



Metoda statystycznego sterowania jakością w produkcji wieloasortymentowej

mgr Izabela Czabak-Górska

Promotor:

dr hab. inż. Marcin Lorenc, prof. PO

Promotor pomocniczy:

dr inż. Aneta Kucińska-Landwójtowicz

Politechnika Opolska
Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki
Katedra Inżynierii Jakości Produkcji i Usług



*Autorka składa serdeczne podziękowania
Panu **dr. hab. inż. Marcinowi Lorencowi, prof. PO**
i Pani **dr inż. Anecie Kucińskiej-Landwójtowicz**
za wszechstronną pomoc, opiekę merytoryczną, cenne uwagi i sugestie udzielane
podczas powstawania niniejszej rozprawy.*

*Podziękowania skierowane są również do
Pana **prof. dr. hab. inż. Jerzego Skubisa** - za cenne wskazówki i pomoc,
Pana **dr. Daniela Frączka** - za pomoc w kodowaniu programów symulacyjnych,
Pracowników i Kierownictwa przedsiębiorstw produkcyjnych, w których
odbywały się badania, za pomoc i cierpliwość.*

*Autorka chciałaby również podziękować
Mężowi, Rodzicom oraz **Przyjaciółom**,
za nieustanne wsparcie i motywację.*

Spis treści

Wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń	5
Streszczenie	9
Abstract	10
1 Wprowadzenie	11
2 Analiza problemu badawczego	13
2.1 Tezy, założenia rozprawy doktorskiej i pytania badawcze	13
2.2 Cele i zakres rozprawy doktorskiej	14
2.3 Uzasadnienie wyboru tematu rozprawy doktorskiej	16
3 Przegląd istniejących metod i narzędzi zarządzania oraz sterowania jakością	19
3.1 Jakość i jej znaczenie w procesach produkcyjnych	19
3.2 Six Sigma jako nowoczesna koncepcja zarządzania jakością	27
3.3 Charakterystyka metody Statystycznego Sterowania Procesem	32
3.3.1 Karty kontrolne - klasyfikacja i syntetyczna charakterystyka w świetle współczesnych procesów produkcyjnych	40
3.3.2 Wybrane karty kontrolne - wzory na granice kontrolne	52
3.4 Narzędzia wspomagające metodę Statystycznego Sterowania Procesem	57
3.4.1 Histogram i diagram łodyga-liście	57
3.4.2 Arkusz kontrolny	61
3.4.3 Diagram Pareto-Lorenza	62
3.4.4 Diagram przyczynowo-skutkowy	62
3.4.5 Diagram koncentracji wad	64
3.4.6 Diagram zależności	64
3.5 Zmienność procesu produkcyjnego	65
3.6 Statystyczna stabilność procesu	69
3.7 Zdolność procesu	76
3.8 Analiza systemu pomiarowego	85
4 Propozycja modyfikacji kart kontrolnych i badania symulacyjne odpornościowych i klasycznych estymatorów oraz kart kontrolnych	92
4.1 Syntetyczna charakterystyka M -estymatorów	92
4.1.1 Algorytm wyznaczania M -estymatora położenia	94
4.1.2 Algorytm wyznaczania M -estymatora zmienności	95
4.2 Badania symulacyjne	96

4.2.1	Przebieg badania symulacyjnego	96
4.2.2	Porównanie klasycznych i odpornościowych estymatorów . . .	107
4.3	Propozycja odpornościowych kart kontrolnych - wzory na granice kontrolne	123
4.4	Porównanie klasycznych i proponowanych odpornościowych kart kontrolnych - wyniki badań symulacyjnych	133
4.4.1	Dyskusja na temat doboru próby do założenia karty kontrolnej	134
4.4.2	Dyskusja na temat metody stabilizacyjnej i wpływu liczby redukcji na wydajność karty kontrolnej	136
4.4.3	Karta położenia	138
4.4.4	Karta zmienności	141
5	Metoda statystycznego sterowania jakością w produkcji wielosortymentowej	144
5.1	Opis metody	144
5.2	Szczegółowy algorytm metody	145
5.3	Określenie procentowego udziału zmienności długoterminowej - analiza Nested ANOVA	153
5.4	Studium przypadku na danych rzeczywistych z przedsiębiorstwa produkcyjnego - SIEGENIA	155
6	Podsumowanie i kierunki dalszych badań	172
6.1	Podsumowanie pracy	172
6.2	Oryginalne rezultaty osiągnięte przez autorkę w pracy	174
6.3	Możliwości aplikacyjne osiągniętych rezultatów	176
6.4	Zalety i ograniczenia proponowanych rozwiązań	177
6.5	Kierunki dalszych badań	178
	Literatura	179
	Wykaz publikacji autorki	190
	Spis rysunków	192
	Spis tabel	198
	Załączniki	202
A	Stałe dla kart kontrolnych	203
A.1	Karta klasyczna \bar{X} i R	203
A.2	Karta klasyczna \bar{X}_{SC} i R_{SC}	203
A.2.1	Rozkłady skośne	203
A.2.2	Poszczególne rozkłady	204
A.3	Karta odpornościowa \bar{X}_R i R_R	206
A.3.1	M -estymator	206
A.3.2	Rozstęp odpornościowy	206
A.4	Karta odpornościowa \bar{X}_{RSC} i R_{RSC}	207
A.4.1	M -estymator	207
A.4.2	Rozstęp odpornościowy	208
B	Tabele z wartościami MSE - porównanie skuteczności klasycznych i odpornościowych estymatorów	211

