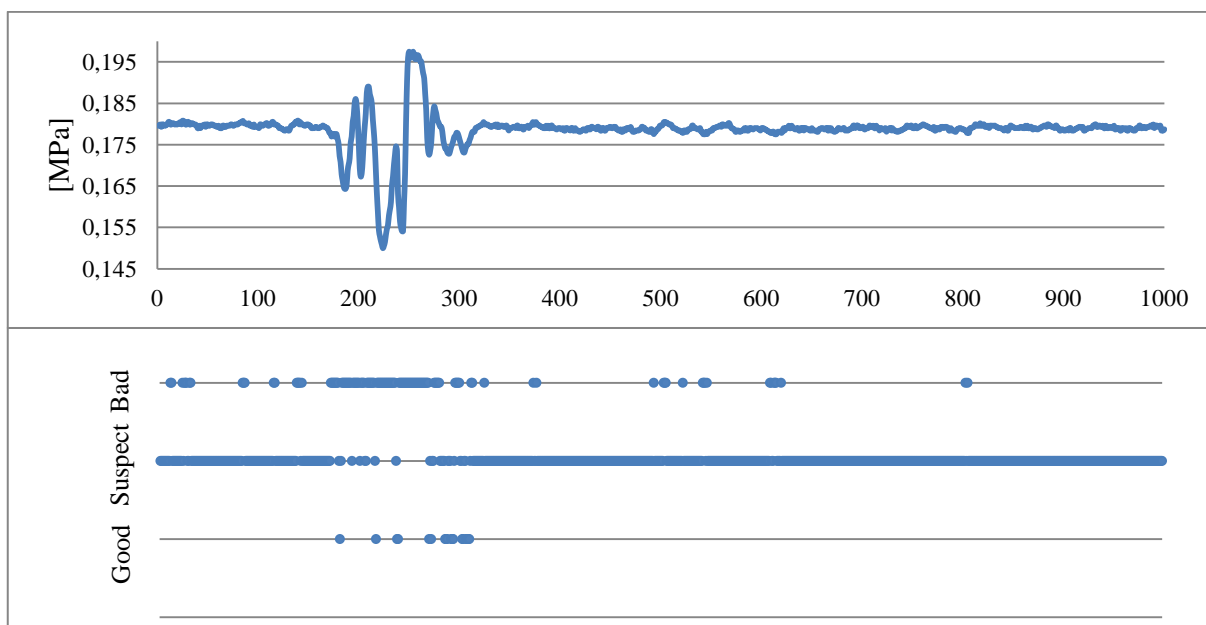
Rys. 5.31 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury skroplin z wymiennika XN3 w przypadku pracy w stanie ustalonym, w którym wystąpiły chwilowe zakłócenia (Wariant II)

## Temperatury pary w upuście 5



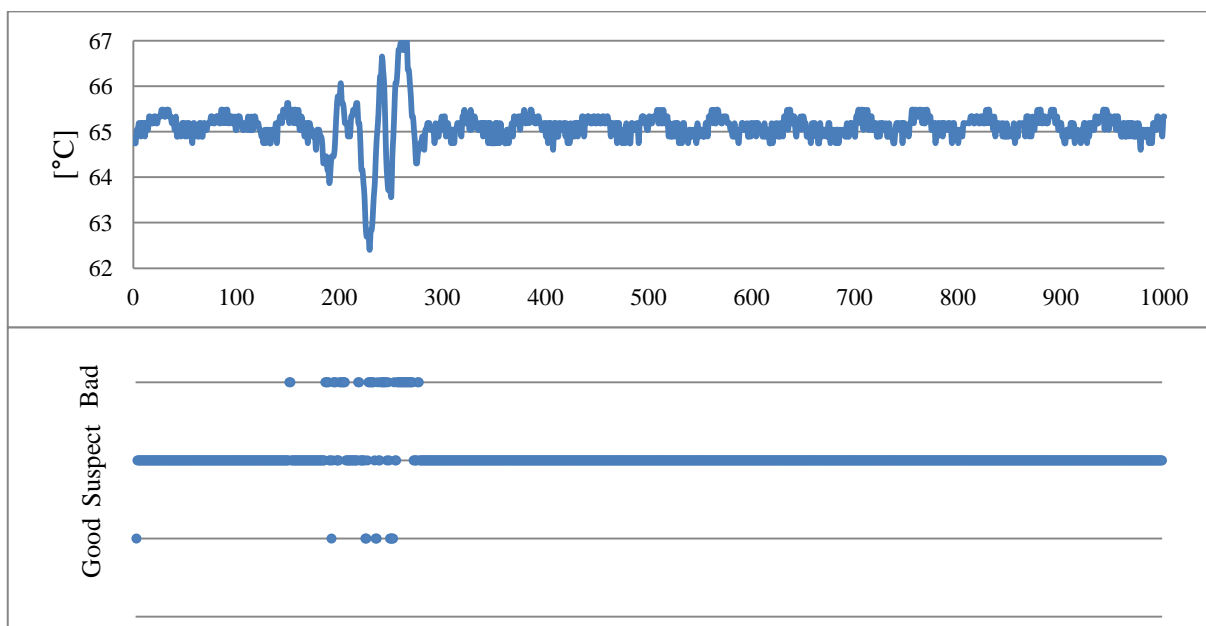
Rys. 5.32 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury pary w upuście 5 w przypadku pracy w stanie ustalonym, w którym wystąpiły chwilowe zakłócenia (Wariant II)

### Ciśnienie pary w upuście 5



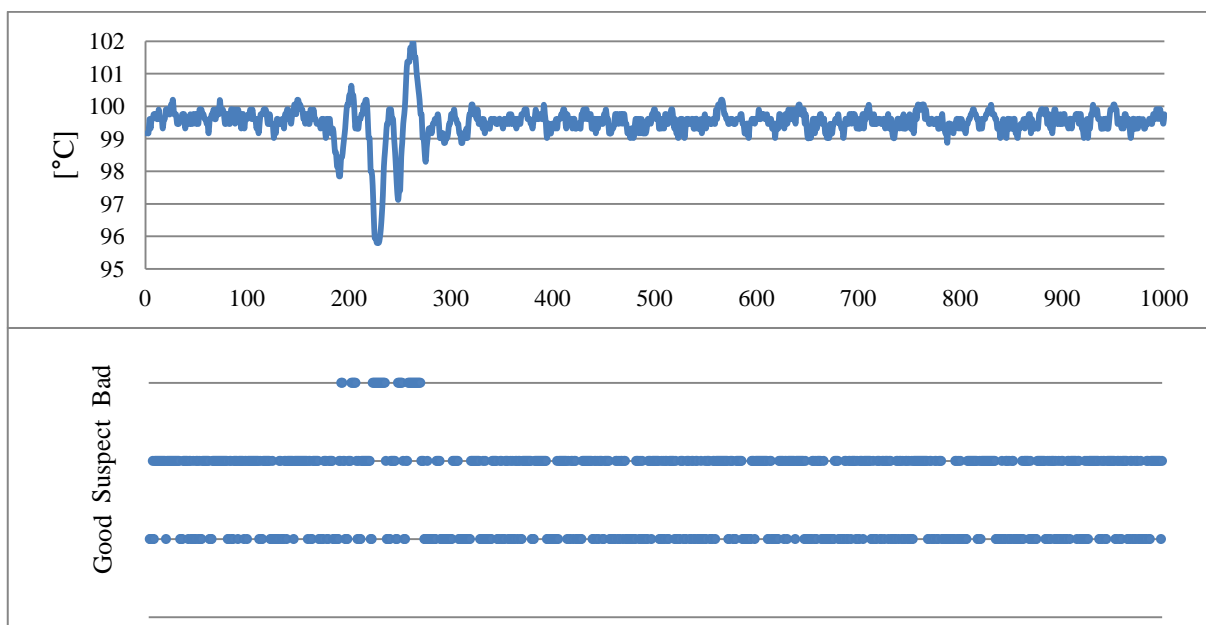
Rys. 5.33 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla ciśnienia pary w upuście 5 w przypadku pracy w stanie ustalonym, w którym wystąpiły chwilowe zakłócenia (Wariant II)

### Temperatura kondensatu na wlocie do wymiennika XN2



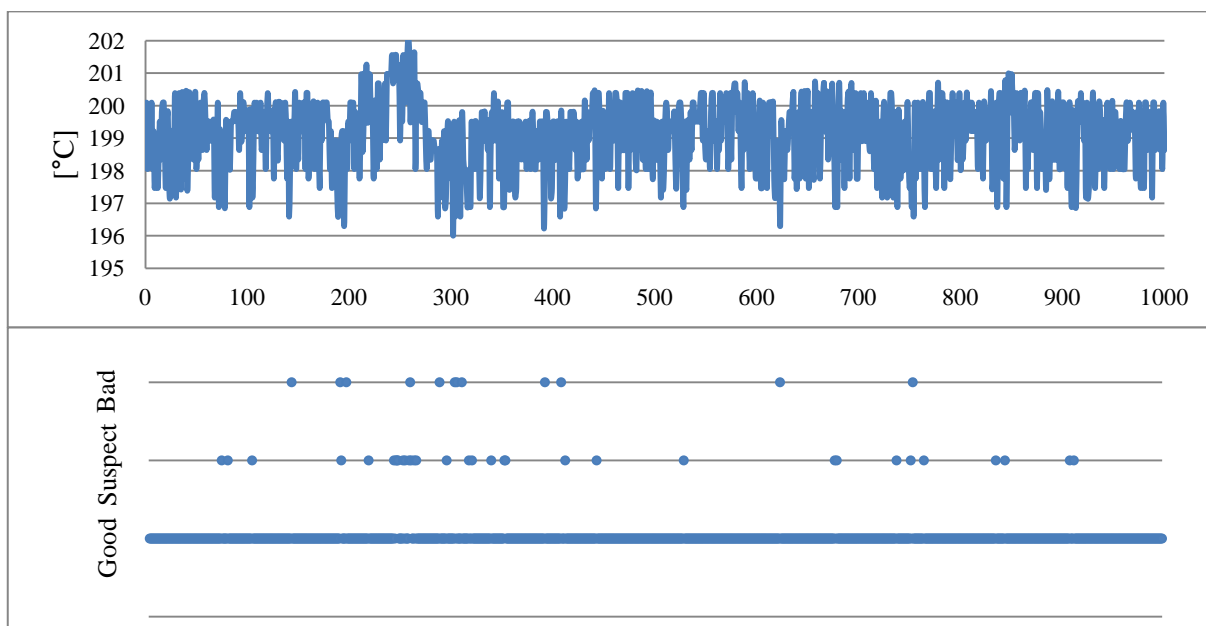
Rys. 5.34 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury kondensatu na wlocie do wymiennika XN2 w przypadku pracy w stanie ustalonym, w którym wystąpiły chwilowe zakłócenia (Wariant II)

## Temperatura skroplin z wymiennika XN2



Rys. 5.35 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury skroplin wymiennika XN2 w przypadku pracy w stanie ustalonym, w którym wystąpiły chwilowe zakłócenia (Wariant II)

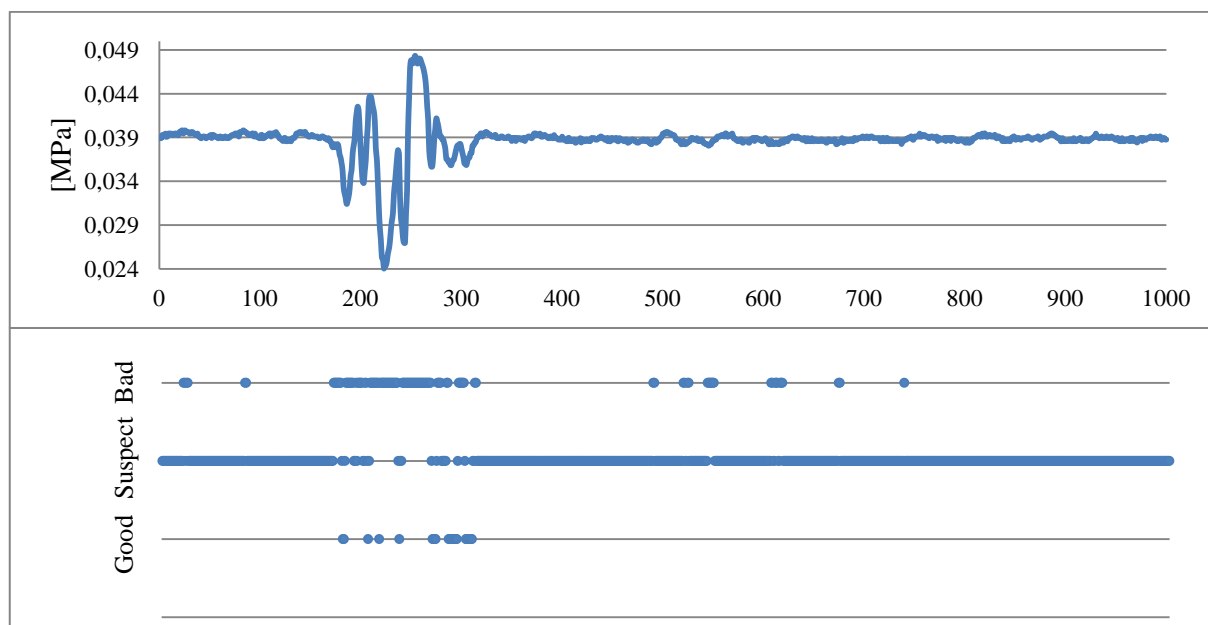
## Temperatura pary w upuście 6



Rys. 5.36 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury pary w upuście 6 w przypadku pracy w stanie ustalonym, w którym wystąpiły chwilowe zakłócenia (Wariant II)



## Ciśnienie pary w upuście 6



Rys. 5.37 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla ciśnienia pary w upuście 6 w przypadku pracy w stanie ustalonym, w którym wystąpiły chwilowe zakłócenia (Wariant II)

Ocena pomiaru w przypadku, kiedy w systemie pracującym w stanie ustalonym wystąpi nagle i chwilowe zakłócenie ma na celu udowodnienie, że przedstawiona metoda jest w stanie wykryć błędy grube oraz chwilowe nieprawidłowości w pomiarze, które wynikają bezpośrednio z pracy systemu, a nie z uszkodzeń czujników pomiarowych. Przypadek ten pokazuje również, że metoda jest czuła na dane, które powtarzają się z dużą częstotliwością, ale znacznie odstają od wartości oczekiwanej. Dzięki temu przedstawione rozwiązanie jest w stanie wykryć stany nieustabilizowanej cieplnie pracy bloku. Odnosząc się do narzędzi pomiarowych przypadek ten pokazuje również, że metoda jest w stanie wykryć rozkalibrowane przyrządy pomiarowe. Próbkę ocenioną jako podejrzaną (Suspect) w dłuższym okresie czasu powinny być dla operatora systemu czy też dla osoby wykonującej pomiary sygnałem do obserwacji poprawności działania mierników.

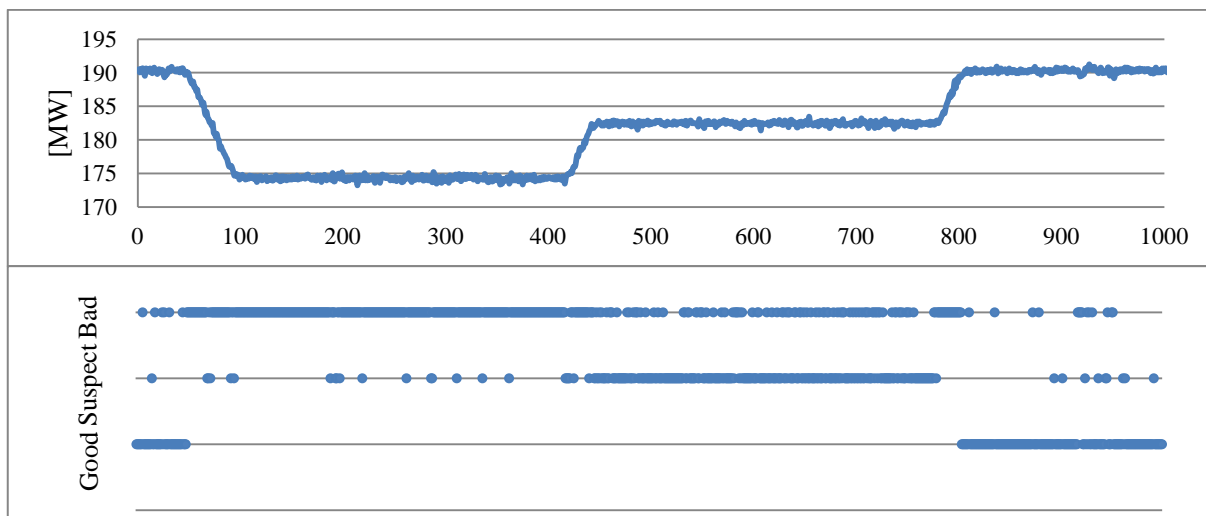
### 5.1.3 Wariant III

W tym przypadku przedstawiono ocenę parametrów niezależnych oraz zależnych dla stanu pracy systemu ze zmiennym obciążeniem (Załącznik 7, Tabela Z7.1Z7.5), (rys. 5.38-5.54).

Próbki poddane ocenie zostały zebrane w trzech stanach ustalonych obciążenia bloku (około 190MW, 175MW, 180MW) oraz w trakcie stanów przejściowych między poszczególnymi obciążeniami. Przedstawione stany ustalone ze względu na krótki czas pracy systemu przy danym, stałym obciążeniu nie mogą zostać uznane za ustabilizowane cieplnie. W tym przypadku wartości oczekiwane dla poszczególnych pomiarów uwzględnione w metodzie oceny poprawności pomiarów również zostały określone dla danych referencyjnych wyznaczonych dla bloku przy obciążeniu bliskim nominalnego (około 190MW).

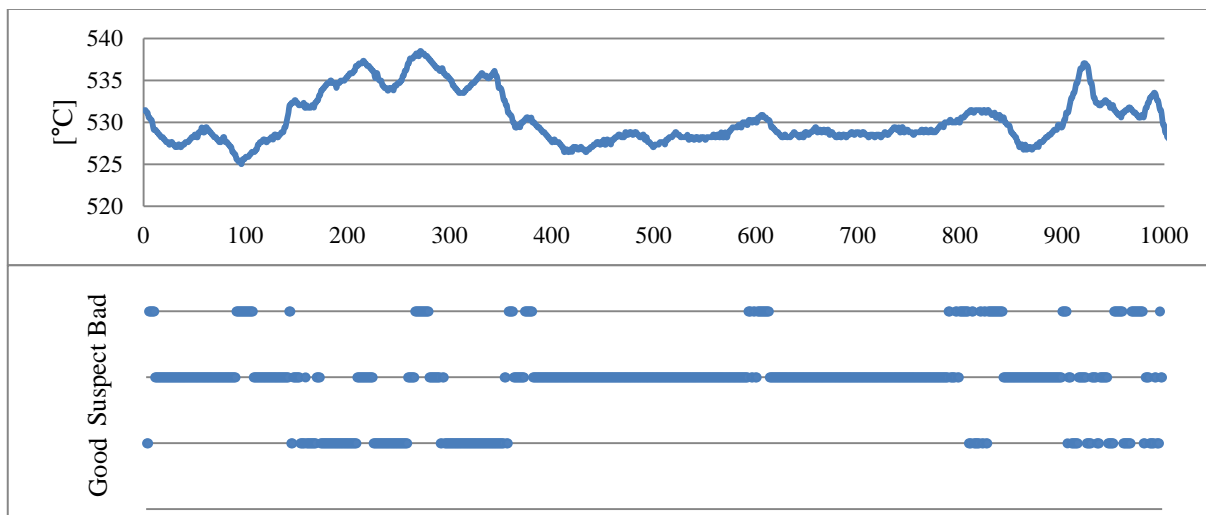
Ze względu na wartości danych wzorcowych w tym przypadku określonych również jako parametry referencyjne dla obciążenia nominalnego bloku pomiar mocy przy obciążeniu niższym (około 180MW, 175MW) oraz w stanach przejściowych został oceniony w większości przypadków jako niepoprawny (Bad). W przypadku parametrów niezależnych takich jak temperatura pary świeżej, ciśnienie pary świeżej czy temperatura pary przegrzanej zmiana obciążenia w trakcie badania nie wpłynęła na ocenę pomiaru. Pomimo zmiany mocy z jaką pracował blok parametry niezależne zostały utrzymane na stałym poziomie. Wynika to z roli regulatorów temperatury oraz ciśnienia utrzymujących stałe wartości parametrów pary świeżej oraz przegrzanej. W przypadku parametrów niezależnych większość próbek została oceniona jako poprawna (Good). Pojawienie się niewielkiej liczby próbek złych (Bad) oraz podejrzanych (Suspect) wynika ze zmiany obciążenia bloku, która wpływa na niestabilność cieplną, co może powodować dodatkowe fluktuacje parametrów. W przypadku zmiennych zależnych zmiana obciążenia bloku powoduje również zmianę wartości tych parametrów. Dlatego też w przypadku zmiennych zależnych większość próbek, która odpowiadała w czasie zmianie mocy z wartości nominalnej została oceniona jako niepoprawna (Bad). Wyjątkiem jest ocena pomiaru temperatury w upustach zasilających wymienniki XN4, XN3, XN2. W tym przypadku na podstawie przedstawionej metody większość próbek została oceniona jako poprawna (Good). Ocena ta wynika ze specyfiki pomiaru temperatury pary w rurociągach upustowych. Ze względu na wysoką temperaturę czynnika roboczego rurociąg ulega nagrzananiu. Zjawisko to powoduje dużą bezwładność cieplną mierzonego parametru. Bezwładność cieplna powoduje, że temperatura pary mierzona w rurociągach upustowych jest nieczuła na zmiany zachodzące w systemie.

## Moc



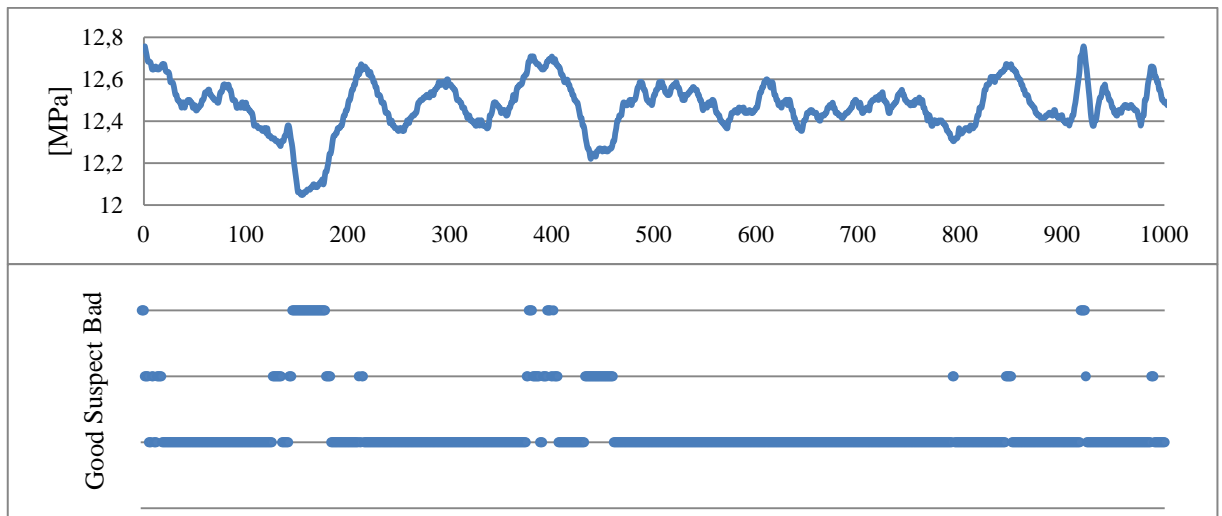
Rys. 5.38 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla mocy w przypadku pracy w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III)

## Temperatura pary świeżej



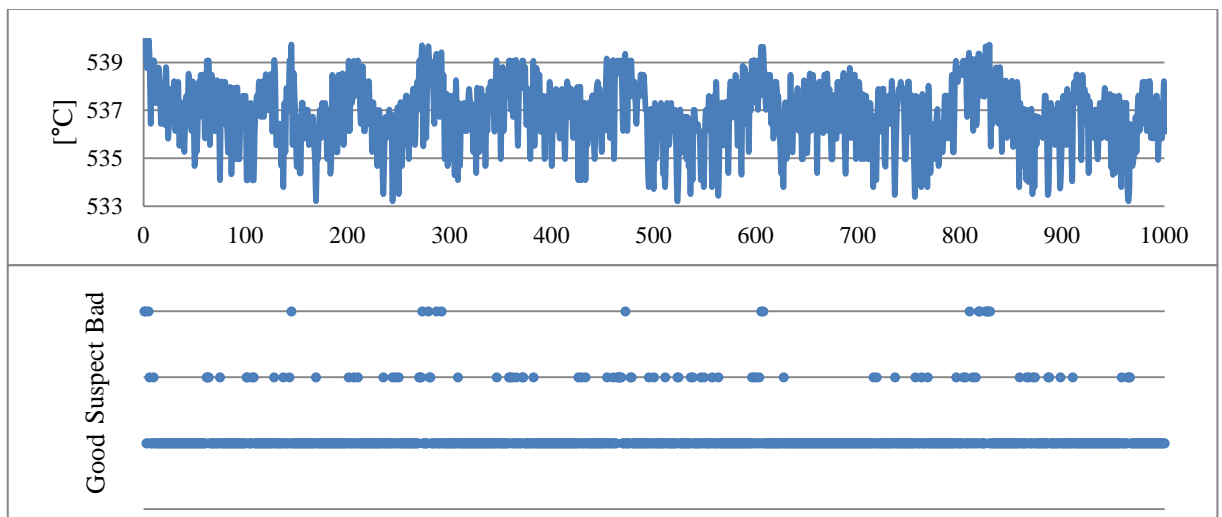
Rys. 5.39 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury pary świeżej w przypadku pracy w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III)

### Ciśnienie pary świeżej



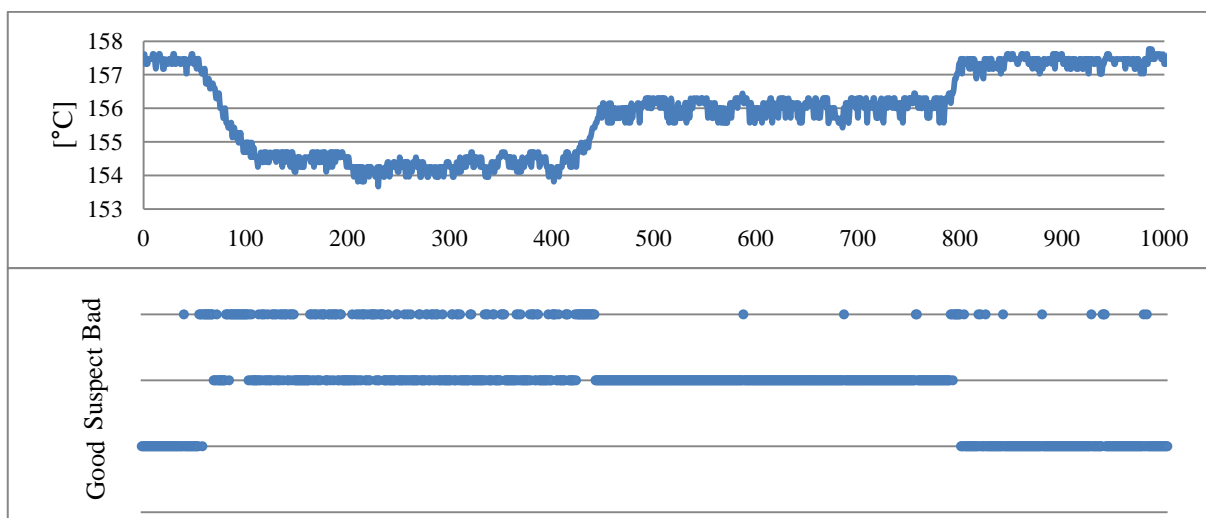
Rys. 5.40 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla ciśnienia pary świeżej w przypadku pracy w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III)

### Temperatura pary przegrzanej



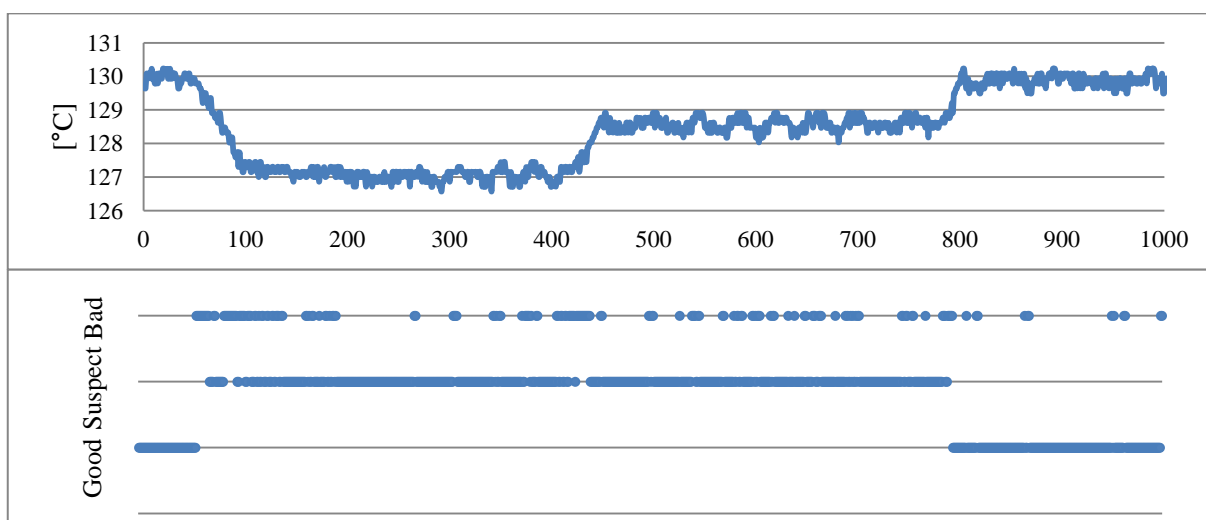
Rys. 5.41 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury pary przegrzanej w przypadku pracy w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III)

### Temperatura kondensatu na wylocie z XN4



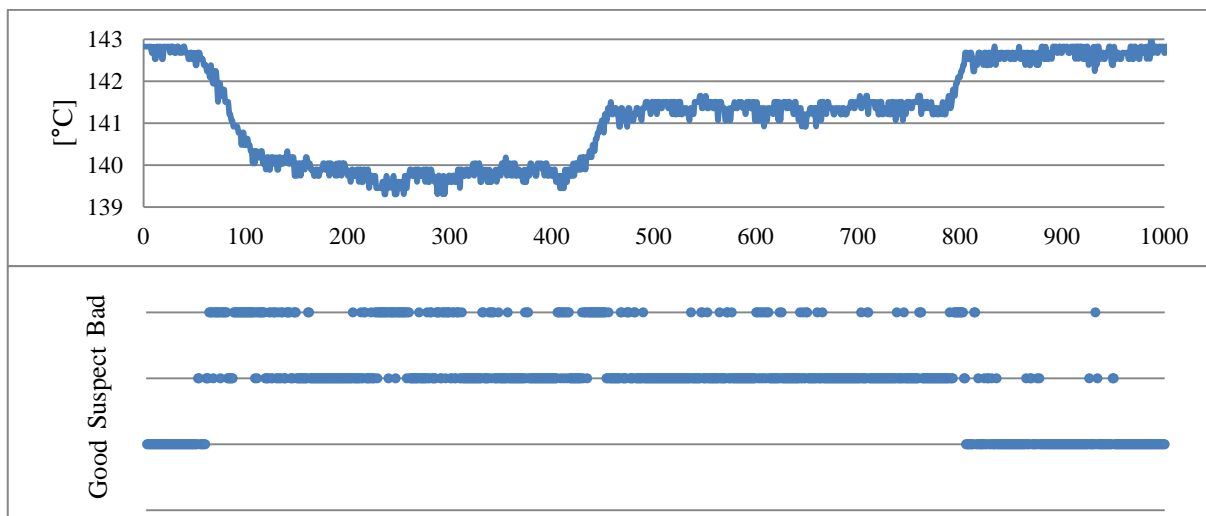
Rys. 5.42 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury kondensatu na wylocie z wymiennika XN4 w przypadku pracy w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III)

### Temperatura kondensatu na wlocie do wymiennika XN4/ Temperatura kondensatu na wylocie z wymiennika XN3



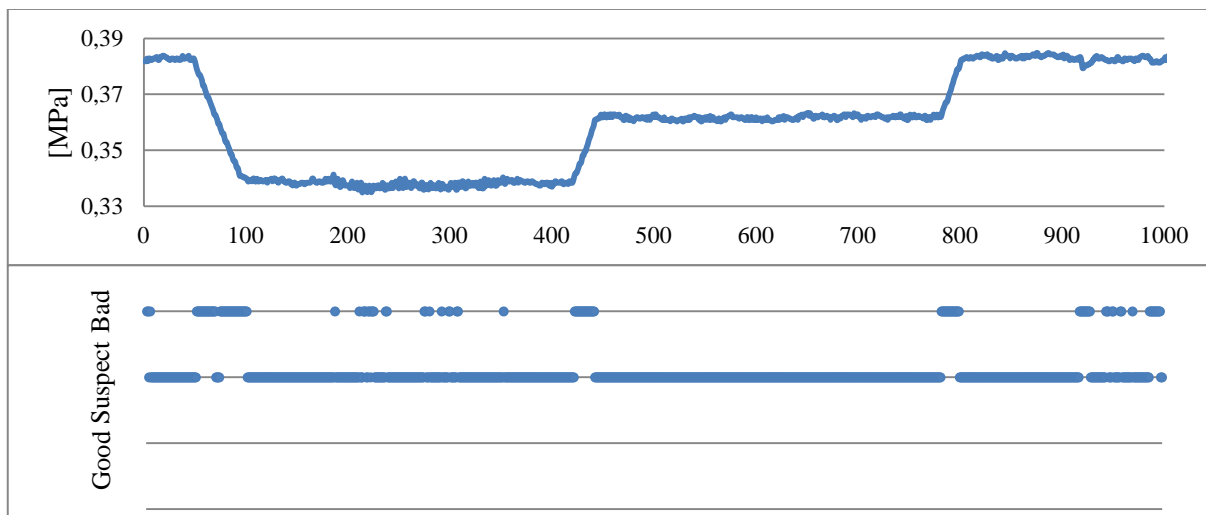
Rys. 5.43 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury kondensatu na wlocie do wymiennika XN4/ Temperatury kondensatu na wylocie z wymiennika XN3 w przypadku pracy w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III)

## Temperatura skroplin z wymiennika XN4



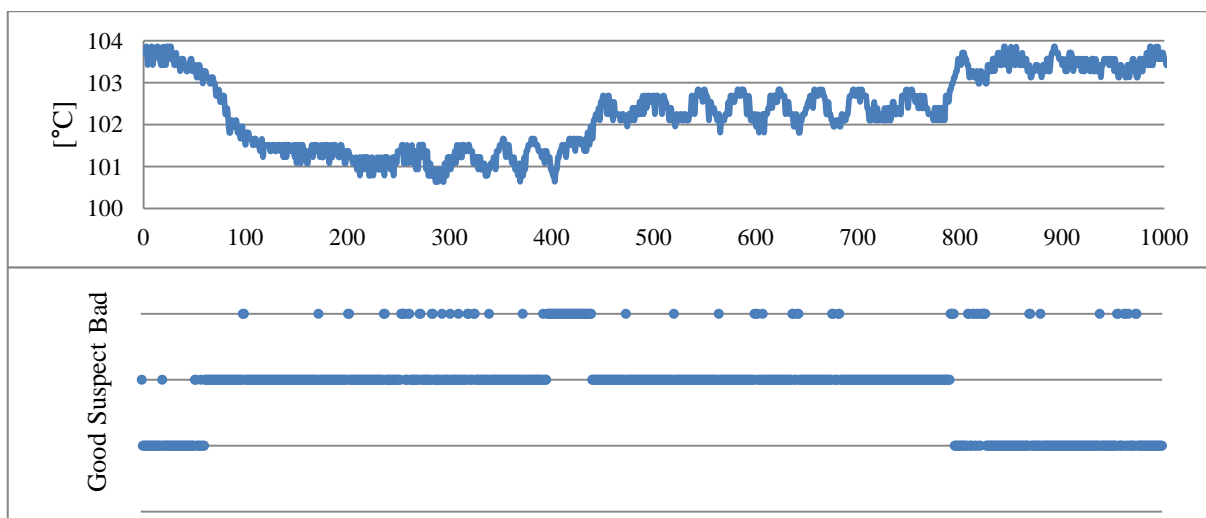
Rys. 5.44 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury skroplin z wymiennika XN4 w przypadku pracy w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III)

## Cięśnienie pary w upuście 4



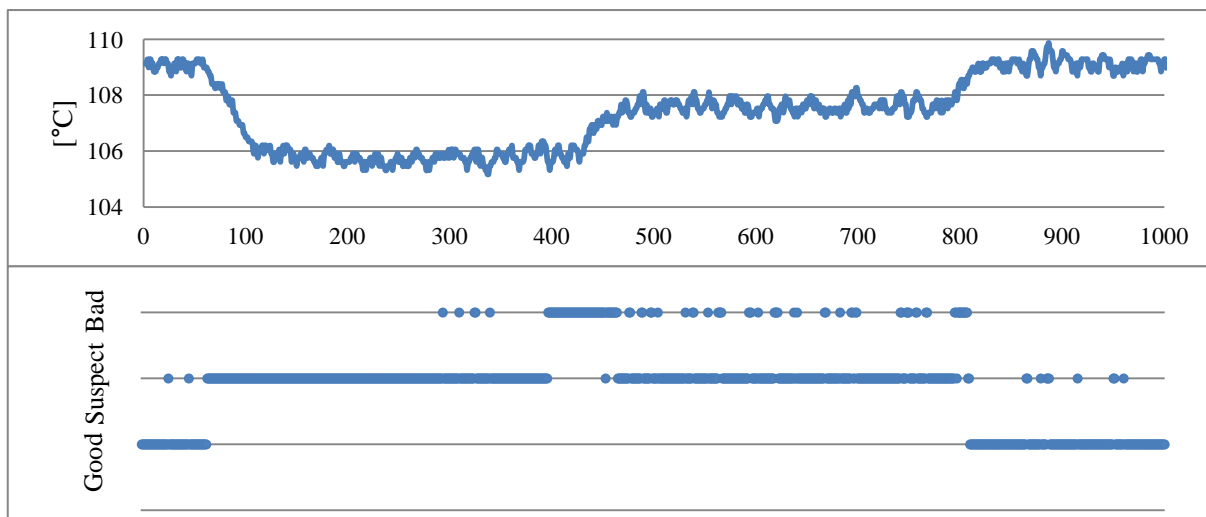
Rys. 5.45 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla ciśnienia pary w upuście 4 w przypadku pracy w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III)

Temperatury kondensatu na wlocie do wymiennika XN3/  
Temperatury kondensatu na wylocie z wymiennika XN2



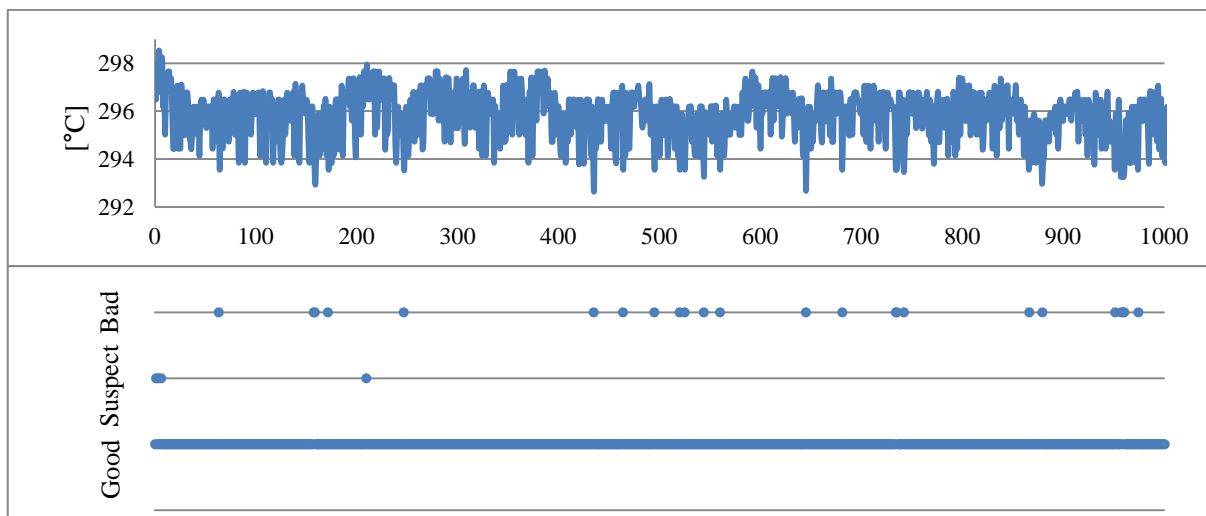
Rys. 5.46 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury kondensatu na wlocie do wymiennika XN3/ Temperatury kondensatu na wylocie z wymiennika XN2 w przypadku pracy w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III)

Temperatura skroplin z wymiennika XN3



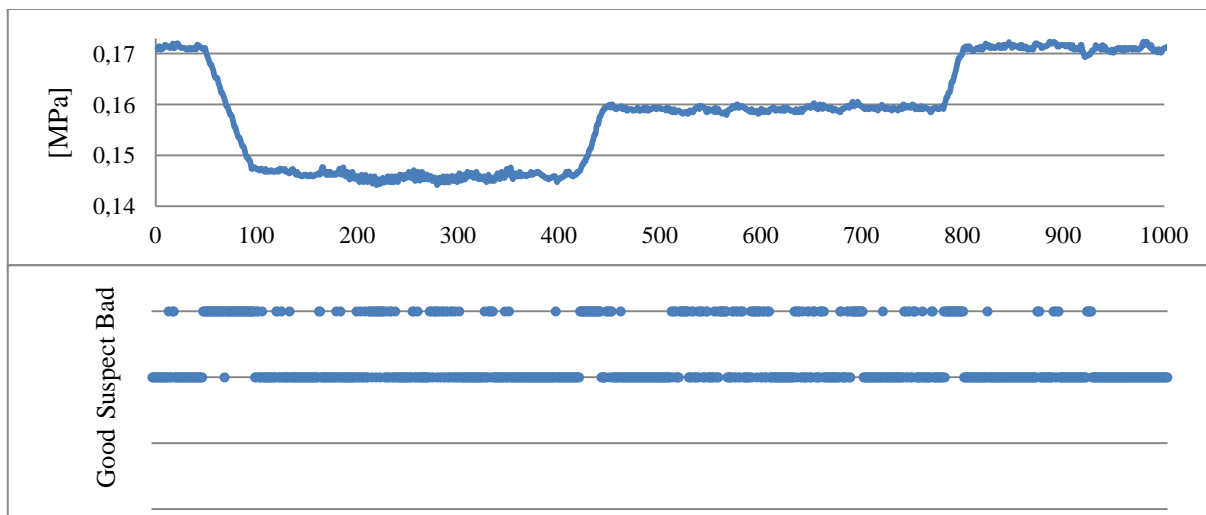
Rys. 5.47 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury skroplin z wymiennika XN3 w przypadku pracy w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant k III)

### Temperatura pary w upuście 5



Rys. 5.48 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury pary w upuście 5 w przypadku pracy w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III)

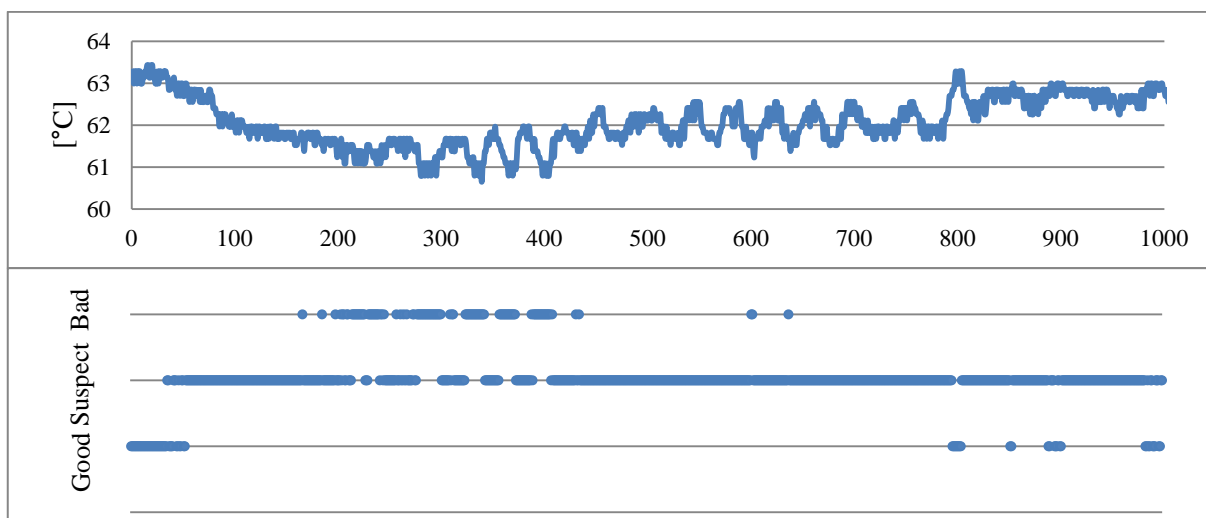
### Ciśnienie pary w upuście 5



Rys. 5.49 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla ciśnienia pary w upuście 5 w przypadku pracy w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III)

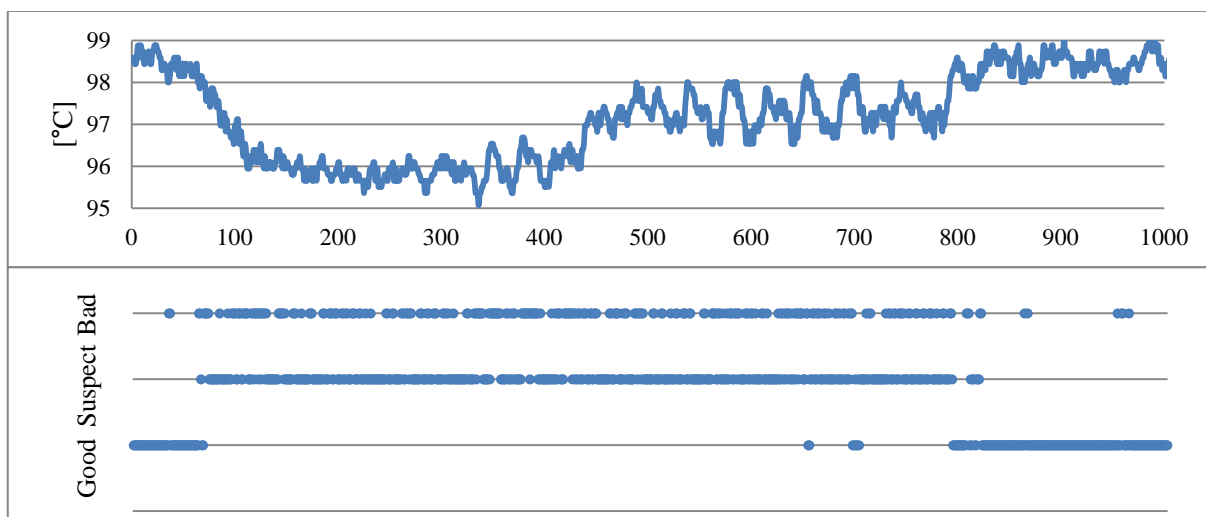


## Temperatura kondensatu na wlocie do wymiennika XN2



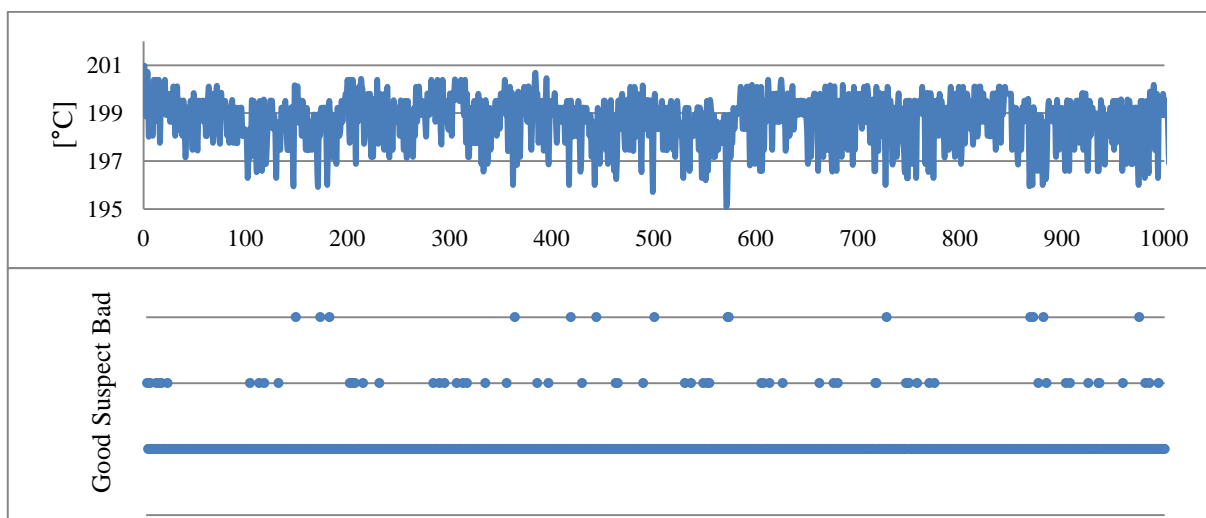
Rys. 5.50 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury kondensatu na wlocie do wymiennika XN2 w przypadku pracy w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III)

## Temperatura skroplin z wymiennika XN2



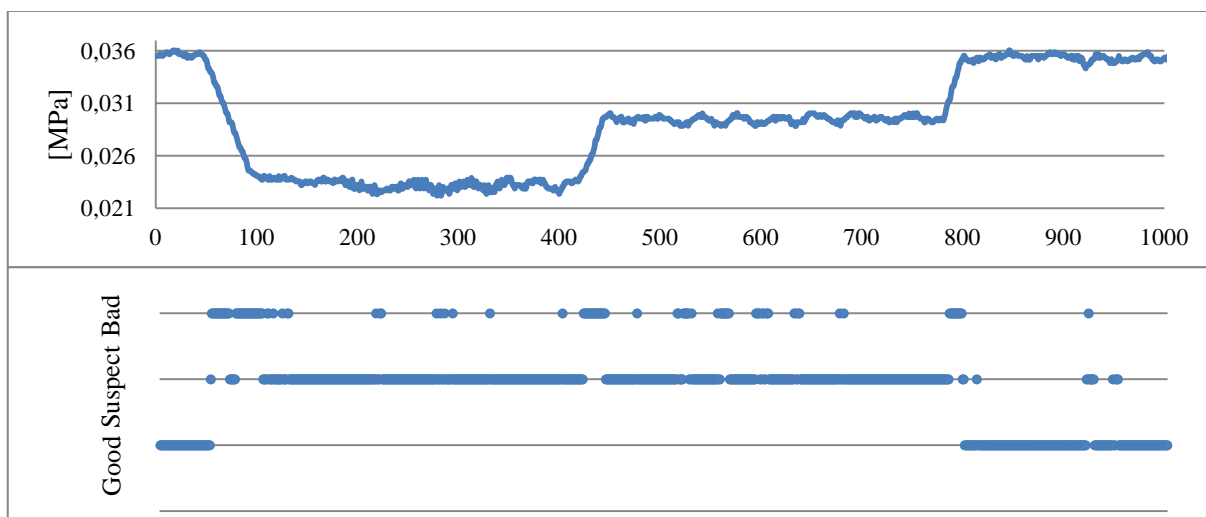
Rys. 5.51 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury skroplin z wymiennika XN2 w przypadku pracy w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant k III)

## Temperatury pary w upuście 6



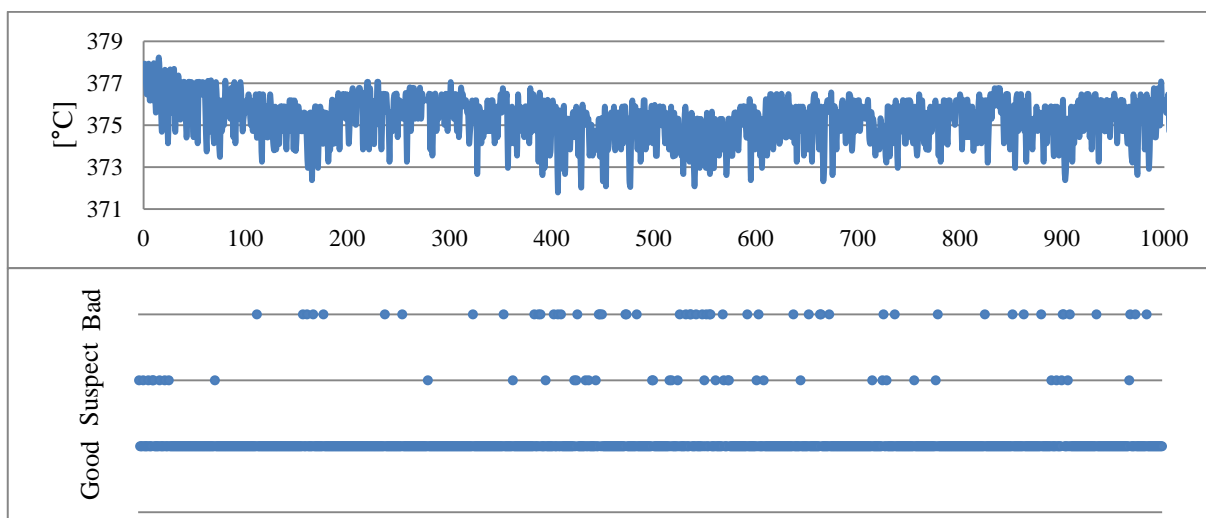
Rys. 5.52 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury pary w upuście 6 w przypadku pracy w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III)

## Ciśnienie pary w upuście 6



Rys. 5.53 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla ciśnienia pary w upuście 6 w przypadku pracy w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III)

## Temperatura pary w upuście 4



Rys. 5.54 Wykres przedstawiający wartość oraz ocenę dla temperatury pary w upuście 4 w przypadku pracy w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III)

Ocena pomiaru w przypadku, kiedy system pracuje ze zmiennym obciążeniem różnym od obciążenia nominalnego ma na celu udowodnić, że przedstawiona metoda jest czuła na zmiany zachodzące w systemie. Na podstawie uzyskanych wyników można również przyjąć, że skoro przedstawiona metoda oceny pomiaru wykrywa nieprawidłowości w wartościach próbek pozyskanych w innych stanach niż stan referencyjny pomimo dużej powtarzalności tych próbek to wykryje ona również niepoprawne pomiary wynikające z uszkodzenia czy też złej kalibracji przyrządów pomiarowych nawet w przypadku kiedy pomiary te będą powtarzane z dużą częstotliwością w całym zestawie próbek. Należy zauważyć, że przedstawiona metoda nie jest metodą dynamiczną. Dlatego też przy pomocy danych referencyjnych określonych dla jednego obciążenia można dokonać oceny pomiaru przy zadanych warunkach pracy bloku. Możliwym jest sprawdzenie poprawności pomiarów przy obciążeniach różnych od nominalnych, wymaga to jednak dostrojenia modelu symulacyjnego w programie DIAGAR do zadanych warunków pracy bloku, po to aby uzyskać nowy zestaw danych referencyjnych. Zaprezentowana metoda sprawdza się w przypadku oceny parametrów systemu pracującego w stanie ustalonym. Ze względu na brak wzorca zmian wartości parametrów mierzonych w stanach nieustalonych, oraz dużą dynamikę zmian powodującą trudną do przewidzenia fluktuację parametrów nie ma możliwości dokonania oceny wiarygodności pomiarów w stanach przejściowych.

## 5.1.4 Wnioski

Na podstawie zaprezentowanych wariantów wykonanych badań zauważono, że zaproponowana metoda oceny wiarygodności pomiaru jest w stanie wykryć nieprawidłowe pomiary wynikające z potencjalnego uszkodzenia czy też rozkalibrowania przyrządów mierniczych. Należy zauważyć, że metoda odnosi się do danych referencyjnych i jej działanie będzie najskuteczniejsze w przypadku oceny próbek zebranych w trakcie pracy bloku z obciążeniem nominalnym. Przedstawiona metoda wykrywa również nieprawidłowe wartości pomiarów wynikające ze zmiany stanów obciążenia bloku oraz chwilowych zakłóceń w systemie. Uzyskana ocena wiarygodności pomimo że zależy od liczebności przedstawionych próbek, nie jest czuła na przeważającą liczebność próbek niepoprawnych. Oznacza to, że nawet w przypadku, kiedy w zbiorze próbek poddawanych ocenie przeważać będą próbki niepoprawne, nie zafałszuje to wyników przeprowadzonej oceny. Zaprezentowana metoda jest w stanie dokonać oceny parametrów o różnym charakterze (np. temperatura, ciśnienie, moc). Ze względu na brak możliwości określenia parametrów referencyjnych dla stanów nieustalonych pracy bloku przedstawiona metoda nie zapewni wiarygodnej oceny mierzonych parametrów w stanach przejściowych. Nie można również wykazać pewności, że uzyskana ocena jest wystarczająco wiarygodna w przypadku stanów, w których badany system nie osiąga stabilizacji cieplnej.

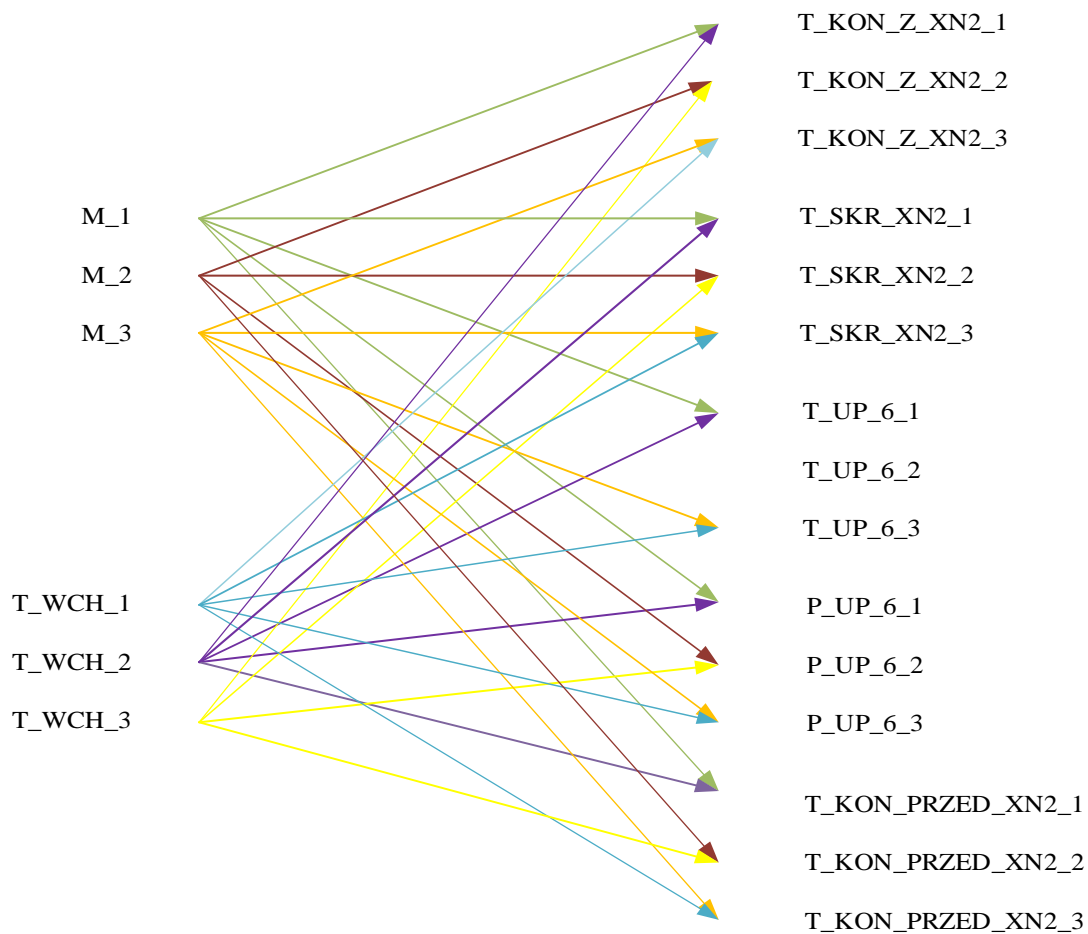
Diagnostykę cieplno-przepływową zwykle wykonuje się dla sąsiedztwa pełnego obciążenia skomplikowanego, złożonego bloku energetycznego [14]. Zbudowana metoda oceny jakości pomiarów zdecydowanie umożliwia wybór do tego celu najdokładniejszych pomiarów z pełnego zakresu obciążeń. Natomiast można wyrazić oczekiwanie, że przy wystarczającej liczbie danych pomiarowych da się tworzyć w najbliższej przyszłości analogiczne zależności oceniające wiarygodność pomiarów dla istotnych zakresów częściowych obciążeń mocą. Pozwoli to na wykonanie diagnostyki cieplno-przepływowej z dobrą dokładnością w szerszym zakresie obciążeń. To z kolei stwarza szansę budowy elastycznych systemów diagnostycznych dla pełnego pola obciążeń złożonych systemów przemysłowych.