B.1	Położenie - \bar{x} i \bar{x}_R	211
B.2	Zmienność - R i R_R	218
C	Tabele z wartościami RMSE - porównanie selektywności klasycznych i odpornościowych estymatorów	225
C.1	Położenie - \bar{x} i \bar{x}_R	225
C.2	Zmienność - R i R_R	228
C.3	karta położenia	230
D	Wykresy wpływu zaburzeń na prawdopodobieństwo sygnału dla kart klasycznych - przypadek mieszania zaburzeń	231
D.0.1	zaburzenie stałą	231
D.0.2	zaburzenie rozkładem - wersja A	233
D.0.3	zaburzenie rozkładem - wersja B	235
D.1	karta zmienności	237
D.1.1	zaburzenie stałą	237
D.1.2	zaburzenie rozkładem - wersja A	239
D.1.3	zaburzenie rozkładem - wersja B	241
E	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie dla karty klasycznej i odpornościowej	243
E.1	karta położenia	243
E.1.1	zaburzenie stałą	243
E.1.2	zaburzenie rozkładem - wersja A	245
E.1.3	zaburzenie rozkładem - wersja B	246
E.2	karta zmienności	248
E.2.1	zaburzenie stałą	248
E.2.2	zaburzenie rozkładem - wersja A	250
E.2.3	zaburzenie rozkładem - wersja B	251
F	Załącznik w wersji elektronicznej	253

Wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń

Akronimy

<i>ARL₀</i>	– Average Run Length in-control; średnia długość przebiegu dla procesu kontrolowanego,
<i>ARL₁</i>	– Average Run Length out-of-control; średnia długość przebiegu dla procesu niekontrolowanego,
<i>ARL_{0A}</i>	– Average Run Length in-control type A; średnia długość przebiegu dla procesu kontrolowanego typu A,
<i>ARL_{0B}</i>	– Average Run Length in-control type B; średnia długość przebiegu dla procesu kontrolowanego typu B,
<i>CTQ</i>	– Critical To Quality; krytyczne dla jakości,
<i>CUSUM</i>	– Cumulative Sum Control Chart; karta sum skumulowanych,
<i>DGT</i>	– – dolna granica tolerancji,
<i>DLK</i>	– dolna linia kontrolna,
<i>DLO</i>	– dolna linia ostrzegawcza,
<i>DMAIC</i>	– Define-Measure-Analyse-Improve-Control, definiuj-mierz-analizuj-doskonaj-kontroluj,
<i>DoE</i>	– Design of Experiments; projektowanie eksperymentów,
<i>EWMA</i>	– Exponential Weighted Moving Average; karta wykładniczo ważonej średniej ruchomej,
<i>FMEA</i>	– Failure Mode and Effects Analysis; analiza rodzajów i skutków możliwych błędów,
<i>GGT</i>	– górna granica tolerancji,
<i>GLK</i>	– górna linia kontrolna,
<i>GLO</i>	– górna linia ostrzegawcza,
<i>KPC</i>	– Key Product Characteristics; kluczowe cechy/charakterystyki wyrobu,
<i>LC</i>	– linia centralna,
<i>LSL</i>	– Lower Specification Limit; dolna granica specyfikacji,
<i>LSS</i>	– Lean Six Sigma, uszczuplone Six Sigma,
<i>MAD</i>	– median absolute deviation; bezwzględne odchylenie medianowe,