## 5.2. Określenie zależności pomiędzy parametrami badanego obiektu

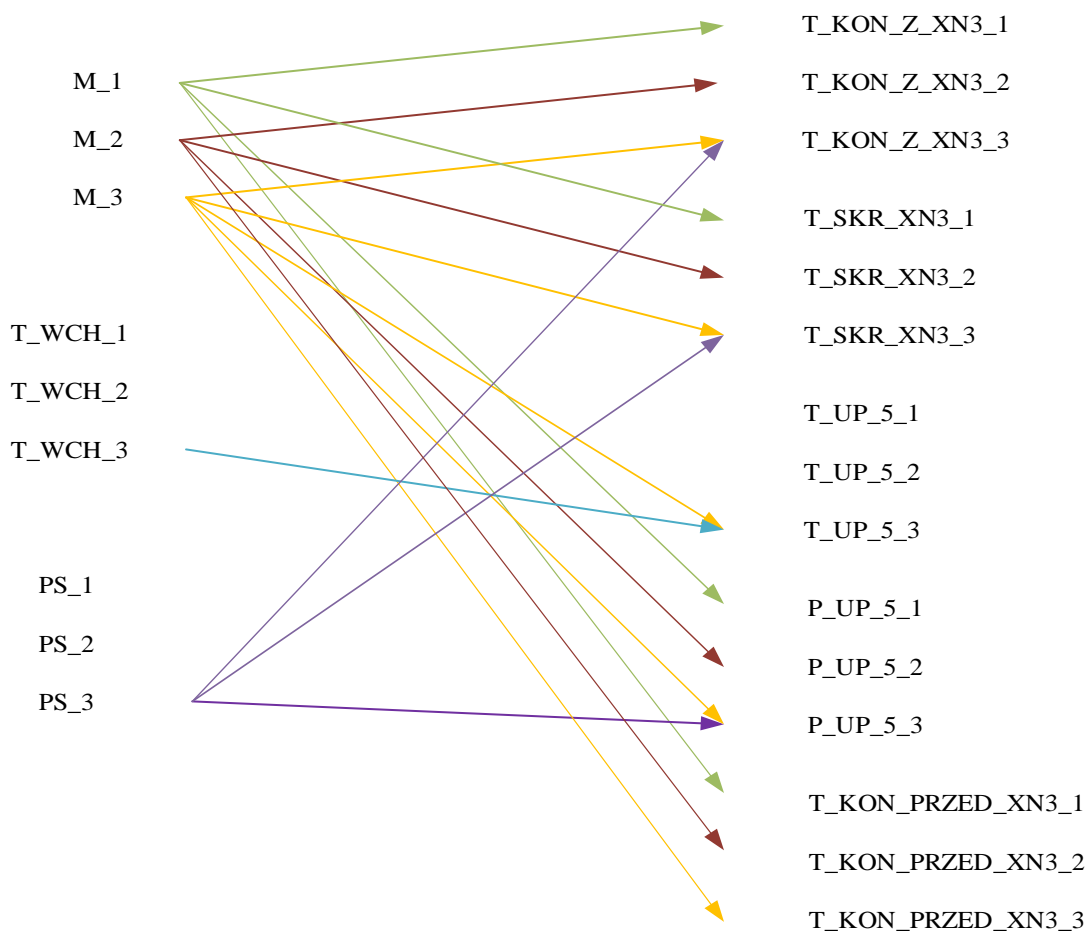
W badanym systemie energetycznym praca poszczególnych urządzeń jest od siebie wzajemnie zależna i mocno skorelowana z warunkami eksploatacji, które są zadawane przez niezależne parametry bloku. Określenie wiarygodności pomiaru powinno również uwzględniać wzajemne relacje. Ważny jest wpływ zmian warunków eksploatacji bloku na pracę wymienników regeneracyjnych. Należy określić, czy na ocenę wartości mierzonej parametru wpływa sam proces pomiaru, czy też zmiany zachodzące w systemie wynikające ze zmian warunków pracy bloku.

W przeprowadzonych badaniach wykorzystano algorytm A priori opisany w Załącznik 2. Jego zadaniem jest określenie zależności pomiędzy zmiennymi niezależnymi określającymi warunki eksploatacji bloku, a zmiennymi zależnymi. Jako przykład takiego działania przytoczono w tej pracy zależności asocjacyjne dla parametrów mierzonych wokół rozważanych wymienników regeneracyjnych niskociśnieniowych: XN4, XN3, XN2. Zmienne zależne oraz zmienne niezależne uwzględnione w studiach jakości pomiarów w tej rozprawie zostały szerzej wymienione i scharakteryzowane w Rozdziale 4.3. a zaproponowane parametry algorytmu w Rozdziale 4.5.

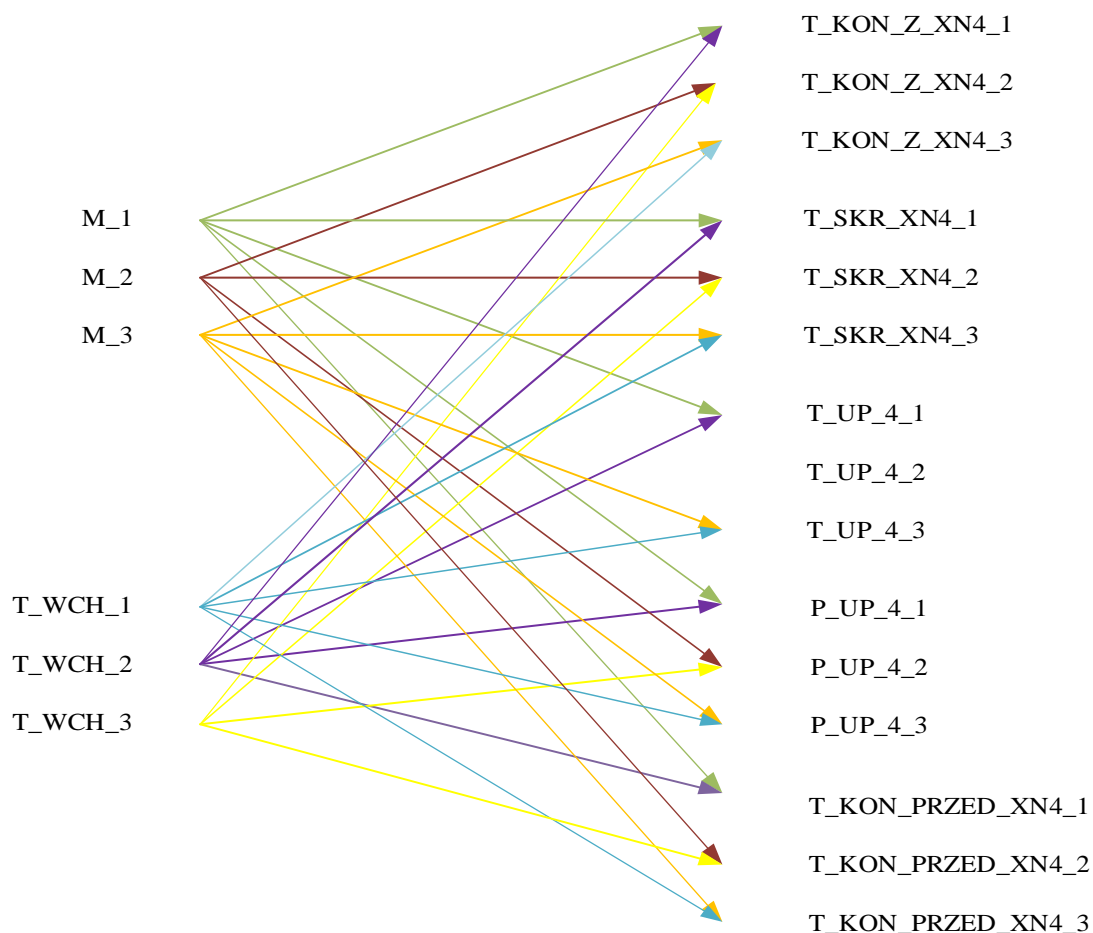
W pierwszym badaniu uwzględniono zmienność parametrów zależnych oraz niezależnych ze względu na zmianę obciążenia bloku. Stosując algorytm A priori uzyskano reguły asocjacyjne określające relacje pomiędzy parametrami niezależnymi bloku, a parametrami zależnymi odnoszącymi się do pracy wymienników regeneracyjnych XN2, XN3, XN4 (rys. 5.55-5.57). Istnienie strzałki relacji na wspomnianych rysunkach oznacza istotną zależność między łączonymi nią parametrami. W ten sposób ilustruje się graficznie badane więzi.



Rys. 5.55 Schemat przedstawiający reguły asocjacyjne dla wymiennika regeneracyjnego XN2 (M- moc, T\_WCH- temperatura wody chłodzącej, TEMP\_KON\_Z\_XN2- temperatura kondensatu na wylocie z XN2, T\_SKR\_XN2- temperatura skroplin z XN2, T\_UP\_6- temperatura upustu 6, P\_UP\_6- ciśnienie upustu 6, TEMP\_KON\_PRZED\_XN2- temperatura kondensatu na wlocie do XN2)



Rys. 5.56 Schemat przedstawiający reguły asocjacyjne dla wymiennika regeneracyjnego XN3 (M- moc, T\_WCH- temperatura wody chłodzącej, PS- ciśnienie pary świeżej, TEMP\_KON\_Z\_XN3- temperatura kondensatu na wylocie z XN3, T\_SKR\_XN3- temperatura skroplin z XN3, T\_UP\_5- temperatura upustu 5, P\_UP\_5- ciśnienie upustu 5, TEMP\_KON\_PRZED\_XN3- temperatura kondensatu na wlocie do XN3)



Rys. 5.57 Schemat przedstawiający reguły asocjacyjne dla wymiennika regeneracyjnego XN4 (M- moc, T<sub>WCH</sub>- temperatura wody chłodzącej, TEMP<sub>KON\_Z\_XN4</sub>- temperatura kondensatu na wylocie z XN4, T<sub>SKR\_XN4</sub>- temperatura skroplin z XN4, T<sub>UP\_4</sub>- temperatura upustu 4, P<sub>UP\_4</sub>- ciśnienie upustu 4, TEMP<sub>KON\_PRZED\_XN4</sub>- temperatura kondensatu na wlocie do XN4)

Na podstawie uzyskanych reguł asocjacyjnych stwierdzono, że parametry zależne opisujące pracę badanych wymienników regeneracyjnych XN2, XN3, XN4 zależą od obciążenia bloku. Wraz ze zmianą mocy obserwuje się zmianę wartości parametrów. Podobne wnioski wysnuto na podstawie badań opisanych w pracy [46].

Przedstawiony algorytm nie wykazał zależności pomiędzy temperaturą oraz ciśnieniem pary świeżej, a parametrami zależnymi. W tym przypadku nie można stwierdzić, że parametry te nie wpływają na zmiany w systemie. Można natomiast stwierdzić, że w badanym systemie z powodu regulacji automatycznej parametrów pary świeżej (temperatura, ciśnienie) ich wartości utrzymywane są na stałym poziomie ze względu na bezpieczeństwo pracy urządzeń obiegu, a wartości są ściśle ustalone przez producentów. Brak zmienności tych parametrów powoduje, że ocena ich wpływu na parametry opisujące prace wymienników jest niemożliwa. Brak wpływu parametrów pary świeżej na prace wymienników regeneracyjnych w tym przypadku należy traktować jako indywidualną cechę badanego systemu, a nie jako prawidłowość.

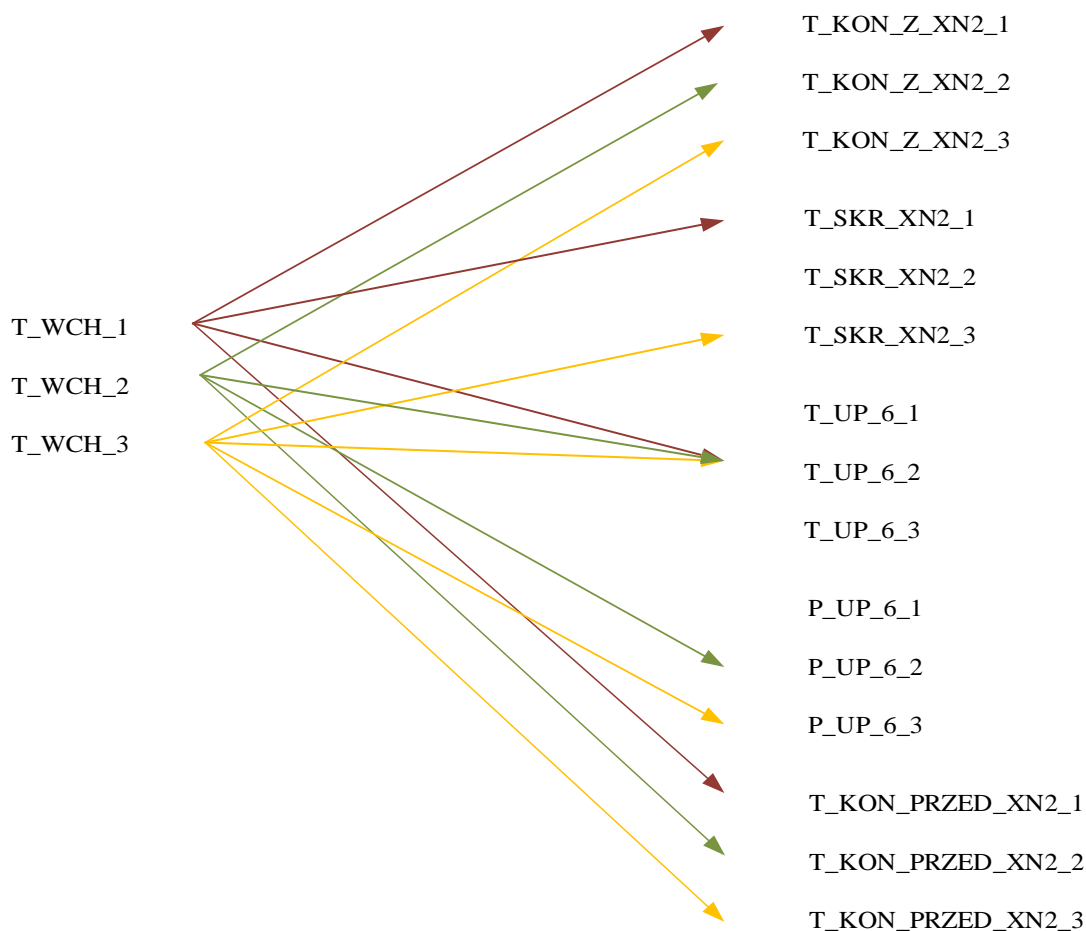
W przypadku temperatury pary przegranej algorytm również nie wykazał wpływu zmian tego parametru na inne wartości poddawane ocenie. W tym przypadku



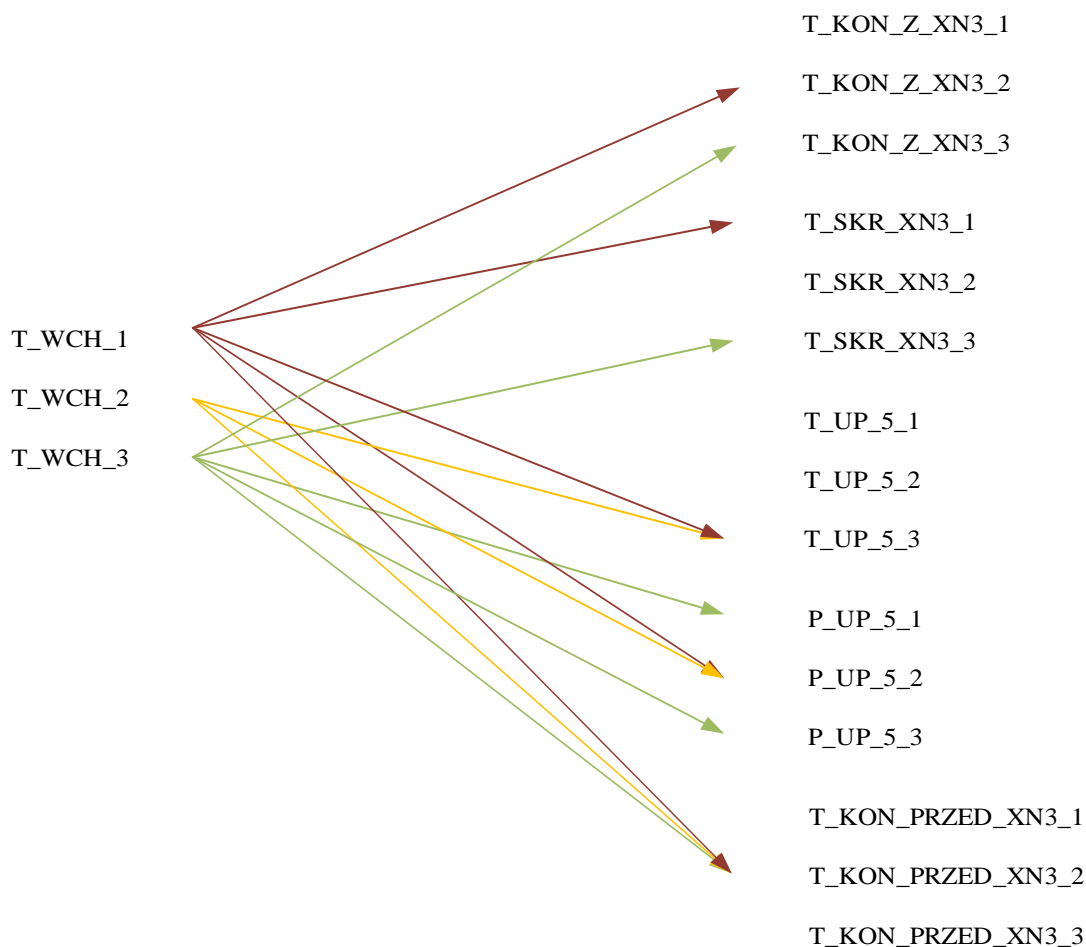
podobnie jak dla temperatury oraz ciśnienia pary świeżej relacja nie jest możliwa do ustalenia ze względu na znikomą zmienność wspomnianego parametru.

Poza wpływem zmiany obciążenia na przedstawione parametry zależne na podstawie reguł asocjacyjnych zaobserwowano również relację pomiędzy temperaturą wody chłodzącej skraplacz, a parametrami opisującymi prace wymienników XN2, XN3, XN4. Aby potwierdzić zaobserwowaną zależność zbadano wpływ zmiany temperatury wody chłodzącej niezależnie od obciążenia bloku. Nie można z góry ocenić czy zależność między temperaturą wody chłodzącej, a parametrami opisującymi wymienniki regeneracyjne jest prawdziwa w przypadku, kiedy na wspomnianą relację znaczący wpływ ma zmiana obciążenia bloku.

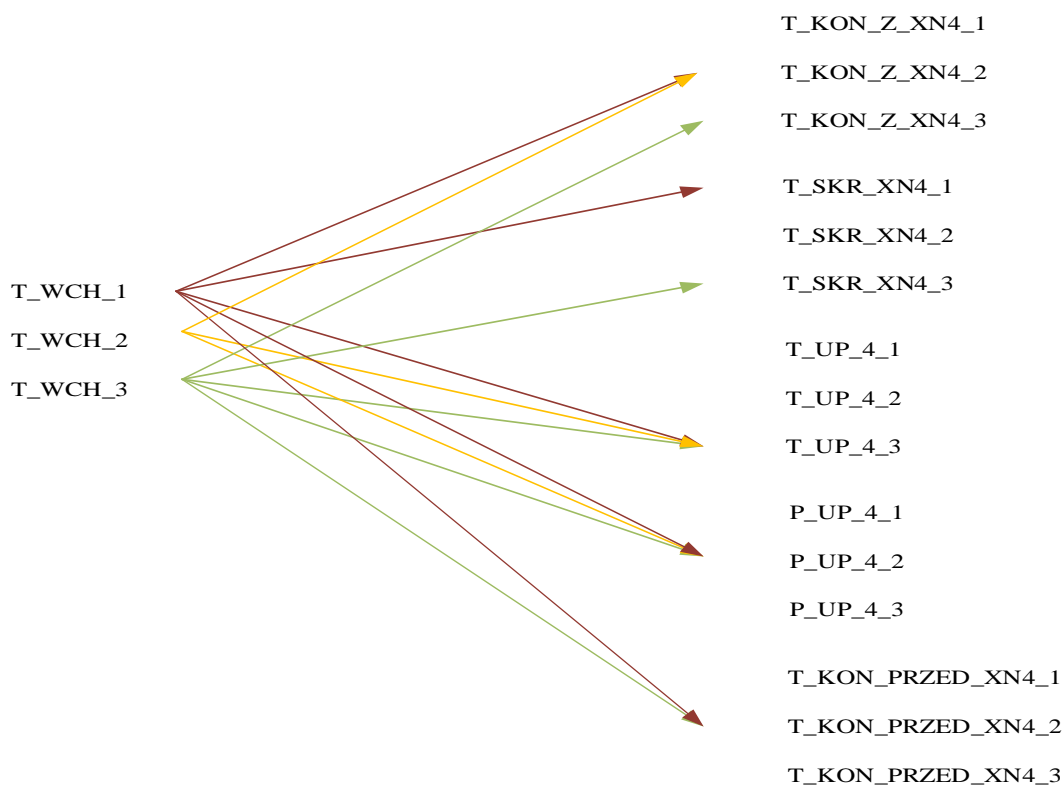
Dlatego też przeprowadzono badanie dla zbioru wartości parametrów, w którym przy stałym obciążeniu bloku (190MW) zaobserwowano zmienność temperatury wody chłodzącej (rys. 5.58-5.60). Podobnie jak w poprzednim przypadku realcji do zmiennych niezależnych, również przy badaniu wpływu temperatury wody chłodzącej, istnienie strzałki relacji na wspomnianych rysunkach oznacza istotną zależność między łączonymi nią parametrami.



Rys. 5.58 Schemat przedstawiający reguły asocjacyjne dla wymiennika regeneracyjnego XN2 określające relacje między temperaturą wody chłodzącej, a parametrami opisującymi pracę wymiennika regeneracyjnego (T\_WCH- temperatura wody chłodzącej, TEMP\_KON\_Z\_XN2- temperatura kondensatu na wylocie z XN2, T\_SKR\_XN2- temperatura skroplin z XN2, T\_UP\_6- temperatura upustu 6, P\_UP\_6- ciśnienie upustu 6, TEMP\_KON\_PRZED\_XN2- temperatura kondensatu na wlocie do XN2)



Rys. 5.59 Schemat przedstawiający reguły asocjacyjne dla wymiennika regeneracyjnego XN3 określające relacje między temperaturą wody chłodzącej, a parametrami opisującymi pracę wymiennika regeneracyjnego (T\_WCH- temperatura wody chłodzącej, TEMP\_KON\_Z\_XN3- temperatura kondensatu na wylocie z XN3, T\_SKR\_XN3- temperatura skroplin z XN3, T\_UP\_5- temperatura upustu 5, P\_UP\_5- ciśnienie upustu 5, TEMP\_KON\_PRZED\_XN3- temperatura kondensatu na wlocie do XN3)



Rys. 5.60 Schemat przedstawiający reguły asocjacyjne dla wymiennika regeneracyjnego XN4 określające relacje między temperaturą wody chłodzącej, a parametrami opisującymi pracę wymiennika regeneracyjnego (T\_WCH- temperatura wody chłodzącej, TEMP\_KON\_Z\_XN4- temperatura kondensatu na wylocie z XN4, T\_SKR\_XN4- temperatura skroplin z XN4, T\_UP\_4- temperatura upustu 4, P\_UP\_4- ciśnienie upustu 4, TEMP\_KON\_PRZED\_XN4- temperatura kondensatu na wlocie do XN4)

W przypadku wpływu temperatury wody chłodzącej kondensator na parametry opisujące prace wymienników regeneracyjnych badanie nie wykazało tak silnych zależności jak w przypadku obciążenia bloku. Należy jednak wziąć pod uwagę, iż dostępne zbiory pomiarowe obejmowały jednomiesięczny okres pracy bloku energetycznego. Mimo to można jednak zauważyć, że zmiana temperatury wody chłodzącej wpływa na zmianę wartości temperatury skroplin oraz kondensatu na wlocie i wylocie z wymienników. Dużo trudniej zaobserwować oddziaływanie tych zmian na parametry upustów zasilających wymienniki.

Należy również pamiętać o specyfice wspomnianego parametru. Temperatura wody chłodzącej jest silnie powiązana z warunkami otoczenia panującymi poza elektrownią, a więc z temperaturą powietrza. Dane wykorzystane w przeprowadzonym badaniu zostały zebrane w okresie jednego miesiąca. Przez co temperatura wody chłodzącej skraplacz nie ulegała znacznym zmianom. Możliwe, że wskazane relacje między parametrami byłyby silniejsze w przypadku, danych zebranych w różnych okresach roku, co wpłynęłoby na większą zmienność parametru. Niemniej jednak wykonane badanie potwierdziło, że w przypadku oceny parametrów zależnych opisujących prace wymienników regeneracyjnych należy mieć na uwadze zmiany jakie w systemie powoduje wahanie temperatury wody chłodzącej kondensator.

## 6. WNIOSKI KOŃCOWE

W pracy przedstawiono metodę oceny niepewności pomiarowych dla parametrów złożonego obiektu przemysłowego. Zasady tworzenia metody zbadano na przykładzie bloku elektrowni kondensacyjnej. Przedstawione rozwiązanie ma na celu określenie stopnia wiarygodności informacji, która jest pozyskiwana w trakcie eksploatacji obiektu i przekazywana do systemu diagnostyki. W badaniach nie podjęto wprost problemu diagnostyki ciepło-przepływowej systemu. Skoncentrowano je wokół zagadnień rzetelnej oceny wiarygodności pomiarów, które są podstawą diagnostyki, w tym przypadku diagnostyki ciepło-przepływowej systemów energetycznych.

Motywacją do podjęcia badań była podkreślana w literaturze waga rzetelnych informacji oraz ich wpływu na jakość diagnostyki ciepło-przepływowej. W pracy zwrócono uwagę na specyficzny rodzaj informacji wykorzystywanej w praktyce przemysłowej. Zauważono, że obserwacje pracy systemu zazwyczaj opierają się na niepewnych lub niepełnych informacjach (zestawach danych). Zwrócono uwagę, że w przypadku informacji nieprecyzyjnych konwencjonalne podejście do oceny poprawności pomiaru oparte tylko o metody statystyczne może okazać się nieużyteczne lub też niewystarczające. Dlatego też podjęto próbę zastosowania w tym celu wnioskowania opartego na logice rozmytej. Zauważono, że takie podejście może wyeliminować niedoskonałości metod klasycznych, które oceniają pomiar w „ostry” sposób według sztywno określonych reguł. Dzięki wprowadzeniu oceny pośredniej i określeniu pozyskanej wartości pomiaru jako podejrzanej (Suspect) podejście rozmyte pozwala na rozróżnienie próbek, które odstają od wartości uznanych za poprawne, ale których nie można zakwalifikować jako niewiarygodne.

Zaprezentowana metoda odnosi się do oceny statystycznej pomiaru oraz częstotliwości występowania próbek o danej wartości w całym zbiorze pomiarów poddawanych ocenie. Istotnym aspektem przedstawionej metody jest określenie wartości referencyjnej parametrów, wokół której utworzone zostały zbiory lingwistyczne. W tym celu posłużono się modelem symulacyjnym badanego bloku elektrowni kondensacyjnej stworzonego w programie DIAGAR. Dzięki symulacji pracy bloku w stanie ustalonym możliwym było określenie parametrów wzorcowych. Ze względu na brak danych pozyskanych w trakcie pomiaru gwarancyjnego, który uznawany jest za procedurę przeprowadzoną w bardzo rygorystycznych warunkach, zapewniającą poprawność mierzonych parametrów w celu dostrojenia modelu posłużono się odpowiednio wyselekcjonowanymi danymi uzyskanymi na podstawie pomiarów eksploatacyjnych.

W prowadzonych studiach możliwe było wykorzystanie relatywnie dokładnego, podatnego na strojenie modelu systemu energetycznego w programie numerycznym DIAGAR. Wyznacza on w sposób jednoznaczny parametry mogące być uznane jako referencyjne. W przypadku zastosowania zaproponowanej tu metody do innych obiektów, należy wykorzystywać analogiczne programy modelujące zjawiska fizyczne. Jeżeli nie istnieją, w takim przypadku muszą być one budowane w ramach tworzenia metody oceny jakości pomiarów.

Na podstawie opracowanej metody możliwe jest określenie czy dany pomiar można traktować jako wiarygodną i użyteczną informację diagnostyczną. Przedstawiona metoda uwzględnia charakter badanego parametru. Pomimo występowania naturalnych fluktuacji wynikających ze specyfiki pracy systemu ocena wiarygodności pomiaru jest możliwa do przeprowadzenia, ponieważ wspomniane zakłócenia nie wpływają na uzyskane rezultaty. Jednocześnie jak wykazano w Rozdziale 1 pomimo naturalnych wahań parametrów wokół wartości oczekiwanej przedstawiona metoda jest czuła na błędne wartości pomiaru wynikające z uszkodzeń lub braku kalibracji urządzeń pomiarowych.

Zaletą metody detekcji poprawności pomiaru opartej o algorytmy rozmyte jest również uniwersalność. W pracy wykazano, że zaprezentowana metoda oceny wiarygodności pomiaru może zostać zastosowana dla parametrów o różnym charakterze (ciśnienie, temperatura, moc itp.). Zastosowanie metody dla różnego typu parametrów wymaga odpowiedniego dostrojenia systemu wnioskującego ze względu na zmienny charakter każdego z parametrów poddawanych ocenie. Przedstawiona metoda bazująca na różnicach pomiędzy parametrami i częstotliwością występowania tych różnic może zostać wykorzystana do oceny poprawności każdej zmiennej stanu mierzonej w danym systemie.

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że zaprezentowana metoda pozwala na ocenę pomiarów zebranych w trakcie pracy układu w stanie ustalonym. Metoda bazuje na danych referencyjnych, określonych dla układu eksploatowanego przy stałym obciążeniu oraz dla ustabilizowanych cieplnie parametrów (Rozdział 4.3), jako wielkości uważanych za wartość pomiaru poprawnego. Warto zauważyć, że oceny pomiarów można dokonać nie tylko w przypadku kiedy system pracuje z obciążeniem nominalnym. Ocenie można poddać parametry pozyskane w trakcie pracy ustalonej bloku z obciążeniami różnymi od nominalnych. Należy jednak wziąć pod uwagę, że w przypadku obciążeń częściowych jakość pomiaru ulega pogorszeniu. W tym przypadku również model symulacyjny wykazuje znacznie mniejszą dokładność, co może przyczynić się do spadku efektywności i wiarygodności przeprowadzonej oceny pomiaru. Zgodnie z wiedzą na temat jakości pomiaru przedstawioną w przytoczonej literaturze warunkami optymalnymi do pozyskania oraz oceny parametrów w celach diagnostycznych są warunki dla obciążeń nominalnych bloku.