<i>MCUSUM</i>	– Multivariate Cumulative Sum Control Chart; wielowymiarowa karta sum skumulowanych,
<i>MEWMA</i>	– Multivariate Exponential Weighted Moving Average; wielowymiarowa karta wykładniczo ważonej średniej ruchomej,
<i>MMP</i>	– Multistage Manufacturing Processes; wieloetapowy proces produkcyjny,
<i>MSA</i>	– Measurement System Analysis, analiza zdolności systemów pomiarowych,
<i>MSE</i>	– Mean Squared Error, błąd średniokwadratowy,
<i>MSP</i>	– Multiple Stream Processes; procesy wielostrumieniowe,
<i>PCI</i>	– Process Capability Indices; wskaźniki zdolności jakościowej procesu,
<i>PDCA</i>	– Plan-Do-Check-Act, planuj-działaj-sprawdź-wykonaj,
<i>ppm</i>	– parts per milion; liczba elementów na milion,
<i>QFD</i>	– Quality Function Deployment; dopasowanie funkcji jakości,
<i>ROSJ</i>	– rynkowe obwody sterowania jakością,
<i>SC</i>	– Skewness Correction Method ; metoda korekcji asymetrii,
<i>SIPOC</i>	– Supplier-Input-Process-Output-Customer, dostawcy-wejścia-proces-wyjścia-klienci,
<i>SKO</i>	– statystyczna kontrola odbiorcza,
<i>SOSJ</i>	– stanowiskowe obwody sterowania jakością,
<i>SPC</i>	– Statistical Process Control; Statystyczne Sterowanie Procesem,
<i>SQC</i>	– Statistical Quality Control; Statystyczna Kontrola Jakości,
<i>TBE</i>	– Time Between-Events; karta monitorowania czasu pomiędzy zdarzeniami,
<i>TQM</i>	– Total Quality Management; Kompleksowe Zarządzanie Jakością,
<i>USL</i>	– Upper Specification Limit; górna granica specyfikacji,
<i>WOSJ</i>	– wydziałowe obwody sterowania jakością,
<i>WSD</i>	– Weighted Standard Deviations Method ; ważne odchylenie standardowe,
<i>WV</i>	– Weighted Variance Method ; metoda wariancji ważonej,
Oznaczenia	
<i>c</i>	– karta niezgodności,
<i>c₄[*]</i>	– stała korekcji skośności dla karty średniej i rozkładów skośnych,
<i>c_p</i>	– ang. Potential Process Capability, wskaźnik zdolności potencjalnej procesu,
<i>c_{pk}</i>	– ang. Real Process Capability, wskaźnik zdolności rzeczywistej procesu,

c_{pl}	– ang. Lower Specification Capability, wskaźnik zdolności - dolna granica tolerancji,
c_{pu}	– ang. Upper Specification Capability, wskaźnik zdolności - górna granica tolerancji,
d_2, d_2^*	– stała dla karty średniej i rozstępu, odpowiednio dla rozkładów normalnego oraz skośnych (współczynnik korekty błędu),
d_2^M, d_2^{M*}	– stała dla karty średniej i rozstępu z wykorzystaniem M -stymatora, odpowiednio dla rozkładów normalnego oraz skośnych (współczynnik korekty błędu),
d_2^R, d_2^{R*}	– stała dla karty średniej i rozstępu z wykorzystaniem rozstępu odpornościowego, odpowiednio dla rozkładów normalnego oraz skośnych (współczynnik korekty błędu),
d_3, d_3^*	– stała dla karty rozstępu, odpowiednio dla rozkładów normalnego oraz skośnych (współczynnik korekty błędu),
d_3^M, d_3^{M*}	– stała dla karty rozstępu z wykorzystaniem M -stymatora, odpowiednio dla rozkładów normalnego oraz skośnych (współczynnik korekty błędu),
d_3^R, d_3^{R*}	– stała dla karty rozstępu z wykorzystaniem rozstępu odpornościowego, odpowiednio dla rozkładów normalnego oraz skośnych (współczynnik korekty błędu),
d_4^*	– stała korekcji skośności dla karty rozstępów i rozkładów skośnych,
H_0	– hipoteza zerowa,
H_1	– hipoteza alternatywna,
k	– parametr siły zaburzenia rozkładu lub wartość stałej zaburzającej,
\bar{M}_{zm}	– średnia z M -estymatorów zmienności,
m	– liczba pomiarów (obserwacji),
M_{po}	– M -estymator położenia,
M_{zm}	– M -estymator zmienności,
n	– liczba elementów w pomiarze (obserwacji) – licznosc próbki,
np	– karta liczby jednostek niezgodnych,
p	– karta frakcji jednostek niezgodnych,
p_k	– parametr kształtu rozkładu teoretycznego,
p_p	– ang. Performance Ratio, wydajność procesu,
p_s	– parametr skali rozkładu teoretycznego,
p_{pk}	– ang. Centered Performance Ratio, wydajność procesu wycentrowanego,
\bar{R}	– średnia z rozstępów,
R	– rozstęp,
R_R	– rozstęp odpornościowy,