Metoda oceny niepewności pomiaru dzięki zastosowaniu modelu symulacyjnego pozwalającego na wyznaczenie wartości referencyjnych poszczególnych parametrów w różnych stanach pracy systemu jest odporna na ewentualne wystąpienia nagłego uszkodzenia lub rozkalibrowania się przyrządów pomiarowych w trakcie zmiany stanu obciążenia, lub w trakcie pracy w stanie nieustalonym. Model symulacyjny stworzony w programie DIAGAR, który w chwili osiągnięcia przez układ nowych warunków pracy, związanych ze zmianą obciążenia bloku, pozwolił na zgrubne określenie, czy pomiar nie uległ uszkodzeniu w niedalekiej przeszłości.

W trakcie badań udowodniono, że opracowana metoda jest w stanie wykryć zarówno natychmiastowe awarie czujników pomiarowych, jak i długoterminowe pogarszanie się jakości pomiaru. Uzyskana informacja z punktu widzenia diagnostyki, ale także prognozowania i bieżącej eksploatacji bloku wydaje się być cenną wskazówką dla operatorów systemu.



Aby w pełni określić wiarygodność pomiaru w tak skomplikowanym systemie jak elektrownia parowa oprócz oceny mierzonego parametru ze względu na jego odchylenie od wartości oczekiwanej oraz częstotliwość występowania danej próbki badanym zbiorze należy ocenić również wpływ parametrów niezależnych systemu na parametry zależne wykorzystywane w diagnostyce wymienników regeneracyjnych. Takie podejście pozwoliło na dodatkową ocenę wpływu zmian pracy bloku na parametry poddawane ocenie, co ułatwia interpretację pozyskanych wyników oceny wiarygodności wartości zmierzonych parametrów.

Przedstawione badania wykorzystujące algorytm A priori wykazały silną relację pomiędzy zmianą obciążenia bloku kondensacyjnego a zmianą parametrów opisujących pracę wymienników regeneracyjnych (temperatura kondensatu na wlocie i na wylocie z wymiennika, temperatura skroplin z wymiennika, temperatura oraz ciśnienie upustu turbiny zasilającego wymiennik). Zaprezentowany algorytm nie wykazał relacji pomiędzy wspomnianymi parametrami zależnymi a temperaturą oraz ciśnieniem pary świeżej. Rezultat przeprowadzonego badania w dużej mierze zależy od wykorzystanych w nim danych i charakterystycznych cech ich pracy w badanym systemie. Brak widocznej relacji wynika z charakteru pracy badanego systemu, w którym działanie regulacji automatycznej wymusza stałe wartości ciśnienia oraz temperatury pary świeżej. W przypadku temperatury pary przegrzanej podobnie jak dla ciśnienia i temperatury pary świeżej nie udowodniono wpływu na parametry pracy wymienników regeneracyjnych.

Na podstawie przeprowadzonego badania zauważono również relację pomiędzy temperaturą wody chłodzącej skraplacz a parametrami opisującymi pracę wymienników regeneracyjnych. W tym przypadku zależność nie jest tak oczywista jak w przypadku wpływu obciążenia bloku na pracę systemu. Zauważono, że temperatura wody chłodzącej ma znaczenie szczególnie ze względu na temperaturę skroplin oraz kondensatu na wlocie i wylocie z wymienników. Ze względu na krótki okres, w którym dokonano akwizycji danych pomiarowych, można wysnuć wniosek, że dane o bardziej zróżnicowanym charakterze mogłyby poprawić efektywność działania algorytmu w tym aspekcie.

Na podstawie przedstawionych wniosków warto zauważyć, że zaprezentowana **praca posiada oryginalne rezultaty:**

1. opracowanie metody oceny wiarygodności pomiarów parametrów elektrowni kondensacyjnej o mocy 200MW wykorzystującej metody sztucznej inteligencji i eksploracji danych, w tym: algorytmy wnioskowania rozmytego, algorytm A priori, algorytm k-średnich,
2. wyznaczenie zbioru danych referencyjnych na podstawie obserwacji dokonanych na pomiarach rzeczywistych,
3. ocena statystyczna zbioru danych referencyjnych,
4. określenie wartości oczekiwanych parametrów poddawanych ocenie według opracowanej metody przy wykorzystaniu modelu symulacyjnego w programie DIAGAR,
5. zdefiniowanie kryterium oceny pomiaru odnoszące się do oceny statystycznej oraz oceny częstotliwości występowania danej próbki w zbiorze,

6. opracowanie, na podstawie wspomnianego kryterium oceny, sposobu określania przestrzeni zmiennych lingwistycznych dla systemu rozmytego w zależności od charakteru badanych parametrów,
7. wyznaczenie zmiennych lingwistycznych i ich wartości w zależności od badanych parametrów,
8. przygotowanie bazowego/podstawowego zestawu rozmytych reguł w oparciu o wiedzę ekspercką na temat pracy systemu, specyfiki oraz charakteru parametrów poddawanych ocenie,
9. wykorzystanie algorytmu k-średnich do utworzenia bazy reguł bez eksperta, w celu zapewnienia uniwersalności opracowywanej metody,
10. weryfikacja zbudowanych reguł za pomocą norm ISO określających warunki oraz zakresy pomiarów uznawanych za poprawne,
11. określenie relacji między parametrami niezależnymi opisującymi pracę badanego systemu elektrowni kondensacyjnej a parametrami zależnymi odnoszącymi się do pracy wymienników regeneracyjnych (XN2, XN3, XN4) w celu uzupełnienia metody oceny wiarygodności pomiaru o informacje na temat zmian zachodzących w systemie i ich wpływu na wykonywany pomiar,
12. przygotowanie całościowego graficznego opisu metody oceny wiarygodności pomiarów (rys. 4.1, rys. 4.2).

W przypadku bloków elektrowni kondensacyjnych liczba oraz charakter pozyskiwanych danych pomiarowych wymagających analizy powodują, że ocena stanu układu jest bardzo czasochłonna. Sama ocena wiarygodności zebranych parametrów jest wysoce subiektywna i w dużej mierze zależy od doświadczenia i wiedzy operatora. Zastosowanie algorytmów wnioskowania rozmytego pozwala na połączenie wiedzy i doświadczenia operatorów systemu z możliwościami szybkiego przetwarzania informacji w systemach komputerowych. Dzięki czemu ocena wiarygodności pozyskanych parametrów jest znacznie uproszczona. Wzrasta więc rzetelność informacji wykorzystywanych w diagnostyce ciepłno-przepływowej, co zdecydowanie poprawia jakość pozyskanej diagnozy systemu. Dodatkowo warto zauważyć, że wprowadzenie lingwistycznej oceny parametrów pozwala na bardziej intuicyjne podejście do oceny poprawności pomiaru. Natomiast możliwość wykrywania stanów pośrednich tzw. podejrzanych (Suspect) jest szczególnie istotna w systemach stosowanych do uwierzytelniania pomiarów bloków energetycznych, które ze względu na wspomniane strategie eksploatacji nie zawsze pracują w stanie pełnej zdatności.

Dlatego też przedstawiona metoda oceny wiarygodności parametrów pozyskanych na drodze pomiarów może poprawić jakość informacji wykorzystywanych w diagnostyce ciepłno-przepływowej. W perspektywie dalszych badań nad rzetelnością informacji w systemach diagnostyki warto rozwinąć przedstawioną metodę o możliwość oceny parametrów innych urządzeń poza wymiennikami regeneracyjnymi. Aby metoda mogła oceniać pozyskane pomiary jeszcze efektywniej, można rozwijać ją o kolejne kryteria odnoszące się do stanu, wieku czy też klasy urządzeń pomiarowych. Aby w pełni rozwinąć przedstawioną metodę w perspektywie przyszłych badań należy uwzględnić próbki zebrane dla systemu w dłuższym odstępie czasu, po to, aby w pełni ocenić zależności pomiędzy parametrami zależnymi i niezależnymi w badanym bloku.

Przedstawiona metoda jest na tyle uniwersalna, że możliwe jest zastosowanie jej w innych blokach energetycznych o podobnym charakterze pracy. Po niezbędnych



uzupełnieniach i korektach, biorąc pod uwagę występujące zjawiska fizyczne, metodę można będzie przystosować do innych obiektów przemysłowych.

# BIBLIOGRAFIA

- [1] J. Arendarski, *Niepewność pomiarów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2013
- [2] T. R. Fodemski, *Pomiary cieplne*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2001
- [3] H. Meister, *Thermal Diagnostic of Power Plants to Improve Performance, Report ABB Power Generation/KWDX Baden456-753875*. Baden 1995
- [4] B. Żółtkowski, *Podstawy Diagnostyki Maszyn*. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno Rolniczej, Bydgoszcz 1996
- [5] B. Żółtkowski, Z. Ćwik, *Leksykon Diagnostyki Technicznej*. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno Rolniczej, Bydgoszcz 1996
- [6] S. Andrzejewski, *Gospodarka cieplna cz. I i II*. Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1979
- [7] Z. Domachowski, *Równania transmitancji turbozespołu ze względu na parametry pary przed turbiną, w przegrzewaczu wtórnym i skraplaczu*. Prace Instytut Maszyn Przepływowych PAN 1968
- [8] Z. Domachowski, *Automatyka i robotyka. Podstawy*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2003
- [9] W. R. Gundlach, *Maszyny przepływowe, cz. I i II*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1970

- [10] R. S. Janiczek, *Eksploatacja elektrowni parowych*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1992
- [11] D. Laudyn, M. Pawlik, F. Strzelczyk, *Elektrownie*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000
- [12] J. Marecki, *Podstawy przemian energetycznych*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000
- [13] J. Szargut, A. Ziębik, *Podstawy energetyki cieplnej*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000
- [14] J. Krzyżanowski, J. Głuch, *Diagnostyka cieplno-przepływowa obiektów energetycznych*. Wydawnictwo Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk 2004
- [15] A. Gardzielewicz, J. Głuch, M. Bogulicz, W. Uziębło, *Kontrola poprawności cieplno-przepływowych danych pomiarowych pozyskiwanych w systemach DCS elektrowni parowych*. VI Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna Diagnostyka Procesów Przemysłowych, DPP'03, Władysławo 2003
- [16] K. E. Holbert, A. Sharif Heger, N. K. Alang-Rashid, *Redundant sensor validation by using fuzzy logic*. Nucl. Sci. Eng., vol. 118, nr. 1, s. 54–64, 1994
- [17] A. Sharif Heger, K. E. Holbert, A. M. Ishaque, *Fuzzy Associative Memories For Instrument Fault Detection*. Ann. Nucl. Energy, vol. 23, nr. 9, s. 739–756, 1996
- [18] K. E. Holbert and K. Lin, *Nuclear power plant instrumentation fault detection using fuzzy logic*. Sci. Technol. Nucl. Install., vol. 2012, 2012
- [19] J. Głuch, *Wpływ jakości pomiarów eksploatacyjnych bloków energetycznych na wyznaczenie symptomów niesprawnej pracy*. Problemy Eksploatacji, nr. 2, s. 73–86, 2011

- 
- [20] J. Krzyżanowski, J. Głuch, *Szacowanie dokładności diagnostyki ustabilizowanych i nieustabilizowanych ciepłnie obiegów z turbinami parowymi*. V Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna Diagnostyka Procesów Przemysłowych, DPP'01, Łagów Lubuski, 2001
- [21] H. Rusinowski, M Szega, H. Majchrzak, T. Witos, P. Szyszka, *System kontroli pracy bloku energetycznego z zastosowaniem rachunku wyrównawczego do uwiarygodnienia wyników pomiaru*. Elektroenergetyka, nr. 3, s. 109–116, 2002
- [22] M. Szega, *An improvement of measurements reliability in thermal processes by application of the advanced data reconciliation method with the use of fuzzy uncertainties of measurements*. Energy, vol. 141, s. 2490–2498, 2017
- [23] G. Kim, H. Kim, E. Zio, G. Heo, *Application of particle filtering for prognostics with measurement uncertainty in nuclear power plants*. Nucl. Eng. Technol., vol. 50, nr. 8, s. 1314–1323, 2018
- [24] J. R. Taylor, *Wstęp do Analizy Błędu Pomiarowego*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1995
- [25] A. Ferrero, S. Salicone, *The random-fuzzy variables: A new approach to the expression of uncertainty in measurement*. IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 53, nr. 5, s. 1370–1377, 2004
- [26] J. Korbicz, J. M. Kościelny, Z. Kowalczyk, W. Cholewa, *Diagnostyka Procesów..* Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002
- [27] A. Łachwa, *Rozmyty świat zbiorów liczb, relacji, faktów, reguł i decyzji*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2001
- [28] A. Piegat, *Modelowanie rozmyte*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2003

- [29] L. A. Zadeh, *Fuzzy sets*. Information and Control, vol.8, s.338-353, 1965
- [30] Z. Kowalczyk, B. Wiszniewski, *Inteligentne wydobywanie informacji w celach diagnostycznych*. Pomorskie Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Gdańsk 2007
- [31] E. Czogała, *On modeling knowledge bases for fuzzy and rough fuzzy controllers using the concept of an input image*. Proc. Int. Conf. EUFIT'94, Germany 1994
- [32] W. Pedrycz, *Fuzzy multimodels*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems 196, vol. 4, nr. 2 s.139-148
- [33] A. Ferrero, S. Salicone, *An innovative approach to the determination of uncertainty in measurements based on fuzzy variables*. IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 52, nr. 4, s. 1174–1181, 2003
- [34] *Guide to the expression of uncertainty In measurement, ISO 1995*; polskie wydanie: *Wyrażanie niepewności pomiaru-przewodnik*, GUM 1999
- [35] G. Mauris, V. Lasserre, L. Foulloy, *A fuzzy approach for the expression of uncertainty in measurement*. Meas. J. Int. Meas. Confed., vol. 29, nr. 3, s. 165–177, 2001
- [36] G. Mauris, L. Berrah, L. Foulloy, A. Haurat, *Fuzzy handling of measurement errors in instrumentation*. IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 49, nr. 1, s. 89–93, 2000
- [37] A. Ferrero, R. Gamba, S. Salicone, *A method based on random-fuzzy variables for online estimation of the measurement uncertainty of DSP-based instruments*. IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 53, nr. 5, s. 1362–1369, 2004
- [38] A. Ferrero, S. Salicone, *Modeling and processing measurement uncertainty within the theory of evidence: Mathematics of random-fuzzy variables*. IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 56, nr. 3, s. 704–716, 2007

- 
- [39] A. Ferrero, S. Salicone, *A comparative analysis of the statistical and random-fuzzy approaches in the expression of uncertainty in measurement*. Conf. Rec. - IEEE Instrum. Meas. Technol. Conf., vol. 3, nr. 4, s. 1620–1625, 2004
- [40] Q. Zhu, Z. Jiang, Z. Zhao, H. Wang, *Uncertainty estimation in measurement of micromechanical properties using random-fuzzy variables*. Rev. Sci. Instrum., vol. 77, nr. 3, 2006
- [41] S. Tumański, *Technika pomiarowa*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2013
- [42] K. Lin, K. E. Holbert, *Design of a hybrid fuzzy classifier system for power system sensor status evaluation*, IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet., vol. 2, s. 1351–1358, 2005
- [43] K. E. Holbert, S. Member, K. Lin, *Reducing State Estimation Uncertainty Through Fuzzy Logic Evaluation of Power System Measurements*. SL International Conf. Probabilistic Methods Appl. to Power Syst., no. 2, s. 205–211, 2004
- [44] K. Kosowski, *Ship Turbine Power Plants. Fundamentals of Thermodynamical Cycles*. Foundation for the Promotion of Maritime Industry, Gdańsk 2005
- [45] K. Kosowski, *Introduction to the Theory of Marine Turbines*. Foundation for the Promotion of Maritime Industry, Gdańsk 2005
- [46] J. Ślęzak-Żoła, *Metoda neuronowego modelowania wzorców sprawnej pracy bloków energetycznych diagnozowanych cieplnie "on-line"*. Rozprawa doktorska, Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa, Politechnika Gdańska, 2019
- [47] J. Malinowski, W. Jakubiec, *Metrologia wielkości geometrycznych*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996
- [48] *PTC6: Performance Test Code 6 on Steam Turbines ASME PTC6-2001*, (Revision of ASME PTC6-1976), 1996

- [49] PN: Polska Norma PR: PN-EN 60953-1, PR: PN-IEC953-1, PR: PN-EN 60953-2: PR: PN-IEC953-2., *Wymagania dotyczące cieplnych badań odbiorczych turbin parowych. Arkusz 1 i 2: Metoda A i B*, Grudzień 1998
- [50] D. T. Larose, *Odkrywanie wiedzy z danych*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 2006
- [51] S. Osowski, *Metody i narzędzia eksploatacji danych*. Wydawnictwo BTC, Legionowo 2013
- [52] J. Badur, *Rozwój pojęcia energii*. Wydawnictwo Instytutu Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk, Gdańsk 2009
- [53] T. Barszcz, *AIDA II- system diagnostyki bloku energetycznego*. *Pomiary Autom. i Kontrola*, nr. 4, s. 13–17, 1999
- [54] J. Głuch, *Interpretacja niepewności pomiarowych systemów DCS przy cieplno-przepływowym diagnozowaniu bloków energetycznych*. Pomorskie Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Gdańsk 2009
- [55] A. Gardzielewicz, J. Głuch, M. Bogulicz, R. Walkowiak, M. Najwer, J. Kiebdój, *Experience in Application of Thermal Diagnostics in the Turow Power Station*. ASME International Joint Power Conference'2003, 2003
- [56] J. Głuch, Z. Domachowski, M. Dzida, A. Gardzielewicz, K. Kosowski, J. Krzyżanowski, J. Ślęzak-Żołna, *Cieplno-przepływowe relacje diagnostyczne w ruchowych warunkach przemysłowych*. Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2007
- [57] J. Głuch, *Weryfikacja wybranych współczynników eksperymentalnych procesu projektowania przepływowego turbin oparta o standardowe pomiary bloków energetycznych*. Rozprawa Doktorska, Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańska, 1992

- 
- [58] *Międzynarodowy Słownik Podstawowych i Ogólnych Terminów Metrologii*. Główny Urząd Miar, 1996
- [59] Norma PN-ISO 10012-1:1998 *Wymagania dotyczące zapewnienia jakości wyposażenia pomiarowego- System potwierdzania metrologicznego wyposażenia pomiarowego*
- [60] Norma PN-71/N-020050 *Metrologia. Nazwy i określenia*
- [61] J. Mazerski, *Statystyczna analiza wyników doświadczalnych*. Wydawnictwo Malamut, Warszawa 2009
- [62] H. Szydłowski, *Międzynarodowe normy oceny niepewności pomiarów*. Postępy Fizyki, vol. T. 51, s. 92–97, 2000
- [63] J. Ćwik, J. Kornacki, *Statystyczne systemy uczące się*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005
- [64] S. Kot, J. Jakubowski, A. Sokołowski, *Statystyka*. Wydawnictwo Difin, Warszawa 2011
- [65] K. Trzesicki, *Elementy logiki i teorii mnogości*. Wyższa Szkoła Finansów i Zarządzania, Warszawa 2004
- [66] R. Nowicki, *Rozmyte systemy decyzyjne w zadaniach z ograniczoną wiedzą*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2009
- [67] D. Rutkowska, M. Piliński, L. Rutkowski, *Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1997
- [68] J. Mulawka, *Systemy ekspertowe*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996



- [69] L. Rutkowski, *Metody i techniki sztucznej inteligencji*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 2005
- [70] T. Morzy, *Eksploracja danych. Metody i algorytmy*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 2013
- [71] M. Rószkiewicz, *Metody ilościowe w badaniach marketingowych*. Polskie Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 2012
- [72] J. Han, M. Kamber, J. Pei, *Data mining: Data mining concepts and techniques*. Proceedings International Conference on Machine Intelligence Research and Advancement, ICMIRA 2013, s.203-207, 2014
- [73] A. Gardzilewicz, J. Głuch, M. Bogulicz, W. Uziębło, *System programów diagnostyki obiegu cieplnego DIAGAR*. Oprac. Wewn. No. 19/94 Diagnostyka Maszyn Sp. z o.o., Gdańsk 1994
- [74] A. Gardzilewicz, J. Głuch, M. Bogulicz, W. Uziębło, J. Jankowski, *Program diagnostyki cieplno- przepływowej DIAGAR jako narzędzie prognozowania remontu aparatów składowych turbinowych obiegów energetycznych*. V Krajowa Konferencja DPP'2001, Łagów 2001

# ZAŁĄCZNIK 1

## Definicje i założenia związane z pomiarem

## Z1.1 Zagadnienie niepewności pomiaru

### Z1.1.1. Pomiar

W sposób ogólny pojęcie pomiaru można określić jako ilościowe wyznaczenie pożądanej cechy zjawiska, ciała lub procesu na drodze eksperymentu [47]. Pomiarom nazywamy czynności, po których wykonaniu możemy stwierdzić, że w chwili pomiaru dokonanego w określonych warunkach, przy zastosowaniu takich to środków i wykonaniu takich to czynności, wielkość mierzona  $x$  miała wartość  $a \leq x \leq b$ .

### Z1.1.2. Dokładność pomiaru

Z pomiarem nierozzerwalnie związane jest pojęcie jego dokładności. Według Międzynarodowych Norm Oceny Niepewności Pomiarów [34] poprzez dokładność pomiaru rozumie się „*stopień zgodności wyniku pomiaru z wartością prawdziwą wielkości mierzonej*”. Dokładność pomiaru jest określeniem o charakterze jakościowym. Można jej zatem przyporządkować określenia: duża, mała, wysoka, niska itd. Natomiast nie można określić dokładności wprost jako konkretnej wartości.

### Z1.1.3. Błąd pomiaru

Mówiąc o dokładności pomiaru, należy wspomnieć o pojęciu błędu. Błąd pomiaru opisuje niezgodność między wynikiem pomiaru, a wartością prawdziwą wielkości mierzonej [34]. Trzeba pamiętać, że zgodnie z podstawowym postulatem metrologii pomiary bezbłędne nie istnieją. Wyniki pomiarów zawsze będą obciążone pewnymi błędami. Błąd pomiaru można odnieść do surowego wyniku pomiaru  $X_s$  oraz nieznannej wartości prawdziwej wielkości mierzonej  $x_p$  (Z1.1).

$$\Delta X = X_s - x_p \quad (\text{Z1.1})$$

Błąd pomiaru  $\Delta X$  jest wypadkową dwóch składowych: błędu systematycznego  $\hat{\Delta}_s x$  i błędu przypadkowego  $\Delta_p X$  (Z1.2).

$$\Delta X = \hat{\Delta}_s x - \Delta_p X \quad (\text{Z1.2})$$

Zgodnie ze słownikiem międzynarodowym [58] „*Błąd przypadkowy jest to różnica między wynikiem pomiaru, a średnią z nieskończonej liczby wyników pomiarów tej samej wielkości mierzonej, wykonanych w warunkach powtarzalności*”. Błąd przypadkowy  $\Delta_p X$  charakteryzuje się losowością oraz nieprzewidywalnością. Błąd przypadkowy  $\Delta_p X$  można zdefiniować jako różnicę między wynikiem pomiaru  $X_s$ , a średnią z nieskończonej liczby wyników pomiarów tej samej wielkości  $\bar{X}_s$ , wykonanych w warunkach powtarzalności (Z1.3).

$$\Delta_p X \approx X_s - \bar{X}_s \quad (Z1.3)$$

„Błąd systematyczny jest to „różnica między średnią z nieskończonej liczby wyników pomiarów tej samej wielkości mierzonej, wykonanych w warunkach powtarzalności, a wartością prawdziwą wielkości mierzonej”. Błąd systematyczny  $\hat{\Delta}_s x$  w przypadku serii wielu pomiarów tej samej wartości pewnej wielkości, wykonywanych w tych samych warunkach pozostaje stały lub zmienia się odpowiednio wraz ze zmianą warunków pomiaru. Matematycznie błąd systematyczny  $\hat{\Delta}_s x$  można zdefiniować jako różnicę między średnią z nieskończonej liczby wyników pomiarów tej samej wielkości mierzonej  $\bar{X}_s$  a wartością prawdziwą wielkości mierzonej  $x_p$  (Z1.4) [1].

$$\hat{\Delta}_s x \approx \bar{X}_s - x_p \quad (Z1.4)$$

#### Z1.1.4 Niepewność pomiaru

Biorąc pod uwagę nieuchronność wystąpienia pewnego błędu czy to o charakterze zdeterminowanym, czy też przypadkowym prawidłowym podejściem jest traktowanie wyniku pomiaru jako estymatę wartości wielkości mierzonej. Należy przyjąć, że każdemu z wyników pomiaru towarzyszy pewna niepewność, która jest efektem błędów o charakterze losowym. Niepewność pomiaru jest pojęciem powszechnie używanym w terminologii metrologicznej.

Według Międzynarodowego Słownika Podstawowych i Ogólnych Terminów Metrologii [58] niepewność pomiaru to: „*Parametr związany z wynikiem pomiaru, charakteryzujący rozrzut wartości, które można w uzasadniony sposób przypisać wielkości mierzonej*”.

Według normy ISO 10012-1:1998 [59] niepewnością pomiaru określa się: „*Wynik postępowania mającego na celu oszacowanie przedziału, wewnątrz którego znajduje się wartość prawdziwa wielkości mierzonej, zwykle z daną wiarygodnością*”.

Natomiast według normy PN-71/N-02050 [60]: „*Niepewność pomiaru rozrzut wyników pomiaru wyznaczony przez błędy graniczne*”.

Wynik pomiaru zależy od wielu czynników, których charakter jest przypadkowy, dlatego też należy go traktować jako zmienną losową, która jest wypadkową funkcji wielu zmiennych losowych składowych. Złożenie wszystkich istotnych zmiennych składowych w rezultacie da zmienną, której odchylenie standardowe  $\sigma$  można traktować jako wyznacznik niepewności pomiarów [1].

#### Z1.2 Zasady wyznaczania niepewności pomiarów

Jeżeli wielkość mierzona zależy od wielu wielkości wejściowych, to wynik pomiaru tej wielkości jest funkcją wielu argumentów, z których każdy obciążony jest

niepewnością standardową  $u(X_i)$ . Niepewność  $u(X_i)$  jest wypadkową niepewności wyniku surowego i niepewności wyznaczenia poprawki. Przewodnik ISO [34] wyróżnia dwie główne metody wyznaczania niepewności standardowej pomiarów. Metoda typu A jest metodą typową dla podejścia statystycznego do wyznaczania niepewności standardowych. Jednak badania statystyczne wszystkich niepewności cząstkowych może okazać się bardzo uciążliwe i kosztowne [1]. Z tego też powodu przewodnik ISO [34] przewiduje metodę typu B. Metodą typu B obejmuje wszelkie inne niż statystyczne sposoby pozyskania wiedzy na temat niepewności. Niepewność standardową wyznaczoną w ten sposób można traktować jako wiarygodną w przypadku szacowania pomiarów spoza serii  $n$  pomiarów pod warunkiem, że pomiary spoza wspomnianej serii wykonane zostały w tych samych warunkach [1].

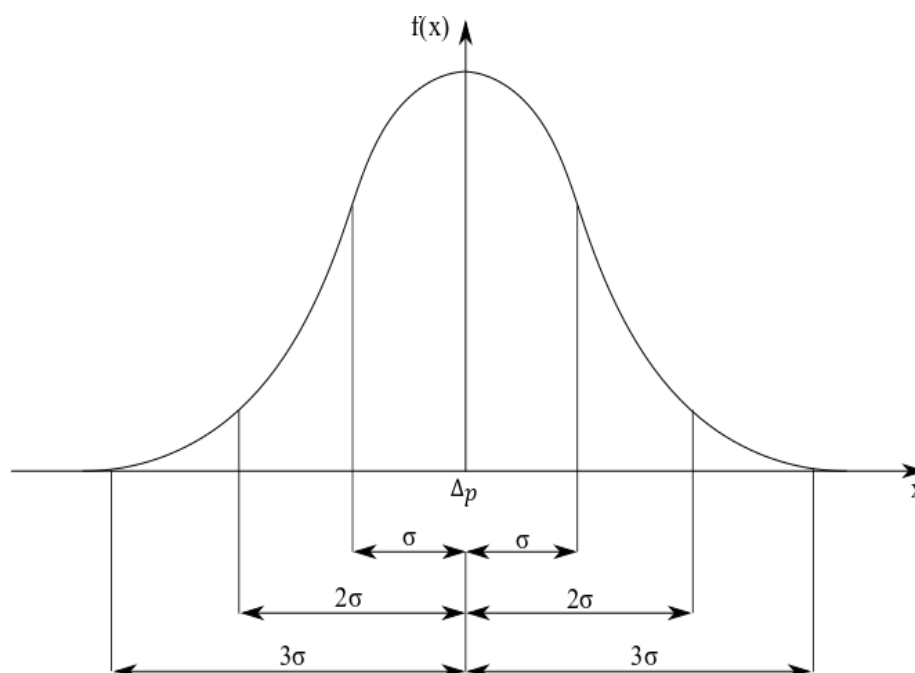
### Z1.2.1 Wyznaczanie niepewności standardowych typu A

Jest to metoda oceny niepewności oparta na analizie statystycznej serii wyników pomiarów. Powszechną praktyką jest przyjęcie rozkładu normalnego  $N(0, \sigma)$  jako rozkładu opisującego rozrzut przypadkowych błędów pomiaru  $\Delta_p$ .

W takim przypadku wzór na gęstość prawdopodobieństwa rozkładu błędów przypadkowych  $f(\Delta_p)$  przyjmuje postać (Z1.5):

$$f(\Delta_p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp\left(-\frac{\Delta_p^2}{2\sigma^2}\right) \quad (\text{Z1.5})$$

Natomiast krzywa obrazująca przebieg funkcji gęstości rozkładu prawdopodobieństwa błędów jest zaprezentowana na rysunku (rys. Z1.1).



Rys. Z1.1 Rozkład normalny

Pole pod krzywą rozkładu odpowiada prawdopodobieństwu. Na rysunku przedstawiono trzy charakterystyczne przedziały skupione symetrycznie wokół wartości oczekiwanej:  $(-\sigma \leq \Delta_p \leq \sigma)$ ,  $(-2\sigma \leq \Delta_p \leq 2\sigma)$ ,  $(-3\sigma \leq \Delta_p \leq 3\sigma)$ . Dla każdego z tych przedziałów można określić prawdopodobieństwo  $P$  przynależności błędu pomiaru do danego przedziału jako całkę z funkcji gęstości  $f(\Delta_p)$  w danym przedziale  $(-\varepsilon_1, \varepsilon_1)$  [61]:

$$P(-\varepsilon_1 \leq \Delta_p \leq \varepsilon_1) = \int_{-\varepsilon_1}^{\varepsilon_1} f(\Delta_p) dp \quad (\text{Z1.6})$$

Dla wspomnianych, charakterystycznych przedziałów prawdopodobieństwa wynoszą:

$$P(-\sigma \leq \Delta_p \leq \sigma) = 0,6826 \quad (68,26 \%),$$

$$P(-2\sigma \leq \Delta_p \leq 2\sigma) = 0,9544 \quad (95,44 \%),$$

$$P(-3\sigma \leq \Delta_p \leq 3\sigma) = 0,9973 \quad (99,73 \%),$$

Jest to tak zwana metoda trzech sigm ( $3\sigma$ ). Aby wyznaczyć wyżej opisane przedziały prawdopodobieństwa, niezbędne jest określenie odchylenia standardowego  $\sigma$ . Międzynarodowe Normy Oceny Niepewności Pomiarów [34] określają odchylenie standardowe  $\sigma$  jako „parametr charakteryzujący rozrzut wyników serii  $n$  pomiarów tej samej wielkości mierzonej”. Odchylenie standardowe  $\sigma$  rozkładu obserwacji można oszacować na podstawie serii  $n$  pomiarów tej samej wartości wielkości mierzonej. Aby wartość odchylenia standardowego można było uznać za wiarygodną oszacowanie powinno zostać dokonane na podstawie

odpowiednio dużej ilości pomiarów ( $n > 30$ ) danej wielkości. Odchylenie standardowe eksperymentalne (tzn. z próby) oblicza się ze wzoru:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (\text{Z1.7})$$

gdzie:  $x_i$  - wyniki kolejnych pomiarów w serii,

$n$  - liczba pomiarów w serii,

$\bar{x}$  - wartość średnia z serii pomiarów

W tym przypadku poprzez wartość średnią z serii pomiarów rozumie się średnią arytmetyczną (Z1.8).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (\text{Z1.8})$$

Jeżeli ilość prób w serii można uznać za dostatecznie dużą, to można również przyjąć, że niepewność standardowa  $u(X)$  pojedynczej próbki jest równa odchyleniu standardowemu  $\sigma$  wyznaczonemu na podstawie wzoru (Z1.7).

### Z1.2.2 Wyznaczanie niepewności standardowych typu B

Niepewność standardową szacuje się metodą typu B zazwyczaj w przypadku, kiedy dostępny jest tylko jeden wynik pomiaru lub kiedy wyniki pomiaru nie wykazują rozrzutu. W takim przypadku niepewność standardową ocenia się na podstawie wiedzy o danej wielkości lub o przedziale, w którym wartość rzeczywista powinna się zawierać. Można przyjąć, że w takim przypadku głównym powodem niepewności pomiarów są niepewności wzorcowania  $\Delta_d x$ , niepewności eksperymentatora  $\Delta_e x$  oraz niepewności wyników zaczerpniętych z literatury, tablic matematycznych czy też kalkulatora  $\Delta_t x$ . Zazwyczaj uwzględnia się wszystkie trzy przyczyny niepewności pomiarowych. W takim przypadku ich wartości szacowane są na podstawie rozkładu jednostajnego. Dla takiego przypadku niepewność standardowa pomiaru powinna zostać wyznaczona na podstawie wzoru (Z1.9):

$$u(x) = \sqrt{\frac{(\Delta_d x)^2}{3} + \frac{(\Delta_e x)^2}{3} + \frac{(\Delta_t x)^2}{3}} \quad (\text{Z1.9})$$

W przypadku kiedy przyjmuje się równoczesne występowanie niepewności – wyznaczonych metodą typu A oraz metodą typu B niepewność standardowa (całkowita) powinna zostać wyznaczona według wzoru (Z1.10):

$$u(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2 + \frac{(\Delta_d x)^2}{3} + \frac{(\Delta_e x)^2}{3} + \frac{(\Delta_t x)^2}{3}} \quad (\text{Z1.10})$$

Ocena niepewności typu B może być traktowana jako równie wiarygodna co ocena niepewności typu A. Niepewność typu B zyskuje na wartości szczególnie w przypadku, stosunkowo niewielkiej liczby obserwacji, kiedy to nie można dostatecznie uwiarygodnić oceny niepewności typu A [62].



# ZAŁĄCZNIK 2

## Definicje i założenia związane z eksploracją danych

## Z2.1 Standaryzacja oraz normalizacja danych

Zmienne zazwyczaj charakteryzują się dużą zmiennością wartości, przez co znacznie różnią się od siebie [50]. Różnice te mogą wynikać z jednostek czy też skali w jakiej dane wielkości są wyrażone (np. moc wyrażona w megawatach [MW], a ciśnienie wyrażone w barach [bar]). Dla pewnych algorytmów oraz inteligentnych metod tak duże zróżnicowanie parametrów utrudnia właściwą ocenę wpływu poszczególnych zmiennych na analizowany proces. Dlatego też zalecaną praktyką jest normalizacja lub standaryzacja danych w celu ujednoczenia zakresów numerycznych wartości zmiennych [51]. Należą one do najpowszechniejszych metod ujednoczania zmiennych.

Standaryzacja jest metodą powszechnie zalecaną w analizach statystycznych ze względu na uwzględnienie rozrzutu wartości zmiennej [63][64].

Przyjmując, że seria wielkości danej zmiennej  $x$  tworzy wektor  $N$  elementowy, gdzie  $x = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T$  według zasad standaryzacji każdy z elementów zostaje przeskalowany zgodnie ze wzorem (Z2.1):

$$x_i := \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (\text{Z2.1})$$

gdzie  $\bar{x}$  jest wartością średnią wektora  $x$ , a  $\sigma$  odchyleniem standardowym. Wynikiem standaryzacji jest wektor cech, których wartość średnia staje się zerowa, a odchylenie standardowe równe jedności. Dzięki takiemu zabiegowi wszystkie parametry mają porównywalny liczbowo wpływ na analizowany proces.

Należy jednak pamiętać, że opisana metoda standaryzacji danych może wprowadzić do danych duży szum. Jest to wysoce prawdopodobne dla wektora zmiennej  $x$ , którego odchylenie standardowe jest bliskie zeru [51].

Normalizacji danych dokonuje się zazwyczaj po przez przeskalowanie danej wartości zmiennej  $x_i$  z uwzględnieniem skrajnych wartości elementów wektora  $x = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T$ . Zwykle jako wartości skrajne przyjmuje się wartości maksymalne oraz minimalne. Normalizacji dokonuje się według wzoru (Z2.2):

$$x_i := \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (\text{Z2.2})$$

w którym  $x_{min}$  oraz  $x_{max}$  określają kolejno wartości minimalne i maksymalne elementów wektora zmiennej  $x$ .

Normalizacja nie uwzględnia rozkładu wartości danego parametru dlatego też w przypadku wystąpienia wartości zmiennej znacznie różnych od średniej (przeciętnej), zostaną one ściśnięte w wąskim przedziale [51].

## Z2.2 Logika i wnioskowanie rozmyte

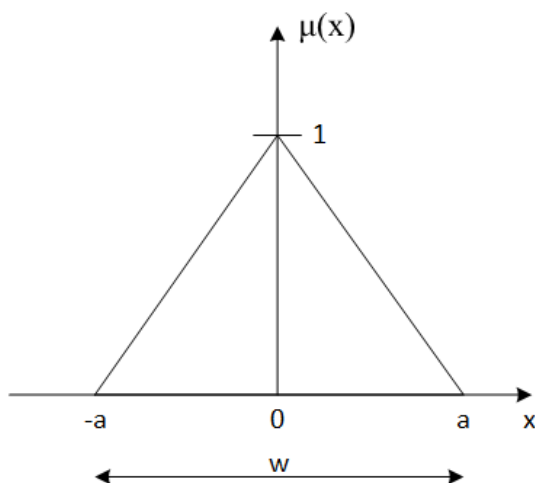
Zbiór rozmyty  $A$  definiowany jest w pewnej niepustej przestrzeni  $X : A \subseteq X$

$$A = \{(x, \mu_A(x)); x \in X\}, \quad (\text{Z2.3})$$

w którym,

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1] \quad (\text{Z2.4})$$

jest funkcją przynależności zbioru rozmytego  $A$ . Wartość tej funkcji  $\mu_A(x)$  określa stopień przynależności elementu  $x$  do zbioru rozmytego  $A$ . Stopień jest wyrażony liczbą rzeczywistą z przedziału  $[0,1]$ , przy czym wartość 1 oznacza całkowitą przynależność, a wartość 0 brak tej przynależności.



Rys. Z2.1 Ciągła graficzna forma funkcji przynależności liczby rozmytej „około zera” [28]

Aby funkcję przynależności przedstawić w postaci wzoru, należy wprowadzić zmienną logiczną  $\omega$  informującą o poziomie zmiennej  $x$ :

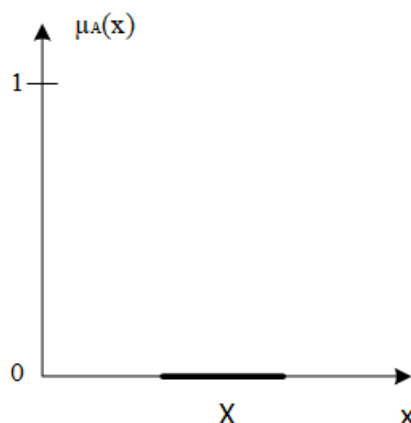
$$\omega = \begin{cases} 1 & \text{dla } -a \leq x \leq a, \\ 0 & \text{poza tym.} \end{cases} \quad (\text{Z2.5})$$

Posiłkując się zmienną  $\omega$ , ciągłą funkcję przynależności (rys. Z2.1) można przedstawić w postaci:

$$\mu(x) = \omega \left( \frac{a - |x|}{a} \right). \quad (\text{Z2.6})$$

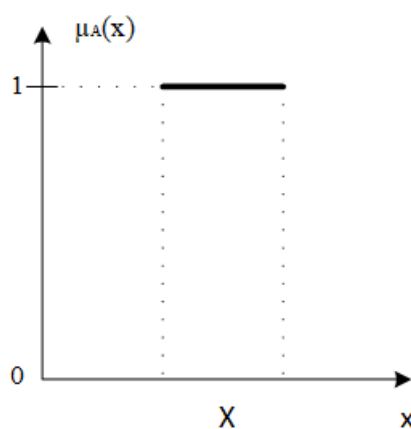
Zbiór  $A$  którego funkcja przynależności  $\mu_A(x)$  posiada wartość 0 dla wszystkich elementów przestrzeni rozważań  $X$  nazywa się zbiorem pustym i oznaczany jest znakiem  $\emptyset$ :

$$\emptyset: \mu_{\emptyset}(x) = 0, \forall x \in X. \quad (Z2.7)$$

Rys. Z2.2 Pusty zbiór rozmyty  $\emptyset$ 

Jeżeli wszystkie elementy przestrzeni rozważań mają stopień przynależności równy 1, przestrzeń taką można nazwać uniwersalnym zbiorem rozmytym:

$$U: \mu_U(x) = 1, \forall x \in X. \quad (Z2.8)$$



Rys. Z2.3 Zbiór rozmyty uniwersalny U

Zarówno zbiory puste  $\emptyset$  jak i uniwersalne U należy traktować jako zbiory skrajne. Każdy zbiór rozmyty A zawiera się między tymi skrajnymi przypadkami i spełnia zależność:

$$\emptyset \leq A \leq U \quad (Z2.9)$$

Każdy zbiór rozmyty A można opisać poprzez charakterystyczne parametry czy też wskaźniki. Do tych należą: wysokość zbioru rozmytego A, nośnik zbioru rozmytego A, jądro zbioru rozmytego A.

Poprzez wysokość zbioru rozmytego  $h(A)$  rozumie się maksymalną wartość jaką funkcja przynależności przyjmuje w całej  $X$  przestrzeni rozważań zbioru (Z2.10).

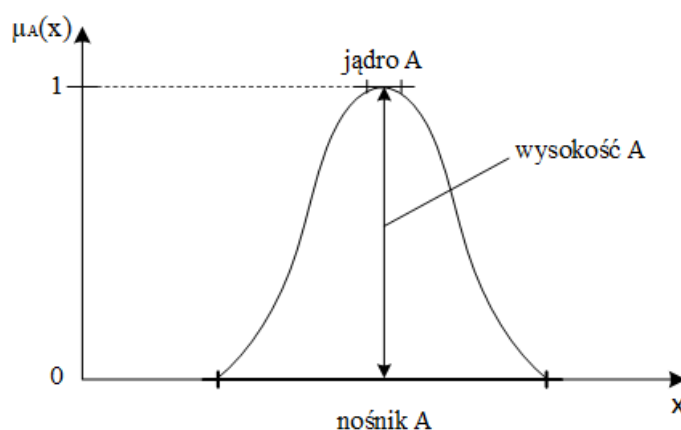
$$h(A) = \text{height}(A) = \sup (\mu_A(x)) \quad (\text{Z2.10})$$

Nośnikiem zbioru  $S(A)$  określa się nierozmyty podzbiór zbioru  $A$ , którego wszystkie elementy mają niezerowy stopień przynależności do zbioru  $A$  (Z2.11).

$$S(A) = \text{Supp}(A) = \{x: \mu_A(x) > 0, \quad x \in X\} \quad (\text{Z2.11})$$

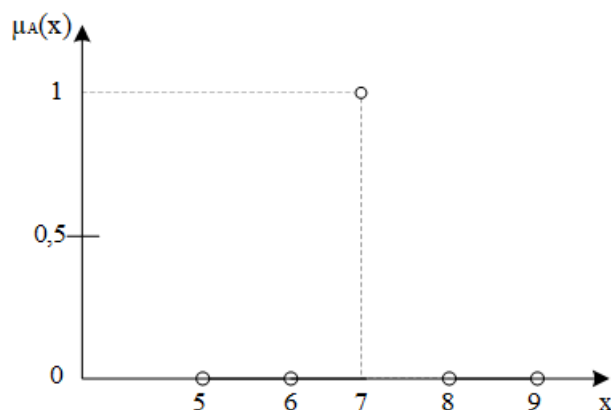
Natomiast jądro zbioru rozmytego  $C(A)$  jest podzbiorem nierozmytym zbioru  $A$  w przestrzeni rozważań  $X$ . Podzbiór ten złożony jest ze wszystkich elementów o stopniu przynależności równym 1 (Z2.12).

$$C(A) = \text{Core}(A) = \{x: \mu_A(x) = 1, \quad x \in X\} \quad (\text{Z2.12})$$



Rys. Z2.4 Charakterystyczne parametry zbioru rozmytego

Jeżeli nośnik zbioru rozmytego  $A$  zawiera tylko jeden element o stopniu przynależności różnym od zera jest to jednoelementowy zbiór rozmyty określany jako singleton (rys. Z2.5) [28].

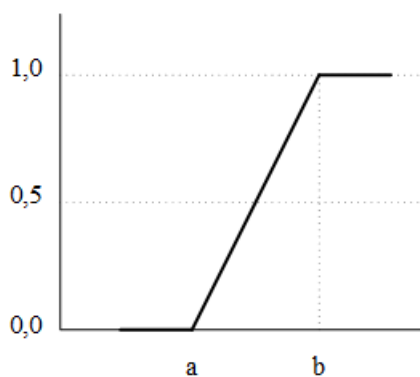


Rys. Z2.5 Jednoelementowy zbiór rozmyty- singleton

W teorii zbiorów rozmytych wyróżnia się wiele typów funkcji przynależności. W praktycznych zastosowaniach teorii zbiorów rozmytych częstą praktyką jest korzystanie z kilku różnych funkcji przynależności. W związku z tym w literaturze wyróżniono pewne klasy takich funkcji [27]:

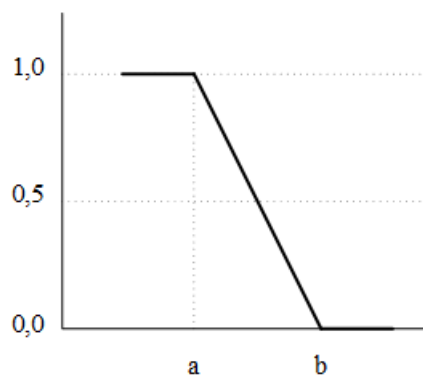
- funkcja klasy  $\Gamma$

$$\Gamma_{a,b}(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{dla } a < x \leq b \\ 1 & \text{dla } x > b \end{cases} \quad (\text{Z2.13})$$

Rys. Z2.6 Funkcja klasy  $\Gamma$ 

- funkcja klasy L

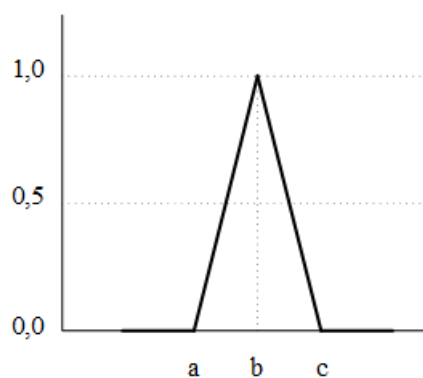
$$L_{a,b}(x) = \begin{cases} 1 & \text{dla } x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a} & \text{dla } a < x \leq b \\ 0 & \text{dla } x > b \end{cases} \quad (\text{Z2.14})$$



Rys.Z2.7 Funkcja klasy L

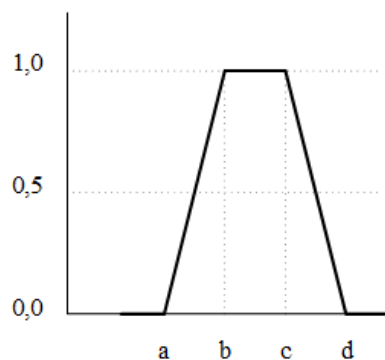
- funkcja klasy  $\Lambda$

$$\Lambda_{a,b,c}(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq a \vee x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{dla } a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{dla } b < x < c \end{cases} \quad (\text{Z2.15})$$

Rys. Z2.8 Funkcja klasy  $\Lambda$ 

- funkcja klasy  $\Pi$

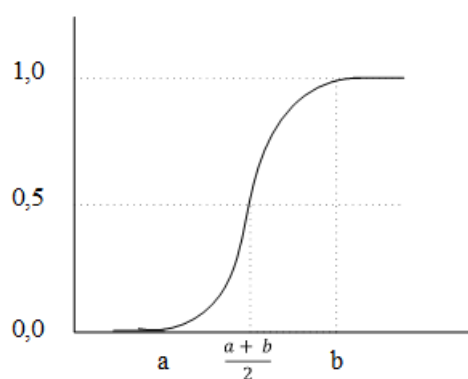
$$\Pi_{a,b,c,d}(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq a \vee x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{dla } a < x \leq b \\ 1 & \text{dla } b < x < c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{dla } c < x < d \end{cases} \quad (\text{Z2.16})$$



Rys. Z2.9 Funkcja klasy II

- funkcja klasy s

$$s_{a,b}(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq a \\ 2 \left( \frac{x-a}{b-a} \right)^2 & \text{dla } a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2 \left( \frac{x-b}{b-a} \right)^2 & \text{dla } \frac{a+b}{2} < x < b \\ 1 & \text{dla } x \geq b \end{cases} \quad (\text{Z2.17})$$

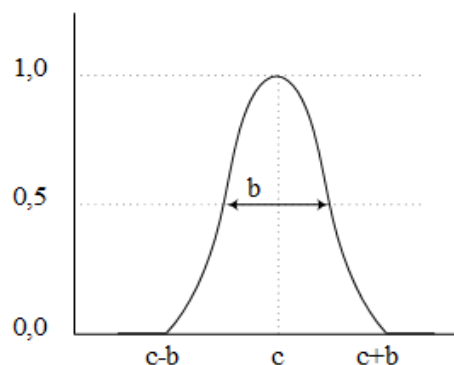


Rys. Z2.10 Funkcja klasy s

- funkcja klasy  $\pi$

$$\pi_{b,c}(x) = \begin{cases} s_{c-b,c}(x) & \text{dla } x < c \\ 1 - s_{c,c+b}(x) & \text{dla } x \geq c \end{cases} \quad (\text{Z2.18})$$

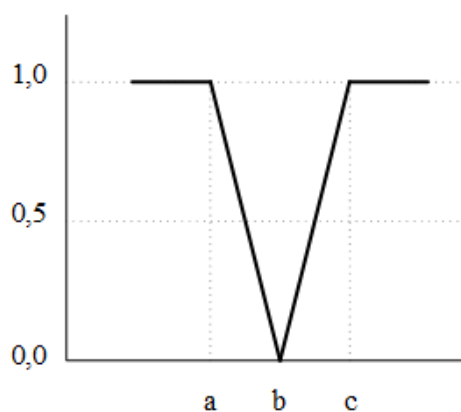


Rys. Z2.11 Funkcja klasy  $\pi$ 

Powyżej przedstawiono komplet podstawowych funkcji przynależności dla zbiorów rozmytych. Aby zestaw ten można było traktować jako pełny należy [literatura] uwzględnić w nim jeszcze funkcje odwrotne do opisanych wcześniej funkcji  $\Lambda$ ,  $\Pi$ ,  $s$  oraz  $\pi$ . Funkcje odwrotne dla wspomnianych klas oznaczone zostaną kolejno jako funkcje  $V$ ,  $U$ ,  $z$  oraz  $u$ .

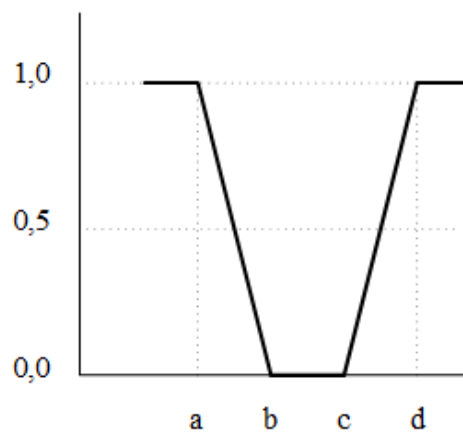
- funkcja klasy  $V$

$$V_{a,b,c}(x) = 1 - \Lambda_{a,b,c}(x) = \begin{cases} 1 & \text{dla } x \leq a \vee x \geq c \\ \frac{b-x}{b-a} & \text{dla } a < x \leq b \\ \frac{x-b}{c-b} & \text{dla } b < x < c \end{cases} \quad (\text{Z2.19})$$

Rys. Z2.12 Funkcja klasy  $V$ 

- funkcja klasy  $U$

$$U_{a,b,c,d}(x) = 1 - \Pi_{a,b,c,d}(x) = \begin{cases} 1 & \text{dla } x \leq a \vee x \geq d \\ \frac{b-x}{b-a} & \text{dla } a < x \leq b \\ 0 & \text{dla } b < x < c \\ \frac{x-c}{d-c} & \text{dla } c < x < d \end{cases} \quad (\text{Z2.20})$$

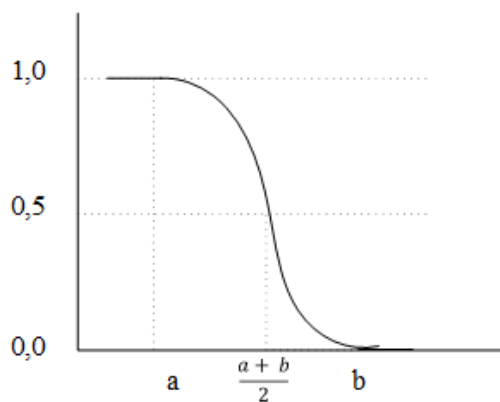


Rys. Z2.13 Funkcja klasy U

- funkcja klasy z

$$z_{a,b}(x) = 1 - s_{a,b}(x) \quad (Z2.21)$$

$$= \begin{cases} 1 & \text{dla } x \leq a \\ 1 - 2 \left( \frac{x-a}{b-a} \right)^2 & \text{dla } a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2 \left( \frac{x-a}{b-a} \right)^2 & \text{dla } \frac{a+b}{2} < x < b \\ 0 & \text{dla } x \geq b \end{cases}$$

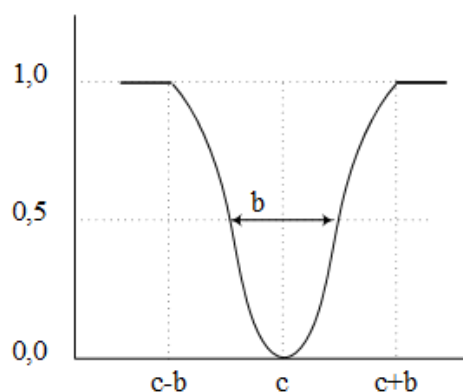


Rys. Z2.14 Funkcja klasy z

- funkcja klasy u

$$u_{b,c}(x) = 1 - \Pi_{b,c}(x) \quad (\text{Z2.22})$$

$$= \begin{cases} 1 & \text{dla } x \leq c - b \vee x \geq c + b \\ 1 - 2 \left( \frac{x - c + b}{b} \right)^2 & \text{dla } c - b < x \leq c - \frac{b}{2} \\ 2 \left( \frac{x - c}{b} \right)^2 & \text{dla } \frac{a + b}{2} < x < b \\ 1 - 2 \left( \frac{x - c + b}{b} \right)^2 & \text{dla } c + \frac{b}{2} < x < c + b \end{cases}$$



Rys. Z2.5 Funkcja klasy u

Proces wnioskowania w pracy [65] zdefiniowano jako mechanizm pośredniego uzasadniania, czyli uzasadniania poprzez odwołanie się do uprzednio uznanych zdań. Podkreśla się, że dzięki wnioskowaniu tworzona jest wiedza obiektywna, a systemy wiedzy mogą zostać poszerzone przez odwołanie się do zdań już istniejących w danym systemie. Mechanizm wnioskowania pozwala również poszerzyć wiedzę subiektywną, czyli zwiększyć zasoby przekonań, na podstawie już istniejących odczuć.

Istnieje wiele metod określania wniosków na podstawie wcześniej zdefiniowanych faktów. Dla istniejących już zdań  $\alpha$  i  $\beta$  w logice klasycznej określono metody wnioskowania, w literaturze wymieniane są następujące podejścia:

Sposób potwierdzający potwierdzeniem (łac. modus ponendo ponens)

$$[(\alpha \rightarrow \beta) \wedge \alpha] \Rightarrow \beta, \quad (\text{Z2.23})$$

Sposób zaprzeczający zaprzeczeniem (łac. modus tollendo tollens)

$$[(\alpha \rightarrow \beta) \wedge \neg\beta] \Rightarrow \neg\alpha, \quad (\text{Z2.24})$$

Sposób potwierdzający zaprzeczeniem (łac. modus tollendo ponens)

$$[(\neg\alpha \rightarrow \beta) \wedge \neg\beta] \Rightarrow \neg\alpha, \quad (\text{Z2.25})$$

Sposób zaprzeczający potwierdzeniem (łac. modus ponendo tollens)

$$[(\alpha \rightarrow \neg\beta) \wedge \beta] \Rightarrow \neg\alpha. \quad (\text{Z2.26})$$

Za najczęściej stosowaną metodę wnioskowania w logice rozmytej uważa się sposób potwierdzający potwierdzeniem [66]

Mechanizm wnioskowania

$$A' \circ (A^r \rightarrow B^r) = B'^r, \quad (\text{Z2.27})$$

określany skrótem modus ponens [67][68][69] przeprowadzany jest w oparciu o rozmytą przesłankę

$$x \text{ jest } A', \quad (\text{Z2.28})$$

i regułę postaci:

$$R^r: \text{Jeśli } (x \text{ jest } A^r) \text{ to } (y \text{ jest } B^r). \quad (\text{Z2.29})$$

Regułę (Z2.29) można podzielić na dwie części: „jeśli ...” - określanej mianem poprzednika oraz części „to ...” - zwanej następnikiem. W pracy [66] podkreśla się, że proces wnioskowania najczęściej stosowany jest lokalnie, gdzie dla każdej  $r$ -tej reguły otrzymuje się rozmyty wniosek:

$$(y \text{ jest } B'^r). \quad (\text{Z2.30})$$

Reguła  $R^r$  opisana zależnością [66] jest relacją rozmytą przestrzeni  $X \times Y$ ,  $R^r \subset X \times Y$ , którą można opisać wyrażeniem:

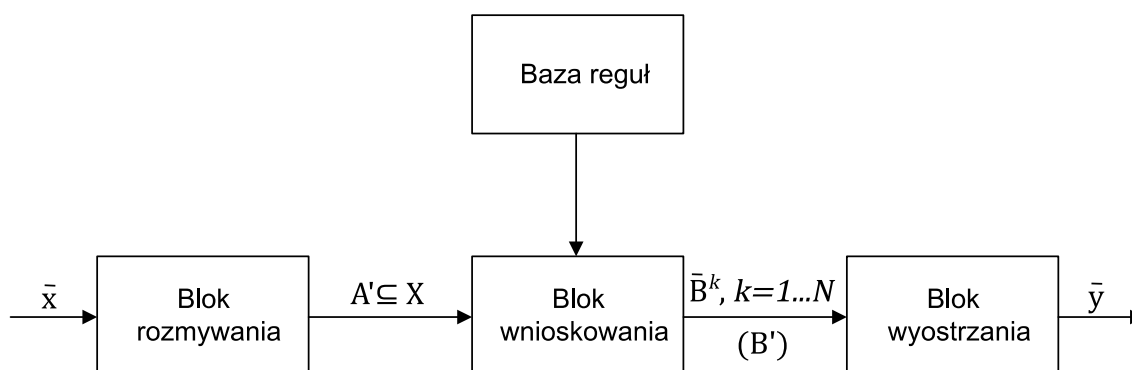
$$R^r = A^r \rightarrow B^r. \quad (\text{Z2.31})$$

Przedstawiony model wnioskowania sprawdza się w praktyce i jest powszechnie stosowany, co opisują liczne przykłady podane w literaturze [50][28][67][68][69].

## Z2.3 Rozmyty system wnioskujący

Typowy rozmyty system wnioskujący (rys. Z2.6) składa się z następujących elementów:

- baza reguł,
- blok rozmywania,
- blok wnioskowania,
- blok wyostrzania.



Rys. Z2.6 Rozmyty system wnioskujący

### Baza reguł

Bazę reguł stanowi zbiór rozmytych reguł  $R^{(k)}, k = 1 \dots N$ . Reguły można przedstawić w postaci:

$$R^{(k)} : \text{JEŻELI } x_1 \text{ jest } A_1^k \text{ I } x_2 \text{ jest } A_2^k \text{ I } \dots \text{ I } x_n \text{ jest } A_n^k \quad (\text{Z2.32})$$

$$\text{TO } y_1 \text{ jest } B_1^k \text{ I } y_2 \text{ jest } B_2^k \text{ I } \dots \text{ I } y_m \text{ jest } B_m^k$$

gdzie:

$N$  to liczba rozmytych reguł,  $A_i^k$  to zbiory rozmyte takie, że

$$A_i^k \subseteq \mathbf{X}_i \subset \mathbf{R}, \quad i = 1, \dots, n \quad (\text{Z2.33})$$

$B_j^k$  to zbiory rozmyte takie, że

$$B_j^k \subseteq \mathbf{Y}_j \subset \mathbf{R}, \quad j = 1, \dots, m \quad (\text{Z2.34})$$

$x_1, x_2, \dots, x_n$  to zmienne wejściowe modelu lingwistycznego, przy czym

$$[x_1, x_2, \dots, x_n]^T = \mathbf{x} \in \mathbf{X}_1 \times \mathbf{X}_2 \times \dots \times \mathbf{X}_n \quad (\text{Z2.35})$$

$y_1, y_2, \dots, y_m$  to zmienne wejściowe modelu lingwistycznego, przy czym

$$[y_1, y_2, \dots, y_m]^T = \mathbf{y} \in \mathbf{Y}_1 \times \mathbf{Y}_2 \times \dots \times \mathbf{Y}_m \quad (\text{Z2.36})$$

gdzie:

$\mathbf{X}_i, i=1, \dots, n$  oraz  $\mathbf{Y}_j, j=1, \dots, m$  oznacza przestrzenie zmiennych wejściowych i wyjściowych.

Regułę  $R^{(k)}$  można interpretować jako relację rozmytą określoną na zbiorze  $\mathbf{X} \times \mathbf{Y}$ . Oznacza to że reguła  $R^{(k)} \subseteq \mathbf{X} \times \mathbf{Y}$  stanowi zbiór rozmyty o funkcji przynależności:

$$\mu_{R^{(k)}}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \mu_{A^k \rightarrow B^k}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \quad (\text{Z2.37})$$

Przy tworzeniu bazy reguł istotnym aspektem jest ich liczba. Należy rozstrzygnąć, czy liczba reguł jest wystarczająca do opisanego zjawiska. Ważne aby ocenić również czy nie wykluczają się one wzajemnie oraz czy między poszczególnymi regułami zachodzą interakcje.

### Blok rozmywania

Rozmyty system wnioskujący operuje na zbiorach rozmytych. Dlatego też w bloku rozmywania ostre wartości sygnału wejściowego  $\bar{\mathbf{x}} = [\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n]^T \in \mathbf{X}$  podlegają rozmywaniu (ang. *fuzzification*). W wyniku tej operacji powstaje zbiór rozmyty  $A' \subseteq \mathbf{X} = \mathbf{X}_1 \times \mathbf{X}_2 \times \dots \times \mathbf{X}_n$ . Zbiór rozmyty  $A'$  stanowi wejście do bloku wnioskowania.

W bloku rozmywania określane są również stopnie przynależności wartości wejść modelu  $[x_1, x_2, \dots, x_n]^T$  do zbiorów rozmytych tych wejść. Aby obliczyć stopnie przynależności do poszczególnych zbiorów rozmytych, funkcje przynależności  $\mu_{A'}(\mathbf{x})$  muszą być precyzyjnie zdefiniowane jakościowo (rodzaj funkcji) oraz ilościowo (parametry funkcji).

#### Z2.3.3 Blok wnioskowania

Jeżeli na wejście bloku wnioskowania wprowadzony zostanie zbiór rozmyty  $A' \subseteq \mathbf{X} = \mathbf{X}_1 \times \mathbf{X}_2 \times \dots \times \mathbf{X}_n$ . W zależności od zbioru rozmytego określonego na wyjściu tego bloku można rozpatrywać dwie metody wnioskowania.

W przypadku, kiedy na wyjściu bloku wnioskowania określonych zostanie  $N$  zbiorów rozmytych  $\bar{B}^k \subseteq \mathbf{Y}$  zbiór rozmyty  $\bar{B}^k$  jest określany przez złożenie zbioru rozmytego  $A'$  oraz relacji  $R^{(k)}$ :

$$\bar{B}^k = A' \circ (A^k \rightarrow B^k), \quad k = 1, \dots, N \quad (\text{Z2.38})$$

W tym przypadku funkcję przynależności zbioru rozmytego  $\bar{B}^k$  wyznacza się z zależności:

$$\mu_{\bar{B}^k}(y) = \sup_{\mathbf{x} \in \mathbf{X}} [\mu_{A'}(\mathbf{x}) *^T \mu_{A^k \rightarrow B^k}(\mathbf{x}, y)] \quad (\text{Z2.39})$$

Konkretna postać funkcji przynależności zależy od przyjętej t- normy, definicji rozmytej reguły  $R^k$  oraz sposobu zdefiniowania iloczynu kartezjańskiego zbiorów rozmytych. W przypadku operacji rozmywania typu singleton funkcja przynależności przyjmuje postać:

$$\mu_{\bar{B}^k}(y) = *^T \mu_{A^k \rightarrow B^k}(\bar{\mathbf{x}}, y) \quad (\text{Z2.40})$$

W przypadku, kiedy na wyjściu bloku wnioskowania określony zostaje jeden zbiór rozmyty  $B' \subseteq \mathbf{Y}$  stosując złożeniową regułę wnioskowania zbiór ten można określić zależnością:

$$B' = A' \circ \bigcup_{k=1}^N R^{(k)} = A' \circ \mathcal{R} \quad (\text{Z2.40})$$

gdzie  $\mathcal{R} = \bigcup_{k=1}^N R^{(k)}$ .

Funkcję przynależności dla zbioru  $B'$  określa się zależnością:

$$\mu_{B'}(y) = \sup_{\mathbf{x} \in \mathbf{X}} [\mu_{A'}(\mathbf{x}) *^T \max_{1 \leq k \leq N} \mu_{R^{(k)}}(\mathbf{x}, y)] \quad (\text{Z2.42})$$

### Blok wyostrzania

W bloku wyostrzania wielkość wyjściowa z bloku wnioskowania określona jako  $N$  zbiorów rozmytych  $\bar{B}^k$  o funkcjach przynależności  $\mu_{\bar{B}^k}(y)$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$  lub jako jeden zbiór rozmyty  $B'$  z funkcją przynależności  $\mu_{B'}(y)$  zostaje przekształcona w jedną, ostrą wartość  $\bar{y} \in \mathbf{Y}$ . Operację tą nazywa się wyostrzeniem (ang. *defuzzification*).

Ostrą wartość  $\bar{y} \in \mathbf{Y}$  wielkości wyjściowej można wyznaczyć za pomocą różnych metod. Najpopularniejsze z nich to:

- Metoda środka maksimum (ang. *Middle of Maxima*)

W tym przypadku wartość  $\bar{y}$  wyznacza się jako:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^N \mu_{\bar{B}^k}(\bar{y}^k) \bar{y}^k}{\sum_{k=1}^N \mu_{\bar{B}^k}(\bar{y}^k)} \quad (\text{Z2.41})$$

Gdzie  $\bar{y}^k$  jest punktem, w którym funkcja  $\mu_{\bar{B}^k}(y)$  przyjmuje wartość maximum.

$$\mu_{\bar{B}^k}(\bar{y}^k) = \max_y \mu_{\bar{B}^k}(y) \quad (\text{Z2.42})$$

- Metoda środka sum (ang. *Center of sum*)

W tym przypadku wartość  $\bar{y}$  wyznacza się jako:

$$\bar{y} = \frac{\int_Y y \sum_{k=1}^N \mu_{\bar{B}^k}(y) dy}{\int_Y \sum_{k=1}^N \mu_{\bar{B}^k}(y) dy} \quad (\text{Z2.43})$$

- Metoda środka ciężkości (ang. *Center of gravity*)

Metoda ta jest użyteczna jeżeli wielkością wyjściową bloku wnioskowania jest jeden zbiór rozmyty  $B'$ . W tym przypadku wartość  $\bar{y}$  wyznacza się jako środek funkcji przynależności  $\mu_{B'}(y)$ :

$$\bar{y} = \frac{\int_Y y \mu_{B'}(y) dy}{\int_Y \mu_{B'}(y)} = \frac{\int_Y y \max_k \mu_{\bar{B}^k}(y)}{\int_Y \max_k \mu_{\bar{B}^k}(y)} \quad (\text{Z2.44})$$

## Z2.4. Algorytm grupowania k-średnich

Algorytm k-średnich (ang. *C-means*) jest popularnym i powszechnie stosowanym narzędziem do grupowania danych. W przypadku algorytmu k-średnich każdy klastrowy reprezentowany jest przez średnią lub średnią ważoną klastra. Zadaniem algorytmu jest podział zbioru  $n$  obiektów  $D = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  pomiędzy  $k$  klastrami  $K_1, K_2, \dots, K_k$  o średnich  $m_1, m_2, \dots, m_k$  tak aby zminimalizować funkcję kryterialną  $e(k)$ . W przestrzeni euklidesowej średnią klastra definiuje się wzorem (Z2.45):

$$m_k = \frac{1}{|K_k|} \sum_{p_i \in K_k} p_i \quad (\text{Z2.45})$$

Podstawową funkcją kryterialną  $e(k)$  (Z2.46) dla algorytmu jest funkcja sumy błędów średniokwadratowego (ang. *Sum of the Squared Error – SSE*):

$$e(k) = \sum_{i=1}^k \sum_{p_j \in K_i} \text{dist}(p_j, m_i)^2 \quad (\text{Z2.46})$$

gdzie  $p_j$  jest punktem w przestrzeni  $R^m$  reprezentującym obiekt  $p_j$ . Każdy obiekt  $p_i = \{p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{im}\}$  reprezentuje punkt w przestrzeni  $R^m$ , gdzie  $m$  oznacza liczbę wymiarów tej przestrzeni,  $m_i$  oznacza średnią klastra  $K_i$ , a  $\text{dist}(p_j, m_i)$  oznacza odległość euklidesową między obiektem  $p_j$  i środkiem najbliższego klastra  $K_i$ . Wartość funkcji kryterialnej  $e(k)$  jest sumą SSE poszczególnych klastrów [70].

Algorytm k-średnich grupuje obiekty w sposób iteracyjny. W pierwszym kroku algorytm określa ilość klastrów  $k$ . Następnie algorytm obiera losowo środki segmentów  $k$ . Wybierane są one spośród wszystkich obiektów w przestrzeni. Po wstępnym określeniu środków klastrów obliczane są odległości każdego obiektu



w przestrzeni od poszczególnych środków klastrów. Na tej podstawie obiekty zostają przypisane do odpowiedniego klastra dla którego odległość euklidesowa obiektu od środka klastra jest najmniejsza. W kolejnej iteracji środki wszystkich klastrów zostają uaktualnione, a wszystkie obiekty w przestrzeni ponownie zostają przypisane do najbliższych klastrów. Krok ten jest powtarzany do momentu kiedy obiekty przestaną przemieszczać się między klastrami. Algorytm kończy działanie kiedy obiekty w kolejnych iteracjach zostają przypisane do tych samych klastrów [71].

Zaletą algorytmu grupowania k-średnich niewątpliwie jest jego prostota oraz efektywność w stosunku do innych podobnych algorytmów. Istotną zaletą algorytmu jest również jego elastyczność co do przyjętej miary odległości punktu od środka klastra. Można dokonać zmiany miary przyjętej w podstawowej wersji algorytmu. Zmiana miary nie wpływa na działanie samego algorytmu. Wadą algorytmu k-średnich jest duża czułość na dane zaszumione czy też na dane zawierające punkty „osobliwe”. Zaszumienie czy też występowanie danych „osobliwych” w znaczący sposób wpływa na średnie klastrów. Wadą algorytmu jest również silna zależność pomiędzy początkowym podziałem obiektów, a wynikiem działania algorytmu.

## Z2.5 Algorytm A priori

Reguły asocjacyjne opierają się o analizę podobieństw, która jest badaniem powiązanych ze sobą atrybutów czy też cech. Przyjmują one postać „*Jeżeli poprzednik to następnik*” wraz z miarą wsparcia oraz ufności reguły. Wspomniane wsparcie oraz ufność można traktować jako miarę jakości utworzonych reguł asocjacyjnych. Jeżeli zbiór D określony zostanie jako zbiór wszystkich transakcji T, gdzie każda z transakcji T z D reprezentuje zbiór danych I. Przy danym zbiorze atrybutów A oraz innym zbiorze atrybutów B reguła asocjacyjna przyjmuje postać *jeżeli A, to B* ( $A \Rightarrow B$ ), gdzie poprzednik A i następnik B są właściwymi podzbiorami zbioru danych I oraz A i B są wzajemnie niezależne.

Posługując się wspomnianą nomenklaturą wsparcie (*ang. support*) s dla reguły asocjacyjnej  $A \Rightarrow B$  określa się jako procent transakcji w zbiorze transakcji D, które zawierają A i B.

$$\text{wsparcie} = P(A \cap B) = \frac{\text{liczba transakcji zawierająca A i B}}{\text{całkowita liczba transakcji}} \quad (\text{Z2.47})$$

Ufność (*ang. confidence*) c dla reguły asocjacyjnej  $A \Rightarrow B$  określa się jako procent transakcji zawierających atrybut A, które zawierają również atrybut B.

$$\text{ufność} = P(B|A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} = \frac{\text{liczba transakcji zawierających A i B}}{\text{liczba transakcji zawierających A}} \quad (\text{Z2.50})$$

W celu odkrywania reguł asocjacyjnych dla danego zbioru danych można zastosować szereg algorytmów. Jednak większość z nich posiada zasadniczą wadę, tak zwane „*przekleństwo wymiarowości*”. Wraz ze wzrostem liczby atrybutów w sposób wykładniczy rośnie również liczba możliwych reguł asocjacyjnych. W takim przypadku dla k atrybutów, ograniczając się wyłącznie do przypadków pozytywnych liczbę możliwych do wystąpienia reguł asocjacyjnych można określić

jako  $k \cdot 2^{k-1}$ . Gdy zbiór danych zawiera znaczną ilość  $k$  atrybutów ilość uzyskanych reguł asocjacyjnych może być tak duża, że uniemożliwi analizę uzyskanych rezultatów. Wady tej nie posiada algorytm A priori.

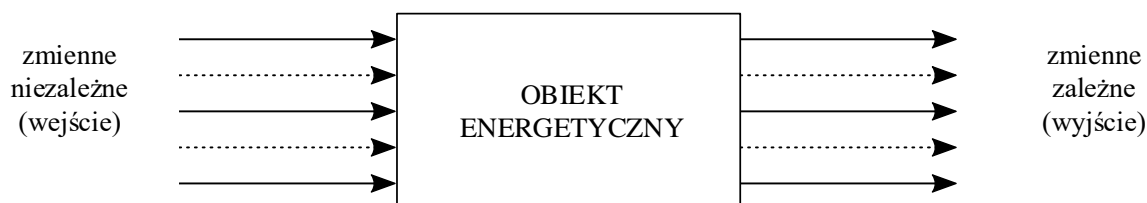
Algorytm A priori przyjmuje, że jeżeli dany zbiór  $Z$  nie jest częsty, to dodanie dowolnego atrybutu  $A$  do zbioru  $Z$  nie spowoduje, że zbiór ten stanie się zbiorem częstym. Tak więc, jeżeli  $Z$  nie jest częsty, to  $Z \cup A$  nie będzie częste. Dzięki tej właściwości algorytm zmniejsza przestrzeń poszukiwań, co ogranicza ilość możliwych reguł asocjacyjnych.

Pierwszym etapem algorytmu A priori jest tworzenie częstych zbiorów zdarzeń. W celu wyznaczenia wzorca asocjacji algorytm przeszukuje bazę transakcyjną, po to aby znaleźć jednoelementowe zbiory częste  $F_1$ . W kolejnym kroku zbiory częste jednoelementowe zostają wykorzystane do wygenerowania zbiorów częstych dwuelementowych  $F_2$ . Proces ten jest powtarzany do momentu, kiedy osiągnięty zostanie ostatni  $k$ -elementowy zbiór częsty  $F_k$ . Drugim etapem algorytmu *A priori* jest tworzenie reguł asocjacyjnych za pomocą częstych zbiorów zdarzeń. Proces tworzenia reguł przeprowadzany jest w dwóch krokach, dla każdego częstego zbioru zdarzeń  $s$ . Pierwszym krokiem tworzenia reguł asocjacyjnych jest utworzenie wszystkich podzbiorów  $s$ . Następnie zakładając, że  $ss$  jest niepustym podzbiorem  $s$  należy rozważyć regułę asocjacyjną  $R: ss \Rightarrow (s- ss)$ , gdzie  $(s- ss)$  oznacza zbiór  $s$  bez  $ss$ . Reguła powinna zostać wyznaczona jeżeli spełnia minimalne wymagania ufności oraz wsparcia narzucone na algorytm. Proces tworzenia reguł powtarzany jest dla każdego podzbioru  $ss$  zbioru  $s$  [50][72].

# ZAŁĄCZNIK 3

## Opis modelu bloku energetycznego w programie DIAGAR

W najprostszy sposób model obiektu energetycznego można przedstawić w następujący sposób (rys. Z3.1):



Rys. Z3.1 Model obiektu energetycznego

Tak przedstawiony model (rys. Z3.1) można traktować jako model matematyczny, którego zadaniem jest określenie funkcjonowania systemu (wyjście modelu) na podstawie danych wejściowych. Opis matematyczny w modelu jest zbiorem zależności zmiennych zależnych (wyjściowych) od zmiennych niezależnych (wejściowych). Model matematyczny obiektu energetycznego powinien odzwierciedlać strukturę i parametry wejścia i wyjścia określone na podstawie obserwacji rzeczywistego systemu. W przypadku bloku energetycznego modelem matematycznym można określić zależność pomiędzy parametrami cieplno-przepływowymi zależnymi (wyjściowymi) bloku, a parametrami cieplno-przepływowymi niezależnymi (wejściowymi). Tak sformułowany model powinien również uwzględniać geometrię aparatów pracujących w obiekcie [56].

Do zmiennych niezależnych bloku energetycznego zalicza się wartości mierzonych wejściowych parametrów cieplno-przepływowych (tj. ciśnień, temperatur, strumieni masy) opisujących stan obciążenia obiektu oraz jego otoczenia. Zmiennymi zależnymi określa się rozkłady mierzalnych wyjściowych parametrów cieplno-przepływowych (ciśnień, temperatur, strumieni mas) wewnątrz struktury obiektu. Jako zmienne niezależne można traktować również uzyskane charakterystyki obiektu oraz jego urządzeń składowych (np. sprawność, przelotność). Zależności pomiędzy parametrami zależnymi i niezależnymi opisuje się za pomocą równań bilansowych masy i energii dla poszczególnych aparatów obiegu. Taki układ równań można przedstawić symbolicznie (Z3.1).

$$\begin{matrix} \text{zmiennie} \\ \text{zależne} \end{matrix} = F \left\{ \begin{matrix} \text{zmiennie charakt. c-p} \\ \text{'niezależne' aparatów} \end{matrix} f_1 \left[ \begin{matrix} \text{zmiennie zmiennie} \\ \text{'niezależne' zależne} \end{matrix} \text{wsp.kor.} f_2 \left( \begin{matrix} \text{zmiennie zmiennie geometria} \\ \text{'niezależne' zależne' aparatów} \end{matrix} \right) \right] \right\} \quad (\text{Z3.1})$$

W pracy badania symulacyjne oparto o numeryczny model obliczeniowy zaimplementowany w systemie DIAGAR. Program DIAGAR służy do obliczeń stanu referencyjnego oraz stanu aktualnego obiektu. Program umożliwia również przeprowadzenie obliczeń dla obiektu w zmienionych warunkach. W systemie DIAGAR możliwe jest wykonanie obliczeń dla obiegów

- z turbiną parową kondensacyjną z przegrzewem oraz regeneracją,
- z turbiną parową ciepłowniczą z członem ciepłowniczym sieci ciepłej.

Wykorzystany program posługuje się sekwencyjnym schematem obliczeniowym. Każda iteracja obliczeń odbywa się w dwóch fazach; zgodnie z kierunkiem przepływu czynnika roboczego (Faza 0) i w przeciwnym do przepływu kierunku (Faza 1). Dla przyspieszenia obliczeń i uzyskania zbieżności program wyposażony jest w lokalne pętle iteracyjne. Własności termodynamiczne czynnika roboczego w układzie (tj. gazów, pary wodnej, wody) określono w oparciu o Tablice Parowe ASME oraz relacje Wukałowicza [73][74].

# ZAŁĄCZNIK 4

Przykład tabeli normatywnej dla pomiarów odbiorczych  
(gwarancyjnych)

Pomiary uznane za referencyjne nie przekraczają wartości określonych według norm [14]. Uwzględniono dopuszczalne wartości określone dla metody wyznaczania niepewności pomiaru typu A (Tabela Z4.1).

Tabela Z4.1 Maksymalne odchylenia i wahania parametrów pracy

Zmienna	Maksymalne dopuszczalne odchylenia średniej wartości od wartości podstawowej	Maksymalne dopuszczalne nagłe wahania w stosunku do wartości średniej podczas każdego badania
Ciśnienie pary dolotowej	$\pm 3$ % ciśnienia bezwzględnego (patrz uwaga 2)	$\pm 0,5$ % ciśnienia bezwzględnego
Temperatura pary dolotowej i pary wtórnie przegrzanej	przy przegrzewie $\leq 25$ K $\pm 8$ K przy przegrzewie $> 25$ K $\pm 15$ K	$\pm 2$ K $\pm 1$ K
Przepływ czynnika dopływowego	nie określa się	$\pm 1$ %
Stopień suchości pary na dopływie do turbin zasilanych parą wilgotną	$\pm 0,005$	$\pm 0,001$
Ciśnienie na odpływie turbiny kondensacyjnej	$\pm 2,5$ % ciśnienia bezwzględnego (patrz uwaga 5)	$\pm 5$ %
Temperatura wody zasilającej	$\pm 2$ K (patrz uwaga 3)	-
Ciśnienie upustu	patrz uwaga 4	-
Moc	$\pm 5$ %	$\pm 0,25$ %
Napięcie	$\pm 5$ %	-
Współczynnik mocy	może zmieniać się między jednością i wartością znamionową minus 0,05	-
Gdy gwarancje uwzględniają skraplacz		
Temperatura wody chłodzącej na dopływie do skraplacza	$\pm 5$ K	$\pm 2$ K
Ilość wody chłodzącej	$\pm 10$ %	-
Temperatura powietrza na dopływie (dla skraplaczy chłodzonych powietrzem)	$\pm 10$ K	$\pm 2$ K

## Uwagi

1. Nagłe wahania to takie, których częstotliwość jest podwójną częstotliwością odczytu.
2. W żadnym przypadku nie mogą być podane przez wytwórcę kotła zmiany ciśnienia i temperatury.
3. Możliwe ograniczenia powinny być poddane przez wytwórcę kotła lub w umowie na dostawę turbiny.
4. Odchylenia kilkuprocentowe w ciśnieniach upustów w stosunku do wartości nominalnych zwykle mają pomijalnie mały wpływ na ogólne osiągi. Przy wystąpieniu nieproporcjonalnie dużych odchyleń w przepływie pary upustowej wywołujących złą pracę podgrzewaczy, wpływ na osiągi turbiny może być poważny; w tym przypadku należy uzgodnić tryb dalszego postępowania.
5. Jeżeli w czasie pomiaru ciśnienie na odpływie różni się od nominalnego o więcej niż  $\pm 2,5$  % lub 3 kPa albo jeśli jest wyższe od tych ograniczeń, korekcja ciśnienia na odpływie na żądanie jakiegokolwiek ze stron powinna być zweryfikowana pomiarem

# ZAŁĄCZNIK 5

Stabelaryzowane wyniki symulacji dla Wariantu I



Tabela Z5.1 Zestawienie danych potrzebnych do oceny próbek w przypadku pracy bloku w stanie ustalonym (Wariant I) dla parametrów niezależnych

Numer próbki	Moc			Temperatura pary świeżej			Ciśnienie pary świeżej			Temperatura pary przegrzanej		
	Wart. [MW]	Częst. [%]	Ocena [-]	Wart. [C]	Częst. [%]	Ocena [-]	Wart. [MPa]	Częst. [%]	Ocena [-]	Wart. [C]	Częst. [%]	Ocena [-]
1	190,19	42,99	Good	532,91	20,01	Good	12,39	20,70	Good	534,96	0,80	Good
2	190,55	39,59	Good	533,50	20,01	Good	12,38	20,70	Good	535,25	0,80	Good
3	190,55	39,59	Good	533,50	20,01	Good	12,38	20,70	Good	535,25	0,80	Good
4	190,31	42,99	Good	533,50	20,01	Good	12,40	20,70	Good	535,25	0,80	Good
5	189,94	10,90	Good	533,79	16,48	Good	12,40	20,70	Good	535,25	0,80	Good
6	190,31	42,99	Good	534,38	24,90	Good	12,41	16,56	Good	535,55	0,80	Good
7	189,94	10,90	Good	534,38	24,90	Good	12,41	16,56	Good	535,55	0,80	Good
8	190,19	42,99	Good	534,38	24,90	Good	12,40	20,70	Good	535,84	0,80	Good
9	190,19	42,99	Good	534,67	24,90	Good	12,43	16,56	Good	535,84	0,80	Good
10	190,06	42,99	Good	535,25	11,53	Good	12,43	16,56	Good	536,13	0,80	Good
11	190,55	39,59	Good	535,25	11,53	Good	12,41	16,56	Good	536,13	0,80	Good
12	190,19	42,99	Good	535,25	11,53	Good	12,41	16,56	Good	536,13	0,80	Good
13	190,19	42,99	Good	535,55	11,53	Good	12,41	16,56	Good	536,13	0,80	Good
14	189,94	10,90	Good	535,55	11,53	Good	12,40	20,70	Good	536,43	0,80	Good
15	190,43	39,59	Good	535,55	11,53	Good	12,40	20,70	Good	536,43	0,80	Good
16	190,31	42,99	Good	535,25	11,53	Good	12,40	20,70	Good	536,43	0,80	Good
17	190,31	42,99	Good	535,25	11,53	Good	12,38	20,70	Good	536,13	0,80	Good
18	190,31	42,99	Good	535,55	11,53	Good	12,40	20,70	Good	536,13	0,80	Good
19	190,06	42,99	Good	535,55	11,53	Good	12,38	20,70	Good	536,43	0,80	Good
20	190,67	39,59	Good	535,84	7,88	Good	12,40	20,70	Good	536,43	7,13	Good
21	190,06	42,99	Good	535,84	7,88	Good	12,40	20,70	Good	536,72	7,13	Good
22	190,31	42,99	Good	535,84	7,88	Good	12,43	16,56	Good	536,72	7,13	Good
23	190,31	42,99	Good	536,13	7,88	Good	12,43	16,56	Good	536,72	7,13	Good
24	190,06	42,99	Good	536,13	7,88	Good	12,43	16,56	Good	537,01	14,87	Good
25	190,43	39,59	Good	536,43	7,88	Good	12,44	19,77	Good	537,01	14,87	Good
26	191,16	0,79	Bad	536,43	7,88	Good	12,44	19,77	Good	537,01	14,87	Good
27	190,19	42,99	Good	536,43	7,88	Good	12,44	19,77	Good	537,30	14,87	Good
28	190,55	39,59	Good	536,43	7,88	Good	12,43	16,56	Good	537,30	14,87	Good
29	190,03	42,99	Good	536,43	7,88	Good	12,43	16,56	Good	537,30	37,25	Good
30	190,43	39,59	Good	536,13	7,88	Good	12,44	19,77	Good	537,60	37,25	Good
31	190,31	42,99	Good	536,13	7,88	Good	12,44	19,77	Good	537,60	37,25	Good
32	190,67	39,59	Good	535,84	7,88	Good	12,45	19,77	Good	537,60	37,25	Good
33	190,06	42,99	Good	535,84	7,88	Good	12,43	16,56	Good	537,89	14,87	Good
34	190,55	39,59	Good	535,84	7,88	Good	12,43	16,56	Good	537,89	14,87	Good
35	190,55	39,59	Good	535,55	11,53	Good	12,43	16,56	Good	537,89	14,87	Good

Tabela Z5.2 Zestawienie danych potrzebnych do oceny próbek w przypadku pracy bloku w stanie ustalonym (Wariant I) dla parametrów zależnych

Numer próbki	Temp. kondensatu na wylocie z XN4			Temp kondensatu na wlocie do wymiennika XN4/Temp. kondensatu na wylocie z wymiennika XN3			Temp. skroplin z wymiennika XN4		
	Wartość	Częstość	Ocena	Wartość	Częstość	Ocena	Wartość	Częstość	Ocena
	[C]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]
1	157,47	49,58	Good	129,93	25,21	Good	142,97	10,20	Good
2	157,76	11,88	Good	130,22	12,46	Good	142,82	33,66	Good
3	157,76	11,88	Good	130,22	12,46	Good	142,82	33,66	Good
4	157,76	11,88	Good	130,22	12,46	Good	142,97	10,20	Good
5	157,62	49,58	Good	129,93	25,21	Good	142,97	10,20	Good
6	157,62	49,58	Good	129,93	25,21	Good	142,82	33,66	Good
7	157,76	11,88	Good	129,93	25,21	Good	142,82	33,66	Good
8	157,76	11,88	Good	130,08	19,18	Good	142,97	10,20	Good
9	157,47	49,58	Good	130,08	19,18	Good	142,97	10,20	Good
10	157,91	3,29	Good	129,79	22,28	Good	142,82	33,66	Good
11	157,47	49,58	Good	130,08	19,18	Good	142,82	33,66	Good
12	157,91	3,29	Good	130,08	19,18	Good	142,82	33,66	Good
13	157,47	49,58	Good	129,93	25,21	Good	142,97	10,20	Good
14	157,76	11,88	Good	129,93	25,21	Good	142,68	28,56	Good
15	157,76	11,88	Good	130,08	19,18	Good	142,97	10,20	Good
16	157,47	49,58	Good	130,08	19,18	Good	142,97	10,20	Good
17	157,76	11,88	Good	130,08	19,18	Good	142,68	28,56	Good
18	157,76	11,88	Good	129,93	25,21	Good	142,68	28,56	Good
19	157,62	49,58	Good	129,93	25,21	Good	142,68	28,56	Good
20	157,32	17,47	Good	129,93	25,21	Good	142,82	33,66	Good
21	157,32	17,47	Good	130,08	19,18	Good	142,82	33,66	Good
22	157,76	11,88	Good	130,08	19,18	Good	142,97	10,20	Good
23	157,76	11,88	Good	129,93	25,21	Good	142,97	10,20	Good
24	157,32	17,47	Good	129,93	25,21	Good	142,82	33,66	Good
25	157,62	49,58	Good	129,64	13,11	Good	142,82	33,66	Good
26	157,32	17,47	Good	129,64	13,11	Good	142,97	10,20	Good
27	157,62	49,58	Good	129,93	25,21	Good	142,97	10,20	Good
28	157,62	49,58	Good	129,64	13,11	Good	142,68	28,56	Good
29	157,62	49,58	Good	129,93	25,21	Good	142,97	10,20	Good
30	157,47	49,58	Good	129,93	25,21	Good	142,97	10,20	Good
31	157,47	49,58	Good	129,64	13,11	Good	142,97	10,20	Good
32	157,62	49,58	Good	129,93	25,21	Good	142,82	33,66	Good
33	157,62	49,58	Good	129,93	25,21	Good	142,82	33,66	Good
34	157,47	49,58	Good	129,93	25,21	Good	142,82	33,66	Good
35	157,47	49,58	Good	129,93	25,21	Good	142,82	33,66	Good

Tabela Z5.3 Zestawienie danych potrzebnych do oceny próbek w przypadku pracy bloku w stanie ustalonym (Wariant I) dla parametrów zależnych

Numer próbki	Ciśnienie pary w upuście 4			Temp. kondensatu na wlocie do wymiennika XN3/Temp. kondensatu na wylocie z wymiennika XN2			Temp. skroplin z wymiennika XN3		
	Wartość	Częstość	Ocena	Wartość	Częstość	Ocena	Wartość	Częstość	Ocena
	[MPa]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]
1	0,386	20,40	Good	103,71	3,66	Good	109,42	19,01	Good
2	0,387	13,90	Good	104,00	1,57	Good	109,42	19,01	Good
3	0,387	13,90	Good	104,00	3,66	Good	109,28	29,10	Good
4	0,387	13,90	Good	104,00	3,66	Good	109,28	29,10	Good
5	0,386	20,40	Good	103,86	3,66	Good	109,13	19,45	Good
6	0,386	20,40	Good	103,86	3,66	Good	109,13	19,45	Good
7	0,387	13,90	Good	104,00	3,66	Good	108,98	12,71	Good
8	0,387	13,90	Good	104,00	1,57	Good	108,98	12,71	Good
9	0,386	20,40	Good	103,71	3,66	Good	109,28	29,10	Good
10	0,386	20,40	Good	103,71	3,66	Good	109,28	29,10	Good
11	0,386	20,40	Good	103,86	1,57	Good	109,28	29,10	Good
12	0,385	20,40	Good	103,86	3,66	Good	109,13	19,45	Good
13	0,386	20,40	Good	103,86	3,66	Good	109,13	19,45	Good
14	0,385	20,40	Good	103,86	1,57	Good	109,28	29,10	Good
15	0,385	20,40	Good	103,86	1,57	Good	109,28	29,10	Good
16	0,385	20,40	Good	103,86	3,66	Good	109,13	19,45	Good
17	0,385	19,87	Good	103,56	3,66	Good	109,13	19,45	Good
18	0,385	19,87	Good	103,86	18,75	Good	109,42	19,01	Good
19	0,385	20,40	Good	103,86	3,66	Good	109,42	19,01	Good
20	0,385	20,40	Good	103,86	3,66	Good	109,28	29,10	Good
21	0,385	20,40	Good	103,86	18,75	Good	109,28	29,10	Good
22	0,386	20,40	Good	103,71	3,66	Good	109,13	19,45	Good
23	0,386	20,40	Good	103,71	18,75	Good	109,13	19,45	Good
24	0,386	20,40	Good	103,86	3,66	Good	109,13	19,45	Good
25	0,386	20,40	Good	103,86	3,66	Good	108,98	12,71	Good
26	0,385	20,40	Good	103,56	3,66	Good	108,98	12,71	Good
27	0,385	20,40	Good	103,27	18,75	Good	108,84	11,49	Good
28	0,385	20,40	Good	103,56	3,66	Good	109,13	19,45	Good
29	0,385	20,40	Good	103,56	3,66	Good	109,13	19,45	Good
30	0,385	19,87	Good	103,27	18,75	Good	109,13	19,45	Good
31	0,386	20,40	Good	103,56	3,66	Good	109,28	29,10	Good
32	0,385	19,87	Good	103,56	3,66	Good	109,57	19,01	Good
33	0,385	19,87	Good	103,27	1,57	Suspect	109,57	19,01	Good
34	0,386	20,40	Good	103,56	1,57	Good	109,57	19,01	Good
35	0,386	20,40	Good	103,27	3,66	Suspect	109,42	19,01	Good

Tabela Z5.4 Zestawienie danych potrzebnych do oceny próbek w przypadku pracy bloku w stanie ustalonym (Wariant I) dla parametrów zależnych

Numer próbki	Temp. pary w upuście 5			Ciśnienie pary w upuście 5			Temp kondensatu na wlocie do wymiennika XN2		
	Wartość	Częstość	Ocena	Wartość	Częstość	Ocena	Wartość	Częstość	Ocena
	[C]	[%]	[-]	[MPa]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]
1	294,14	20,58	Suspect	0,173	13,97	Good	63,72	22,77	Good
2	296,78	4,51	Good	0,174	17,87	Good	63,57	22,77	Good
3	296,78	20,58	Good	0,174	17,87	Good	63,57	22,77	Good
4	296,78	33,71	Good	0,174	17,87	Good	63,57	22,77	Good
5	295,61	20,58	Good	0,174	17,87	Good	63,43	15,30	Good
6	296,48	19,82	Good	0,174	17,87	Good	63,43	15,30	Good
7	296,48	20,58	Good	0,173	13,97	Good	63,72	22,77	Good
8	297,07	6,47	Good	0,173	13,97	Good	63,72	22,77	Good
9	296,19	20,58	Good	0,174	17,87	Good	63,43	15,30	Good
10	297,36	4,51	Good	0,173	13,97	Good	63,72	22,77	Good
11	297,36	20,58	Good	0,173	13,97	Good	63,72	22,77	Good
12	296,78	33,71	Good	0,173	13,97	Good	63,57	22,77	Good
13	296,78	33,71	Good	0,173	13,97	Good	63,57	22,77	Good
14	297,07	33,71	Good	0,173	22,77	Good	63,57	22,77	Good
15	297,07	4,51	Good	0,173	22,77	Good	63,72	22,77	Good
16	296,19	20,58	Good	0,173	22,77	Good	63,72	22,77	Good
17	297,07	1,11	Good	0,172	22,77	Good	63,43	15,30	Good
18	297,07	1,11	Good	0,172	22,77	Good	63,43	15,30	Good
19	297,07	20,58	Good	0,173	22,77	Good	63,57	22,77	Good
20	297,07	19,82	Good	0,173	22,77	Good	63,57	22,77	Good
21	296,48	19,82	Good	0,173	13,97	Good	63,57	22,77	Good
22	297,36	19,82	Good	0,172	22,77	Good	63,43	15,30	Good
23	296,19	20,58	Good	0,173	13,97	Good	63,43	15,30	Good
24	296,78	33,71	Good	0,173	13,97	Good	63,57	22,77	Good
25	295,02	33,71	Good	0,173	22,77	Good	63,57	22,77	Good
26	295,90	6,47	Good	0,173	22,77	Good	63,43	15,30	Good
27	295,02	20,58	Good	0,172	22,77	Good	63,43	15,30	Good
28	296,78	33,71	Good	0,172	22,77	Good	63,13	30,51	Good
29	297,36	33,71	Good	0,173	22,77	Good	63,43	15,30	Good
30	296,78	19,82	Good	0,173	22,77	Good	63,13	30,51	Good
31	297,36	20,58	Good	0,173	22,77	Good	63,43	15,30	Good
32	297,36	20,58	Good	0,172	22,77	Good	62,99	30,51	Good
33	296,48	19,82	Good	0,172	22,77	Good	63,43	15,30	Good
34	297,36	33,71	Good	0,173	13,97	Good	63,43	15,30	Good
35	296,19	33,71	Good	0,173	13,97	Good	63,13	30,51	Good

Tabela Z5.5 Zestawienie danych potrzebnych do oceny próbek w przypadku pracy bloku w stanie ustalonym (Wariant I) dla parametrów zależnych

Numer próbki	Temp. skroplin z wymiennika XN2			Temp. pary w upuście 6			Ciśnienie pary w upuście 6			Temp. pary w upuście 4		
	Wartość	Częstość	Ocena	Wartość	Częstość	Ocena	Wartość	Częstość	Ocena	Wartość	Częstość	Ocena
	[C]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]	[MPa]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]
1	99,02	8,47	Good	199,51	36,56	Good	0,0362	18,46	Good	376,76	38,36	Good
2	99,02	8,47	Good	196,88	2,00	Susp.	0,0360	14,76	Good	376,76	38,36	Good
3	99,02	8,47	Good	199,22	17,92	Good	0,0360	14,76	Good	374,71	11,59	Good
4	99,17	2,97	Susp.	198,05	18,26	Good	0,0364	18,46	Good	376,76	38,36	Good
5	98,88	29,10	Good	199,51	36,56	Good	0,0360	14,76	Good	377,34	38,36	Good
6	98,88	29,10	Good	198,63	18,26	Good	0,0360	14,76	Good	376,76	38,36	Good
7	98,58	18,28	Good	200,10	36,56	Good	0,0360	14,76	Good	376,76	38,36	Good
8	98,58	18,28	Good	197,75	8,92	Good	0,0360	14,76	Good	377,34	38,36	Good
9	98,44	32,91	Good	199,51	36,56	Good	0,0362	18,46	Good	376,17	32,23	Good
10	98,73	29,10	Good	198,05	18,26	Good	0,0362	18,46	Good	376,17	32,23	Good
11	98,73	29,10	Good	199,80	36,56	Good	0,0360	14,76	Good	375,59	11,15	Good
12	98,58	18,28	Good	198,93	17,92	Good	0,0360	14,76	Good	376,46	32,23	Good
13	98,58	18,28	Good	199,80	36,56	Good	0,0357	28,48	Good	375,29	11,15	Good
14	98,58	18,28	Good	198,93	17,92	Good	0,0357	28,48	Good	375,88	32,23	Good
15	98,88	29,10	Good	200,39	15,80	Good	0,0357	28,48	Good	377,05	38,36	Good
16	98,44	32,91	Good	199,51	36,56	Good	0,0359	14,76	Good	376,17	32,23	Good
17	98,44	32,91	Good	198,63	18,26	Good	0,0355	28,48	Good	374,71	11,59	Good
18	98,44	32,91	Good	198,34	18,26	Good	0,0355	28,48	Good	374,41	11,59	Good
19	98,44	32,91	Good	199,22	17,92	Good	0,0355	28,48	Good	376,46	32,23	Good
20	98,73	29,10	Good	198,34	18,26	Good	0,0357	28,48	Good	375,59	11,15	Good
21	98,73	29,10	Good	199,80	36,56	Good	0,0357	28,48	Good	376,46	32,23	Good
22	98,88	29,10	Good	198,93	17,92	Good	0,0355	28,48	Good	375,29	11,15	Good
23	98,88	29,10	Good	199,80	36,56	Good	0,0355	28,48	Good	375,59	11,15	Good
24	98,58	18,28	Good	200,39	15,80	Good	0,0359	14,76	Good	377,34	38,36	Good
25	98,29	32,91	Good	198,93	17,92	Good	0,0359	14,76	Good	376,76	38,36	Good
26	98,29	32,91	Good	200,39	15,80	Good	0,0357	28,48	Good	377,64	9,27	Good
27	98,44	32,91	Good	199,22	17,92	Good	0,0357	28,48	Good	376,76	38,36	Good
28	98,44	32,91	Good	198,34	18,26	Good	0,0355	28,48	Good	376,17	32,23	Good
29	98,29	32,91	Good	199,22	17,92	Good	0,0355	28,48	Good	377,05	38,36	Good
30	98,29	32,91	Good	197,75	8,92	Good	0,0357	28,48	Good	375,29	11,15	Good
31	98,58	18,28	Good	198,63	18,26	Good	0,0357	28,48	Good	377,05	38,36	Good
32	98,58	18,28	Good	199,80	36,56	Good	0,0355	28,48	Good	376,17	32,23	Good
33	98,73	29,10	Good	199,51	36,56	Good	0,0355	28,48	Good	376,76	38,36	Good
34	98,73	29,10	Good	198,05	18,26	Good	0,0359	14,76	Good	375,29	11,15	Good
35	98,73	29,10	Good	199,51	36,56	Good	0,0359	14,76	Good	374,41	11,59	Good

# ZAŁĄCZNIK 6

Stabelaryzowane wyniki symulacji dla Wariantu II

Tabela Z6.1 Zestawienie danych potrzebnych do oceny próbek w przypadku pracy bloku w stanie ustalonym, w którym wystąpiło nagle zakłócenie (Wariant II) dla parametrów niezależnych

Numer próbki	Moc			Temperatura pary świeżej			Ciśnienie pary świeżej			Temperatura pary przegrzanej		
	Wart.	Częst.	Ocena	Wart.	Częst.	Ocena	Wart.	Częst.	Ocena	Wart.	Częst.	Ocena
	[MW]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]	[MPa]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]
1	190,43	26,2	Good	534,96	17,60	Good	12,49	20,70	Good	537,60	28,60	Good
2	190,43	26,2	Good	534,96	17,60	Good	12,51	20,70	Susp.	534,67	12,00	Good
3	190,19	37,8	Good	534,96	17,60	Good	12,51	20,70	Susp.	535,55	21,80	Good
4	190,19	37,8	Good	534,38	6,50	Good	12,49	20,70	Good	537,01	28,50	Good
5	190,19	37,8	Good	534,38	6,50	Good	12,49	20,70	Good	537,01	28,50	Good
6	190,06	37,8	Good	534,08	6,50	Good	12,50	20,70	Good	538,18	28,60	Good
7	190,55	26,2	Good	534,08	6,50	Good	12,50	20,70	Good	534,08	12,00	Good
...												
201	182,13	4,3	Bad	548,73	0,20	Bad	12,18	1,90	Bad	539,65	5,30	Susp.
202	181,40	4,3	Bad	549,61	0,20	Bad	12,23	3,20	Bad	537,30	28,50	Good
203	183,59	4,3	Bad	550,49	0,20	Bad	12,28	5,20	Susp.	538,77	5,30	Good
204	186,52	0,5	Bad	551,66	0,30	Bad	12,30	5,20	Susp.	537,30	28,50	Good
205	189,09	1,5	Bad	551,66	0,30	Bad	12,30	5,20	Susp.	540,53	0,90	Bad
206	191,04	0,7	Bad	552,25	0,50	Bad	12,33	5,20	Susp.	539,94	5,30	Susp.
207	194,34	0,1	Bad	552,25	0,50	Bad	12,33	5,20	Susp.	537,60	28,60	Good
208	196,41	0,1	Bad	552,25	0,50	Bad	12,30	5,20	Susp.	541,41	0,30	Bad
209	197,27	0,1	Bad	551,95	0,50	Bad	12,30	5,20	Susp.	540,53	0,90	Bad
210	196,78	0,1	Bad	551,95	0,50	Bad	12,28	5,20	Susp.	541,70	0,30	Bad
211	195,19	0,2	Bad	551,37	0,30	Bad	12,22	3,20	Bad	539,06	5,30	Susp.
212	195,19	0,2	Bad	550,49	0,20	Bad	12,18	1,90	Bad	540,82	0,90	Bad
213	193,24	0,2	Bad	548,44	0,20	Bad	12,16	1,90	Bad	541,70	0,30	Bad
214	191,41	0,7	Bad	546,97	0,20	Bad	12,12	1,20	Bad	540,82	0,90	Bad
215	187,50	0,4	Bad	546,09	0,20	Bad	12,07	1,20	Bad	540,82	0,90	Bad
216	184,57	4,3	Bad	543,46	0,20	Bad	12,07	1,20	Bad	539,94	5,30	Susp.
217	180,66	4,3	Bad	541,99	1,20	Bad	12,07	1,20	Bad	538,48	28,60	Good
...												
875	190,19	37,8	Good	535,25	17,60	Good	12,44	33,90	Good	537,30	28,50	Good
876	190,19	37,8	Good	534,96	17,60	Good	12,40	19,20	Good	537,30	28,50	Good
877	190,43	26,2	Good	534,96	17,60	Good	12,40	19,20	Good	536,13	21,80	Good
878	190,19	37,8	Good	534,67	17,60	Good	12,38	19,20	Good	536,72	28,50	Good
879	190,55	26,2	Good	534,67	17,60	Good	12,38	19,20	Good	535,25	21,80	Good
880	190,67	10,1	Good	534,67	17,60	Good	12,35	19,20	Susp.	534,38	12,00	Good
881	190,19	37,8	Good	534,96	17,60	Good	12,35	19,20	Susp.	537,01	28,50	Good
882	190,19	37,8	Good	534,96	17,60	Good	12,37	19,20	Good	532,91	2,50	Susp.
883	189,94	10,4	Good	535,25	17,60	Good	12,37	19,20	Good	534,96	12,00	Good

Tabela Z6.2 Zestawienie danych potrzebnych do oceny próbek w przypadku pracy bloku w stanie ustalonym, w którym wystąpiło nagle zakłócenie (Wariant II) dla parametrów zależnych

Numer próbki	Temp. kondensatu na wylocie z XN4			Temp kondensatu na wlocie do wymiennika XN4/Temp. kondensatu na wylocie z wymiennika XN3			Temp. skroplin z wymiennika XN4		
	Wartość [C]	Częstość [%]	Ocena [-]	Wartość [C]	Częstość [%]	Ocena [-]	Wartość [C]	Częstość [%]	Ocena [-]
1	158,20	21,50	Good	130,52	15,90	Good	143,41	34,30	Susp.
2	158,20	21,50	Good	130,66	54,90	Good	143,41	34,30	Susp.
3	158,06	31,50	Good	130,66	54,90	Good	143,26	20,00	Good
4	158,35	25,80	Susp.	130,66	54,90	Good	143,26	20,00	Good
5	158,35	25,80	Susp.	130,52	15,90	Good	143,41	34,30	Susp.
6	157,91	11,60	Good	130,52	15,90	Good	143,41	34,30	Susp.
7	158,20	21,50	Good	130,52	15,90	Good	143,12	6,00	Good
...									
201	158,06	31,50	Good	131,10	0,30	Bad	143,12	6,00	Good
202	158,64	2,10	Bad	131,10	0,30	Bad	143,12	6,00	Good
203	158,35	25,80	Susp.	130,81	54,90	Susp.	143,41	34,30	Susp.
204	157,76	11,60	Good	130,22	4,50	Good	143,41	34,30	Susp.
205	158,06	31,50	Good	129,93	0,70	Good	143,41	34,30	Susp.
206	157,91	11,60	Good	129,93	0,70	Good	143,12	6,00	Good
207	157,91	11,60	Good	130,08	4,50	Good	143,41	34,30	Susp.
208	157,91	11,60	Good	130,37	12,70	Good	142,82	1,20	Good
209	158,06	31,50	Good	130,66	54,90	Good	143,26	20,00	Good
210	158,35	25,80	Susp.	130,96	4,70	Bad	142,82	1,20	Good
211	158,35	25,80	Susp.	131,40	0,40	Bad	143,26	20,00	Good
212	158,64	2,10	Bad	130,96	4,70	Bad	143,26	20,00	Good
213	158,64	2,10	Bad	131,54	0,50	Bad	143,55	21,20	Susp.
214	158,94	0,30	Bad	131,54	0,50	Bad	143,55	21,20	Susp.
215	158,94	0,30	Bad	131,54	0,50	Bad	143,70	7,80	Susp.
216	158,50	25,80	Susp.	130,96	4,70	Bad	143,70	7,80	Susp.
217	158,50	25,80	Susp.	130,96	4,70	Bad	143,70	7,80	Susp.
...									
875	158,06	31,50	Good	130,37	12,70	Good	143,26	20,00	Good
876	157,76	11,60	Good	130,81	54,90	Susp.	143,41	34,30	Susp.
877	158,20	21,50	Good	130,81	54,90	Susp.	143,12	6,00	Good
878	158,20	21,50	Good	130,81	54,90	Susp.	143,41	34,30	Susp.
879	157,91	11,60	Good	130,52	15,90	Good	143,41	34,30	Susp.
880	158,20	21,50	Good	130,52	15,90	Good	143,12	6,00	Good
881	158,20	21,50	Good	130,81	54,90	Susp.	143,12	6,00	Good
882	158,35	25,80	Susp.	130,52	15,90	Good	143,41	34,30	Susp.
883	158,06	31,50	Good	130,96	4,70	Bad	143,12	6,00	Good



Tabela Z6.3 Zestawienie danych potrzebnych do oceny próbek w przypadku pracy bloku w stanie ustalonym, w którym wystąpiło nagle zakłócenie (Wariant II) dla parametrów zależnych

Numer próbki	Ciśnienie pary w upuście 4			Temp kondensatu na wlocie do wymiennika XN2			Temp. skroplin z wymiennika XN2		
	Wartość	Częstość	Ocena	Wartość	Częstość	Ocena	Wartość	Częstość	Ocena
	[MPa]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]
1	0,3975	4,60	Bad	64,75	0,70	Good	99,17	18,10	Good
2	0,3970	38,50	Suspect	64,74609	7,00	Suspect	99,17	18,10	Good
3	0,3970	38,50	Suspect	65,04	7,00	Suspect	99,17	18,10	Good
4	0,3970	38,50	Suspect	65,04	50,20	Suspect	99,61	42,20	Suspect
5	0,3975	4,60	Bad	65,19	50,20	Suspect	99,32	18,10	Good
6	0,3975	4,60	Bad	65,19	50,20	Suspect	99,61	42,20	Suspect
7	0,3970	38,50	Suspect	64,89	50,20	Suspect	99,61	42,20	Suspect
...									
201	0,3765	0,30	Bad	66,06	1,10	Bad	100,34	0,00	Bad
202	0,3730	3,00	Bad	65,63	2,10	Bad	100,63	0,00	Bad
203	0,3750	0,10	Bad	65,63	1,10	Bad	100,34	0,00	Bad
204	0,3818	0,10	Bad	65,48	1,10	Bad	100,34	0,00	Bad
205	0,3901	0,40	Suspect	65,19	6,90	Suspect	99,90	8,60	Suspect
206	0,3945	10,30	Suspect	65,19	50,20	Suspect	99,32	18,10	Good
207	0,4019	0,30	Bad	65,19	50,20	Suspect	99,61	42,20	Suspect
208	0,4106	2,20	Bad	64,89	50,20	Suspect	99,32	18,10	Good
209	0,4131	0,00	Bad	65,19	14,50	Suspect	99,32	18,10	Good
210	0,4121	0,00	Bad	64,89	50,20	Suspect	99,61	42,20	Suspect
211	0,4106	2,20	Bad	65,33	14,50	Suspect	99,61	42,20	Suspect
212	0,4092	0,10	Bad	65,33	14,70	Suspect	99,76	42,20	Suspect
213	0,4072	0,20	Bad	65,48	14,70	Suspect	99,76	42,20	Suspect
214	0,3989	1,00	Bad	65,48	6,90	Suspect	100,05	5,70	Suspect
215	0,3936	10,30	Suspect	65,48	6,90	Suspect	100,05	5,70	Suspect
216	0,3872	0,80	Good	65,63	6,90	Suspect	100,20	5,70	Suspect
217	0,3770	0,20	Bad	65,63	1,10	Bad	100,20	5,70	Suspect
...									
875	0,3950	32,70	Suspect	65,33	50,20	Suspect	99,46	17,60	Good
876	0,3950	32,70	Suspect	65,33	14,70	Suspect	99,32	18,10	Good
877	0,3950	32,70	Suspect	65,48	14,70	Suspect	99,76	42,20	Suspect
878	0,3960	38,50	Suspect	65,19	6,90	Suspect	99,76	42,20	Suspect
879	0,3960	38,50	Suspect	65,48	50,20	Suspect	99,90	8,60	Suspect
880	0,3965	38,50	Suspect	65,48	6,90	Suspect	99,90	8,60	Suspect
881	0,3965	38,50	Suspect	65,19	6,90	Suspect	99,90	8,60	Suspect
882	0,3960	38,50	Suspect	65,19	50,20	Suspect	99,76	42,20	Suspect
883	0,3960	38,50	Suspect	65,33	50,20	Suspect	99,76	42,20	Suspect

Tabela Z6.4 Zestawienie danych potrzebnych do oceny próbek w przypadku pracy bloku w stanie ustalonym, w którym wystąpiło nagle zakłócenie (Wariant II) dla parametrów zależnych

Numer próbki	Temp. pary w upuście 6			Ciśnienie pary w upuście 6			Temp. kondensatu na wlocie do wymiennika XN3/Temp. kondensatu na wylocie z wymiennika XN2		
	Wartość	Częstość	Ocena	Wartość	Częstość	Ocena	Wartość	Częstość	Ocena
	[C]	[%]	[-]	[MPa]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]
1	200,10	37,20	Good	0,0389	36,00	Suspect	104,15	28,20	Good
2	198,05	19,10	Good	0,0389	36,00	Suspect	104,44	36,70	Suspect
3	199,51	37,20	Good	0,0393	14,40	Suspect	104,44	36,70	Suspect
4	199,51	37,20	Good	0,0393	14,40	Suspect	104,15	28,20	Good
5	198,34	19,10	Good	0,0391	36,00	Suspect	104,15	28,20	Good
6	200,10	37,20	Good	0,0395	14,40	Suspect	104,44	36,70	Suspect
7	198,05	19,10	Good	0,0391	36,00	Suspect	104,44	36,70	Suspect
...									
201	200,10	37,20	Good	0,0354	0,40	Suspect	104,88	0,90	Bad
202	200,10	37,20	Good	0,0340	0,20	Bad	104,88	0,90	Bad
203	199,22	17,70	Good	0,0338	0,20	Bad	104,59	18,40	Suspect
204	200,10	37,20	Good	0,0352	0,30	Suspect	104,59	18,40	Suspect
205	198,05	19,10	Good	0,0364	1,10	Good	104,44	36,70	Suspect
206	199,80	37,20	Good	0,0388	33,20	Suspect	104,44	36,70	Suspect
207	198,93	17,70	Good	0,0403	0,20	Bad	104,44	36,70	Suspect
208	198,93	17,70	Good	0,0432	0,00	Bad	104,30	28,20	Good
209	199,51	37,20	Good	0,0437	0,00	Bad	104,59	18,40	Suspect
210	197,75	9,70	Good	0,0437	0,00	Bad	104,59	18,40	Suspect
211	198,93	17,70	Good	0,0432	0,00	Bad	104,74	7,10	Suspect
212	200,98	11,80	Good	0,0425	0,00	Bad	104,74	7,10	Suspect
213	198,63	19,10	Good	0,0420	0,00	Bad	104,88	0,90	Bad
214	199,22	17,70	Good	0,0408	0,40	Bad	104,88	0,90	Bad
215	200,98	11,80	Good	0,0377	1,20	Bad	104,59	18,40	Suspect
216	200,39	11,80	Good	0,0365	1,10	Good	104,88	0,90	Bad
217	201,27	1,10	Suspect	0,0340	0,20	Bad	104,44	36,70	Suspect
...									
875	197,46	9,70	Good	0,0388	33,20	Suspect	104,15	28,20	Good
876	200,39	11,80	Good	0,0389	36,00	Suspect	104,59	18,40	Suspect
877	198,93	17,70	Good	0,0389	36,00	Suspect	104,30	28,20	Good
878	199,80	37,20	Good	0,0391	36,00	Suspect	104,59	18,40	Suspect
879	199,22	17,70	Good	0,0391	36,00	Suspect	104,59	18,40	Suspect
880	198,05	19,10	Good	0,0391	36,00	Suspect	104,59	18,40	Suspect
881	198,93	17,70	Good	0,0391	36,00	Suspect	104,74	7,10	Suspect
882	198,05	19,10	Good	0,0391	36,00	Suspect	104,74	7,10	Suspect
883	198,34	19,10	Good	0,0393	14,40	Suspect	104,59	18,40	Suspect

Tabela Z6.5 Zestawienie danych potrzebnych do oceny próbek w przypadku pracy bloku w stanie ustalonym, w którym wystąpiło nagle zakłócenie (Wariant II) dla parametrów zależnych

Numer próbki	Temp. skroplin z wymiennika XN3			Temp. pary w upuście 5			Ciśnienie pary w upuście 5			Temp. pary w upuście 4		
	Wart.	Częst.	Ocena	Wart.	Częst.	Ocena	Wart.	Częst.	Ocena	Wart.	Częst.	Ocena
	[C]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]	[MPa]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]
1	109,86	6,00	Good	296,78	32,80	Good	0,1796	46,40	Susp.	376,76	21,60	Good
2	109,42	15,00	Good	296,78	32,80	Good	0,1796	46,40	Susp.	376,76	21,60	Good
3	109,86	15,00	Good	294,73	7,40	Good	0,1799	10,20	Susp.	376,17	39,30	Good
4	110,16	15,00	Susp.	294,43	7,40	Good	0,1793	46,40	Susp.	374,12	9,10	Good
5	110,16	10,50	Susp.	295,61	21,80	Good	0,1799	10,20	Susp.	374,41	15,00	Good
6	110,30	10,50	Susp.	294,73	7,40	Good	0,1799	10,20	Susp.	376,17	39,30	Good
7	110,01	15,00	Susp.	296,19	21,40	Good	0,1796	46,40	Susp.	375,29	13,20	Good
...												
201	110,01	15,00	Susp.	297,36	6,60	Good	0,1693	0,30	Bad	375,88	39,30	Good
202	110,01	15,00	Susp.	296,19	21,40	Good	0,1673	0,20	Bad	373,83	9,10	Good
203	110,16	7,10	Susp.	296,48	32,80	Good	0,1682	0,30	Bad	376,76	21,60	Good
204	109,86	7,10	Good	298,24	2,30	Susp.	0,1714	0,20	Bad	376,76	21,60	Good
205	109,57	15,00	Good	297,95	2,30	Susp.	0,1761	0,60	Susp.	376,76	21,60	Good
206	109,57	15,00	Good	297,95	2,30	Susp.	0,1796	46,40	Susp.	377,05	21,60	Good
207	109,42	15,00	Good	297,95	2,30	Suspec t	0,1825	3,40	Bad	375,29	13,20	Good
208	109,42	15,00	Good	296,48	32,80	Good	0,1875	0,00	Bad	377,05	21,60	Good
209	109,42	15,00	Good	297,66	6,60	Good	0,1890	0,00	Bad	376,46	39,30	Good
210	109,28	10,50	Good	298,24	2,30	Susp.	0,1890	0,00	Bad	377,05	21,60	Good
211	109,28	10,50	Good	299,12	0,70	Bad	0,1872	0,00	Bad	376,17	39,30	Good
212	109,57	6,00	Good	298,54	2,30	Susp.	0,1863	0,00	Bad	377,05	21,60	Good
213	109,86	15,00	Good	298,54	2,30	Susp.	0,1849	0,00	Bad	375,29	13,20	Good
214	110,16	6,80	Susp.	297,95	2,30	Susp.	0,1811	3,00	Bad	374,71	15,00	Good
215	110,16	6,80	Susp.	298,83	0,70	Bad	0,1781	26,10	Susp.	377,64	1,30	Susp.
216	110,45	10,50	Susp.	297,95	2,30	Susp.	0,1743	0,60	Good	377,05	21,60	Good
217	110,74	10,50	Susp.	296,78	32,80	Good	0,1688	0,30	Bad	377,05	21,60	Good
...												
875	109,86	11,30	Good	295,90	21,40	Good	0,1787	26,10	Susp.	373,83	9,10	Good
876	110,16	9,40	Susp.	296,78	32,80	Good	0,1790	46,40	Susp.	377,05	21,60	Good
877	110,16	9,40	Susp.	296,78	32,80	Good	0,1790	46,40	Susp.	375,00	15,00	Good
878	110,01	13,90	Susp.	296,78	32,80	Good	0,1793	46,40	Susp.t	376,46	39,30	Good
879	110,01	13,90	Susp.	296,78	32,80	Good	0,1793	46,40	Susp.	374,12	9,10	Good
880	110,30	7,40	Susp.	295,61	21,80	Good	0,1796	46,40	Susp.	376,17	39,30	Good
881	110,01	13,90	Susp.	296,19	21,40	Good	0,1796	46,40	Susp.	376,76	21,60	Good
882	110,01	13,90	Susp.	295,31	21,80	Good	0,1796	46,40	Susp.	375,59	13,20	Good
883	110,16	9,40	Susp.	295,90	21,40	Good	0,1793	46,40	Susp.	377,05	21,60	Good

# ZAŁĄCZNIK 7

Stabelaryzowane wyniki symulacji dla Wariantu III

Tabela Z7.1 Zestawienie danych potrzebnych do oceny próbek pracy systemu w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III) dla parametrów niezależnych

Numer próbki	Moc			Temperatura pary świeżej			Ciśnienie pary świeżej			Temperatura pary przegrzanej		
	Wart.	Częst.	Ocena	Wart.	Częst.	Ocena	Wart.	Częst.	Ocena	Wart.	Częst.	Ocena
	[MW]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]	[MPa]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]
...												
9	190,19	13,75	Good	529,69	11,33	Susp.	12,65	6,67	Good	537,30	17,92	Good
10	190,55	10,00	Good	529,10	14,50	Susp.	12,65	6,67	Good	539,06	6,58	Suspec
11	190,19	13,75	Good	529,10	14,50	Susp.	12,66	6,67	Susp.	538,18	19,42	Good
12	190,67	10,00	Good	529,10	14,50	Susp.	12,66	6,67	Susp.	537,30	17,92	Good
13	190,31	10,58	Good	528,81	14,50	Susp.	12,65	6,67	Good	537,60	17,92	Good
14	189,94	13,75	Good	528,81	14,50	Susp.	12,65	6,67	Good	538,77	6,58	Good
15	190,43	10,58	Good	528,52	21,75	Susp.	12,65	6,67	Good	538,77	6,58	Good
16	190,80	10,00	Susp.	528,52	21,75	Susp.	12,66	6,67	Susp.	538,18	19,42	Good
...												
70	182,62	7,75	Susp.	528,22	21,75	Susp.	12,50	32,08	Good	536,13	19,08	Good
71	182,62	7,75	Susp.	528,22	21,75	Susp.	12,50	32,08	Good	536,13	19,08	Good
72	182,13	3,67	Bad	527,93	21,75	Susp.	12,49	32,08	Good	538,18	19,42	Good
73	182,50	12,50	Susp.	527,93	21,75	Susp.	12,49	32,08	Good	537,60	17,92	Good
74	181,03	0,17	Bad	527,64	7,83	Susp.	12,51	16,67	Good	536,43	19,08	Good
75	181,03	0,17	Bad	527,64	7,83	Susp.	12,54	16,67	Good	534,08	3,25	Suspec
76	180,42	0,17	Bad	527,64	7,83	Susp.	12,54	16,67	Good	538,18	19,42	Good
77	180,91	0,17	Bad	527,93	21,75	Susp.	12,55	16,67	Good	538,18	19,42	Good
78	180,18	0,17	Bad	528,22	21,75	Susp.	12,57	10,50	Good	536,43	19,08	Good
79	179,93	0,17	Bad	528,22	21,75	Susp.	12,57	10,50	Good	537,60	17,92	Good
80	178,71	0,42	Bad	527,64	7,83	Susp.	12,57	10,50	Good	538,18	19,42	Good
81	179,08	0,08	Bad	527,64	7,83	Susp.	12,56	16,67	Good	537,30	17,92	Good
82	178,59	0,42	Bad	527,64	7,83	Susp.	12,56	16,67	Good	536,13	19,08	Good
83	178,34	0,25	Bad	527,34	7,83	Susp.	12,57	10,50	Good	535,25	6,58	Good
84	177,98	0,08	Bad	527,34	7,83	Susp.	12,55	16,67	Good	537,30	17,92	Good
85	177,73	0,17	Bad	527,05	7,25	Susp.	12,55	16,67	Good	537,89	19,42	Good
86	177,37	0,17	Bad	527,05	7,25	Susp.	12,52	16,67	Good	534,38	8,50	Good
87	177,12	0,08	Bad	526,46	7,25	Susp.	12,50	32,08	Good	535,84	19,08	Good
88	176,51	0,17	Bad	526,46	7,25	Susp.	12,50	32,08	Good	536,72	14,17	Good
89	176,03	0,17	Bad	526,17	0,67	Bad	12,50	32,08	Good	537,89	19,42	Good
90	176,03	0,17	Bad	526,17	0,67	Bad	12,49	32,08	Good	534,96	8,50	Good
91	176,15	0,25	Bad	525,59	0,67	Bad	12,46	32,08	Good	537,30	17,92	Good
92	175,78	3,42	Bad	525,59	0,67	Bad	12,46	32,08	Good	537,89	19,42	Good
93	175,29	7,75	Susp.	525,29	0,67	Bad	12,48	32,08	Good	534,96	8,50	Good
94	174,68	3,67	Bad	525,29	0,67	Bad	12,48	32,08	Good	534,96	8,50	Good
95	174,68	3,67	Bad	525,29	0,67	Bad	12,46	32,08	Good	536,72	14,17	Good
...												
1173	190,06	13,75	Good	528,22	21,75	Susp.	12,35	9,58	Good	538,48	19,42	Good
1174	190,43	10,58	Good	528,52	21,75	Susp.	12,34	9,58	Good	538,48	19,42	Good

1175	190,19	13,75	Good	528,52	21,75	Susp.	12,34	9,58	Good	537,89	19,42	Good
1176	190,80	10,00	Susp.	528,81	14,50	Susp.	12,34	9,58	Good	538,18	19,42	Good
1177	190,31	10,58	Good	528,81	14,50	Susp.	12,34	9,58	Good	536,72	14,17	Good
1178	190,31	10,58	Good	528,81	14,50	Susp.	12,32	9,58	Good	536,72	14,17	Good
1179	190,06	13,75	Good	528,52	21,75	Susp.	12,32	9,58	Good	537,89	19,42	Good
1180	190,43	10,58	Good	528,52	21,75	Susp.	12,34	9,58	Good	537,60	17,92	Good
1181	190,67	10,00	Good	529,10	14,50	Susp.	12,32	9,58	Good	538,77	6,58	Good
1182	189,82	1,67	Bad	529,10	14,50	Susp.	12,32	9,58	Good	537,30	17,92	Good
1183	189,82	1,67	Bad	529,39	11,33	Susp.	12,33	9,58	Good	538,48	19,42	Good
1184	190,31	10,58	Good	529,39	11,33	Susp.	12,30	4,58	Susp.	537,60	17,92	Good
1185	190,31	10,58	Good	529,69	11,33	Susp.	12,30	4,58	Susp.	536,43	19,08	Good
1186	190,43	10,58	Good	529,69	11,33	Susp.	12,32	9,58	Good	536,13	19,08	Good
1187	190,06	13,75	Good	529,98	11,33	Susp.	12,34	9,58	Good	538,77	6,58	Good
1188	190,55	10,00	Good	529,98	11,33	Susp.	12,34	9,58	Good	538,48	19,42	Good
1189	190,19	13,75	Good	529,98	11,33	Susp.	12,34	9,58	Good	536,13	19,08	Good

Tabela Z7.2 Zestawienie danych potrzebnych do oceny próbek pracy systemu w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III) dla parametrów zależnych

Numer próbki	Temp. kondensatu na wlocie do wymiennika XN3/Temp. kondensatu na wlocie z wymiennika XN2			Temp. kroplin z wymiennika XN3			Temp. pary w upuście 5		
	Wartość	Częstość	Ocena	Wartość	Częstość	Ocena	Wartość	Częstość	Ocena
	[C]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]
...									
9	103,86	10,17	Good	109,13	11,92	Good	296,78	27,50	Good
10	103,42	20,33	Good	108,84	20,58	Good	295,02	23,92	Good
11	103,71	20,33	Good	108,84	20,58	Good	297,36	6,00	Good
12	103,71	20,33	Good	108,84	15,42	Good	297,36	6,00	Good
13	103,71	20,33	Good	108,98	15,42	Good	297,66	6,00	Good
14	103,86	20,33	Good	108,98	20,58	Good	297,66	6,00	Good
15	103,86	20,33	Good	109,13	20,58	Good	296,78	27,50	Good
16	103,56	10,17	Good	109,13	11,92	Good	297,36	6,00	Good
...									
70	102,98	20,33	Suspect	108,25	15,42	Suspect	296,19	23,75	Good
71	102,98	20,33	Suspect	108,25	20,58	Suspect	296,19	23,75	Good
72	102,69	20,33	Suspect	108,40	20,58	Suspect	295,61	23,92	Good
73	102,69	20,33	Suspect	108,40	15,42	Suspect	294,73	9,25	Good
74	102,69	20,33	Suspect	108,40	15,42	Suspect	296,48	27,50	Good
75	102,83	20,33	Suspect	108,25	20,58	Suspect	296,48	27,50	Good
76	102,54	20,33	Suspect	108,25	20,58	Suspect	296,48	27,50	Good
77	102,54	10,17	Suspect	108,40	11,92	Suspect	296,19	23,75	Good
78	102,69	20,33	Suspect	108,11	20,58	Suspect	296,78	27,50	Good
79	102,69	20,33	Suspect	108,11	20,58	Suspect	295,02	23,92	Good
80	102,69	20,33	Suspect	108,11	15,42	Suspect	296,19	23,75	Good

81	102,25	20,33	Suspect	107,81	15,42	Suspect	295,02	23,92	Good
82	102,25	20,33	Suspect	107,81	15,42	Suspect	295,61	23,92	Good
83	102,39	10,17	Suspect	107,96	10,67	Suspect	293,85	6,75	Good
84	102,10	20,33	Suspect	107,67	20,58	Suspect	296,78	27,50	Good
85	101,81	10,17	Suspect	107,67	11,92	Suspect	295,02	23,92	Good
86	101,81	10,17	Suspect	107,67	11,92	Suspect	295,31	23,92	Good
87	102,10	20,33	Suspect	107,81	15,42	Suspect	296,48	27,50	Good
88	102,10	20,33	Suspect	107,37	15,42	Suspect	296,78	27,50	Good
89	101,95	10,17	Suspect	107,37	11,92	Suspect	293,85	6,75	Good
90	101,95	10,17	Suspect	107,37	11,92	Suspect	296,19	23,75	Good
91	102,10	20,33	Suspect	107,08	15,42	Suspect	296,78	27,50	Good
92	102,10	20,33	Suspect	107,08	15,42	Suspect	295,61	23,92	Good
93	101,81	10,17	Suspect	107,08	10,67	Suspect	296,48	27,50	Good
94	101,81	20,33	Suspect	106,93	20,58	Suspect	295,90	23,75	Good
95	101,95	10,17	Suspect	106,93	11,92	Suspect	295,02	23,92	Good
...									
1173	103,13	4,42	Bad	108,98	11,92	Good	296,48	27,50	Good
1174	103,42	23,83	Good	108,98	11,92	Good	296,48	27,50	Good
1175	103,42	23,83	Good	108,98	11,92	Good	295,02	23,92	Good
1176	103,13	4,42	Bad	109,28	20,58	Good	293,85	6,75	Good
1177	103,13	4,42	Bad	109,28	20,58	Good	295,90	23,75	Good
1178	103,13	4,42	Bad	109,28	20,58	Good	295,90	23,75	Good
1179	103,27	23,83	Good	109,57	6,17	Good	295,90	23,75	Good
1180	103,27	23,83	Good	109,57	6,17	Good	295,61	23,92	Good
1181	103,27	23,83	Good	109,42	6,17	Good	295,61	23,92	Good
1182	103,27	23,83	Good	109,42	6,17	Good	295,61	23,92	Good
1183	103,27	23,83	Good	109,28	20,58	Good	295,02	23,92	Good
1184	103,42	23,83	Good	108,98	11,92	Good	296,19	23,75	Good
1185	103,42	23,83	Good	108,98	11,92	Good	295,02	23,92	Good
1186	103,42	23,83	Good	108,69	10,67	Suspect	296,78	27,50	Good
1187	103,27	23,83	Good	108,69	10,67	Suspect	295,90	23,75	Good
1188	103,27	23,83	Good	108,84	10,67	Good	296,48	27,50	Good
1189	102,98	4,42	Bad	108,84	10,67	Good	296,48	27,50	Good

Tabela Z7.3 Zestawienie danych potrzebnych do oceny próbek pracy systemu w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III) dla parametrów zależnych

Numer próbki	Ciśnienie pary w upuście 5			Temp. kondensatu na wylocie z XN4			Temp kondensatu na wlocie do wymiennika XN4/Temp. kondensatu na wylocie z wymiennika XN3		
	Wartość	Częstość	Ocena	Wartość	Częstość	Ocena	Wartość	Częstość	Ocena
	[MPa]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]
...									
9	0,1717	21,83	Suspect	157,62	6,17	Good	129,93	11,33	Good
10	0,1717	21,83	Suspect	157,62	6,17	Good	129,93	11,33	Good
11	0,1714	21,83	Suspect	157,47	16,17	Good	129,79	8,92	Good
12	0,1714	21,83	Suspect	157,18	12,08	Good	129,79	8,92	Good
13	0,1714	21,83	Suspect	157,47	16,17	Good	130,08	8,75	Good
14	0,1711	21,83	Suspect	157,47	16,17	Good	129,79	8,92	Good
15	0,1711	21,83	Suspect	157,62	6,17	Good	130,08	8,75	Good
16	0,1714	21,83	Suspect	157,62	6,17	Good	130,08	8,75	Good
...									
70	0,1597	4,58	Bad	156,59	0,42	Bad	128,76	13,33	Suspect
71	0,1597	4,58	Bad	156,30	14,00	Suspect	128,76	13,33	Suspect
72	0,1591	20,00	Suspect	156,30	14,00	Suspect	128,76	13,33	Suspect
73	0,1585	4,67	Bad	156,30	14,00	Suspect	128,61	13,33	Suspect
74	0,1579	4,67	Bad	156,45	0,67	Bad	128,91	4,25	Bad
75	0,1579	4,67	Bad	156,01	8,50	Suspect	128,91	4,25	Bad
76	0,1573	0,17	Bad	156,01	8,50	Suspect	128,61	13,33	Suspect
77	0,1564	0,17	Bad	156,01	8,50	Suspect	128,32	5,17	Suspect
78	0,1556	0,42	Bad	155,71	7,08	Suspect	128,32	5,17	Suspect
79	0,1556	0,42	Bad	155,71	7,08	Suspect	128,47	6,83	Suspect
80	0,1547	0,08	Bad	156,01	8,50	Suspect	128,47	6,83	Suspect
81	0,1541	0,42	Bad	155,57	7,08	Suspect	128,32	5,17	Suspect
82	0,1535	0,42	Bad	155,57	7,08	Suspect	128,32	5,17	Suspect
83	0,1535	0,42	Bad	155,42	0,75	Bad	128,32	5,17	Suspect
84	0,1529	0,33	Bad	155,42	0,75	Bad	128,03	0,58	Bad
85	0,1523	0,33	Bad	155,42	0,75	Bad	128,03	0,58	Bad
86	0,1518	0,25	Bad	155,57	7,08	Suspect	128,17	1,25	Bad
87	0,1518	0,25	Bad	155,13	1,42	Bad	128,17	1,25	Bad
88	0,1512	0,42	Bad	155,42	0,75	Bad	127,73	0,75	Bad
89	0,1503	0,42	Bad	155,42	0,75	Bad	127,73	0,75	Bad
90	0,1497	0,33	Bad	155,13	1,42	Bad	127,59	0,25	Bad
91	0,1497	0,33	Bad	155,13	1,42	Bad	127,59	0,25	Bad
92	0,1491	0,58	Bad	155,27	0,25	Bad	127,73	0,75	Bad
93	0,1491	0,58	Bad	154,98	1,42	Bad	127,29	4,17	Bad
94	0,1485	0,58	Bad	154,98	1,42	Bad	127,73	0,75	Bad
95	0,1474	1,75	Bad	155,27	0,25	Bad	127,44	2,00	Bad
...									
1173	0,1708	10,83	Suspect	157,62	6,17	Good	129,93	11,33	Good
1174	0,1708	10,83	Suspect	157,62	6,17	Good	129,49	2,75	Bad



1175	0,1708	10,83	Suspect	157,62	6,17	Good	129,49	2,75	Bad
1176	0,1702	10,83	Suspect	157,47	16,17	Good	129,79	8,92	Good
1177	0,1708	10,83	Suspect	157,47	16,17	Good	129,79	8,92	Good
1178	0,1708	10,83	Suspect	157,47	16,17	Good	129,79	8,92	Good
1179	0,1708	10,83	Suspect	157,47	16,17	Good	129,79	8,92	Good
1180	0,1711	21,83	Suspect	157,32	12,08	Good	129,93	11,33	Good
1181	0,1711	21,83	Suspect	156,88	1,08	Bad	129,93	11,33	Good
1182	0,1714	21,83	Suspect	157,47	16,17	Good	129,93	11,33	Good
1183	0,1714	21,83	Suspect	157,18	12,08	Good	129,93	11,33	Good
1184	0,1717	21,83	Suspect	157,47	16,17	Good	129,93	11,33	Good
1185	0,1717	21,83	Suspect	157,18	12,08	Good	129,93	11,33	Good
1186	0,1714	21,83	Suspect	157,18	12,08	Good	130,08	8,75	Good
1187	0,1714	21,83	Suspect	157,47	16,17	Good	129,64	5,00	Good
1188	0,1711	21,83	Suspect	157,47	16,17	Good	129,93	11,33	Good
1189	0,1711	21,83	Suspect	157,47	16,17	Good	129,93	11,33	Good

Tabela Z7.4 Zestawienie danych potrzebnych do oceny próbek pracy systemu w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III) dla parametrów zależnych

Numer próbki	Temp. skroplin z wymiennika XN4			Ciśnienie pary w upuście 4			Temp kondensatu na wlocie do wymiennika XN2		
	Wartość	Częstość	Ocena	Wartość	Częstość	Ocena	Wart.	Częst.	Ocena
	[C]	[%]	[-]	[MPa]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]
...									
9	142,68	13,50	Good	0,3828	29,92	Suspect	62,99	6,83	Good
10	142,82	12,33	Good	0,3828	29,92	Suspect	62,99	6,83	Good
11	142,53	10,58	Good	0,3828	29,92	Suspect	63,13	6,83	Good
12	142,53	10,58	Good	0,3833	29,92	Suspect	63,13	6,83	Good
13	142,82	12,33	Good	0,3833	29,92	Suspect	63,28	1,58	Good
14	142,82	12,33	Good	0,3823	29,92	Suspect	63,28	1,58	Good
15	142,82	12,33	Good	0,3823	29,92	Suspect	63,43	0,33	Good
16	142,82	12,33	Good	0,3833	29,92	Suspect	63,43	0,33	Good
...									
70	142,24	0,83	Bad	0,3628	7,75	Suspect	62,55	16,75	Suspect
71	142,24	0,83	Bad	0,3618	21,00	Suspect	62,70	16,75	Suspect
72	141,94	0,58	Bad	0,3608	21,00	Suspect	62,70	16,75	Suspect
73	141,50	9,83	Suspect	0,3594	0,25	Bad	62,55	16,75	Suspect
74	141,94	0,58	Bad	0,3594	0,25	Bad	62,55	16,75	Suspect
75	141,94	0,58	Bad	0,3579	0,33	Bad	62,84	10,00	Suspect
76	141,65	1,08	Bad	0,3569	0,33	Bad	62,84	10,00	Suspect
77	141,65	1,08	Bad	0,3560	0,42	Bad	62,70	16,75	Suspect
78	141,80	0,33	Bad	0,3560	0,42	Bad	62,70	16,75	Suspect
79	141,80	0,33	Bad	0,3545	0,42	Bad	62,40	7,75	Suspect
80	141,50	9,83	Suspect	0,3530	0,42	Bad	62,40	7,75	Suspect
81	141,50	9,83	Suspect	0,3530	0,42	Bad	62,40	7,75	Suspect

82	141,50	9,83	Suspect	0,3521	0,42	Bad	62,26	6,75	Suspect
83	141,50	9,83	Suspect	0,3511	0,25	Bad	62,26	6,75	Suspect
84	141,21	6,00	Suspect	0,3501	0,25	Bad	62,26	6,75	Suspect
85	141,21	6,00	Suspect	0,3486	0,50	Bad	61,96	13,17	Suspect
86	141,06	2,33	Bad	0,3486	0,50	Bad	62,26	6,75	Suspect
87	141,06	2,33	Bad	0,3472	0,33	Bad	62,26	6,75	Suspect
88	140,92	1,25	Bad	0,3462	0,33	Bad	61,96	13,17	Suspect
89	140,92	1,25	Bad	0,3462	0,33	Bad	62,26	6,75	Suspect
90	140,92	1,25	Bad	0,3452	0,25	Bad	62,26	6,75	Suspect
91	140,92	1,25	Bad	0,3438	0,42	Bad	62,26	6,75	Suspect
92	140,92	1,25	Bad	0,3438	0,42	Bad	62,11	13,17	Suspect
93	140,77	0,67	Bad	0,3423	0,42	Bad	62,11	13,17	Suspect
94	140,77	0,67	Bad	0,3408	0,92	Bad	61,96	13,17	Suspect
95	140,77	0,67	Bad	0,3408	0,92	Bad	61,96	13,17	Suspect
...									
1173	142,68	13,50	Good	0,3823	29,92	Suspect	62,26	6,75	Suspect
1174	142,68	13,50	Good	0,3828	29,92	Suspect	62,26	6,75	Suspect
1175	142,38	10,58	Suspect	0,3828	29,92	Suspect	62,55	16,75	Suspect
1176	142,82	12,33	Good	0,3823	29,92	Suspect	62,26	6,75	Suspect
1177	142,53	10,58	Good	0,3823	29,92	Suspect	62,26	6,75	Suspect
1178	142,53	10,58	Good	0,3823	29,92	Suspect	62,55	16,75	Suspect
1179	142,82	12,33	Good	0,3828	29,92	Suspect	62,55	16,75	Suspect
1180	142,53	10,58	Good	0,3828	29,92	Suspect	62,70	16,75	Suspect
1181	142,53	10,58	Good	0,3837	29,92	Suspect	62,70	16,75	Suspect
1182	142,38	10,58	Suspect	0,3828	29,92	Suspect	62,40	7,75	Suspect
1183	142,82	12,33	Good	0,3828	29,92	Suspect	62,11	13,17	Suspect
1184	142,53	10,58	Good	0,3833	29,92	Suspect	62,40	7,75	Suspect
1185	142,53	10,58	Good	0,3833	29,92	Suspect	62,40	7,75	Suspect
1186	142,82	12,33	Good	0,3828	29,92	Suspect	62,55	16,75	Suspect
1187	142,53	10,58	Good	0,3837	29,92	Suspect	62,55	16,75	Suspect
1188	142,53	10,58	Good	0,3828	29,92	Suspect	62,26	6,75	Suspect
1189	142,82	12,33	Good	0,3828	29,92	Suspect	62,26	6,75	Suspect

Tabela Z7.5 Zestawienie danych potrzebnych do oceny próbek pracy systemu w trakcie zmiany obciążenia bloku (Wariant III) dla parametrów zależnych

Numer próbki	Temp. skroplin z wymiennika XN2			Temp. pary w upuście 6			Ciśnienie pary w upuście 6			Temp. pary w upuście 4		
	Wart.	Częst.	Ocena	Wart.	Częst.	Ocena	Wart.	Częst.	Ocena	Wart.	Częst.	Ocena
	[C]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]	[MPa]	[%]	[-]	[C]	[%]	[-]
...												
9	98,88	7,67	Good	198,05	23,50	Good	0,0357	10,42	Good	376,17	35,92	Good
10	98,73	7,67	Good	200,39	2,00	Susp.	0,0359	10,42	Good	377,93	0,67	Susp.
11	98,73	7,67	Good	198,63	23,50	Good	0,0359	10,42	Good	377,05	5,25	Good
12	98,44	16,58	Good	199,51	28,58	Good	0,0359	10,42	Good	375,59	20,67	Good
13	98,44	16,58	Good	200,39	2,00	Susp.	0,0357	10,42	Good	376,46	35,92	Good
14	98,58	6,25	Good	198,93	24,67	Good	0,0357	10,42	Good	377,64	0,67	Susp.
15	98,58	6,25	Good	200,39	2,00	Susp.	0,0359	10,42	Good	378,22	0,67	Susp.
16	98,73	7,67	Good	197,75	13,17	Good	0,0359	10,42	Good	377,34	5,25	Good
...												
70	98,00	3,67	Bad	198,93	24,67	Good	0,0301	10,25	Susp.	376,17	35,92	Good
71	98,00	3,67	Bad	199,80	28,58	Good	0,0301	10,25	Susp.	377,05	5,25	Good
72	97,56	2,58	Bad	200,10	28,58	Good	0,0297	10,25	Susp.	376,17	35,92	Good
73	97,56	2,58	Bad	198,63	23,50	Good	0,0292	15,75	Susp.	376,17	35,92	Good
74	97,71	5,25	Susp.t	198,05	23,50	Good	0,0292	15,75	Susp.	374,12	14,42	Good
75	97,71	5,25	Susp.	197,75	13,17	Good	0,0292	15,75	Susp.	373,54	14,42	Susp.
76	97,41	10,25	Susp.	199,80	28,58	Good	0,0290	3,25	Bad	376,17	35,92	Good
77	97,85	5,25	Susp.	199,22	24,67	Good	0,0285	0,33	Bad	374,71	18,67	Good
78	97,85	5,25	Susp.	199,22	24,67	Good	0,0282	0,33	Bad	376,17	35,92	Good
79	97,85	5,25	Susp.	199,22	24,67	Good	0,0282	0,33	Bad	375,00	18,67	Good
80	97,71	5,25	Susp.	199,51	28,58	Good	0,0278	0,17	Bad	377,05	5,25	Good
81	97,71	5,25	Susp.	198,93	24,67	Good	0,0275	0,33	Bad	376,46	35,92	Good
82	97,41	10,25	Susp.	198,05	23,50	Good	0,0271	0,33	Bad	375,59	20,67	Good
83	97,41	10,25	Susp.	199,22	24,67	Good	0,0268	0,25	Bad	376,46	35,92	Good
84	97,56	2,58	Bad	197,75	13,17	Good	0,0268	0,25	Bad	376,46	35,92	Good
85	97,27	10,25	Susp.	198,63	23,50	Good	0,0265	0,50	Bad	375,29	20,67	Good
86	96,97	6,33	Susp.	199,22	24,67	Good	0,0265	0,50	Bad	376,76	5,25	Good
87	96,97	6,33	Susp.	199,51	28,58	Good	0,0261	0,50	Bad	376,17	35,92	Good
88	97,27	10,25	Susp.	197,75	13,17	Good	0,0258	0,33	Bad	374,41	18,67	Good
89	97,27	10,25	Susp.	199,22	24,67	Good	0,0258	0,33	Bad	377,05	5,25	Good
90	97,27	10,25	Susp.	199,22	24,67	Good	0,0254	0,25	Bad	374,12	14,42	Good
91	96,83	6,33	Susp.	197,75	13,17	Good	0,0249	0,58	Bad	376,17	35,92	Good
92	97,12	4,25	Bad	197,75	13,17	Good	0,0246	0,58	Bad	376,17	35,92	Good
93	96,83	6,33	Susp.	199,22	24,67	Good	0,0246	0,58	Bad	375,29	20,67	Good
94	96,83	6,33	Susp.	198,34	23,50	Good	0,0246	0,58	Bad	376,46	35,92	Good
95	96,83	6,33	Susp.	199,22	24,67	Good	0,0244	1,50	Bad	377,05	5,25	Good
...												
1173	98,14	5,92	Good	198,93	24,67	Good	0,0354	22,25	Good	376,17	35,92	Good
1174	98,14	5,92	Good	196,88	6,92	Good	0,0354	22,25	Good	376,17	35,92	Good

1175	98,44	16,58	Good	199,51	28,58	Good	0,0352	22,25	Good	376,46	35,92	Good
1176	98,44	16,58	Good	198,63	23,50	Good	0,0352	22,25	Good	376,17	35,92	Good
1177	98,58	6,25	Good	197,17	13,17	Good	0,0352	22,25	Good	374,41	18,67	Good
1178	98,58	6,25	Good	198,63	23,50	Good	0,0354	22,25	Good	375,88	35,92	Good
1179	98,29	16,58	Good	199,51	28,58	Good	0,0354	22,25	Good	375,59	20,67	Good
1180	98,29	16,58	Good	197,46	13,17	Good	0,0354	22,25	Good	375,59	20,67	Good
1181	98,00	3,67	Bad	197,17	13,17	Good	0,0352	22,25	Good	376,46	35,92	Good
1182	98,44	16,58	Good	197,17	13,17	Good	0,0352	22,25	Good	374,12	14,42	Good
1183	98,44	16,58	Good	199,22	24,67	Good	0,0355	22,25	Good	375,88	35,92	Good
1184	98,44	16,58	Good	198,05	23,50	Good	0,0355	22,25	Good	376,17	35,92	Good
1185	98,29	16,58	Good	199,22	24,67	Good	0,0354	22,25	Good	374,71	18,67	Good
1186	98,00	3,67	Bad	199,51	28,58	Good	0,0357	10,42	Good	375,88	35,92	Good
1187	98,00	3,67	Bad	198,05	23,50	Good	0,0354	22,25	Good	375,59	20,67	Good
1188	98,29	16,58	Good	196,88	6,92	Good	0,0354	22,25	Good	374,71	18,67	Good
1189	98,29	16,58	Good	199,51	28,58	Good	0,0352	22,25	Good	374,71	18,67	Good