u	– karta niezgodności na jednostkę,
w	– karta wadliwości,
$\bar{\bar{x}}$	– średnia ze średnich próbkowych,
$\bar{\bar{x}}_R$	– średnia ze średnich odpornościowych,
\bar{x}	– średnia próbkowa,
$\bar{X} - R$	– karta średniej i rozstępu,
$\bar{X} - S$	– karta średniej i odchylenia standardowego,
\bar{x}_R	– średnia odpornościowa,
$\bar{X}_R - R_R$	– odpornościowa karta średniej i rozstępu,
$\bar{X}_{RSC} - R_{RSC}$	– odpornościowa karta średniej i rozstępu z wykorzystaniem metody korekcji asymetrii,
$\bar{X}_{SC} - R_{SC}$	– karta średniej i rozstępu z wykorzystaniem metody korekcji asymetrii,
$X - mR$	– karta pojedynczych obserwacji i ruchomego rozstępu,
x_{max}	– wartość największa,
$X_{ME} - R$	– karta mediany i rozstępu,
x_{min}	– wartość najmniejsza,
α	– ang. Type I error probability, prawdopodobieństwo błędu I-go rodzaju,
β	– ang. Type II error probability, prawdopodobieństwo błędu II-go rodzaju,
δ	– wartość przesunięcia średniej μ_0 procesu kontrolowanego,
ε	– arbitralny parametr tolerancji dla M -estymatora (dokładność estymacji),
ε_1	– udział zaburzenia,
κ_3	– współczynnik skośności,
λ, λ^*	– współczynnik normujący rozstępy odpornościowe, odpowiednio dla rozkładów normalnego oraz skośnych,
λ_1, λ_1^*	– współczynnik normujący granice kontrolne kart odpornościowych, odpowiednio dla rozkładów normalnego oraz skośnych,
μ_0	– wartość średnia procesu kontrolowanego,
μ_1	– wartość średnia procesu niekontrolowanego,
σ	– odchylenie standardowe,
σ_α	– błąd standardowy prawdopodobieństwa błędu I-go rodzaju,
σ_E	– błąd standardowy średnich,
σ_0	– odchylenie standardowe procesu kontrolowanego,
σ_1	– odchylenie standardowe procesu niekontrolowanego,
$\hat{\sigma} = s$	– nieobciążony estymator odchylenia standardowego.

Streszczenie

Słowa kluczowe: sterowanie jakością, produkcja wieloasortymentowa, duże zróżnicowanie wyrobów, karty kontrolne, analiza zdolności jakościowej, karty odpornościowe, M -estymatory z krzywymi logistycznymi.

W rozprawie poruszono problematykę związaną ze sterowaniem jakością w produkcji wieloasortymentowej, która cechuje się dużym zróżnicowaniem w obrębie wymagań dotyczących badanych cech/charakterystyk wyrobu i ich konfiguracji. Przyjęta metodyka badawcza do osiągnięcia celu, w postaci opracowania metody statystycznego sterowania jakością w produkcji wieloasortymentowej, obejmuje: przeprowadzenie krytycznego przeglądu aktualnych narzędzi i metod sterowania oraz zarządzania jakością, propozycje nowych odpornościowych kart kontrolnych, badania symulacyjne sprawdzające skuteczność proponowanych rozwiązań, opisanie proponowanej metody, studium przypadku zrealizowane w przedsiębiorstwie produkcyjnym, przedstawienie konkluzji naukowych i utylitarnych oraz wskazanie obszarów dalszych badań.

W pracy zawarto opis nowych odpornościowych kart kontrolnych opartych na M -estymatorach z krzywymi logistycznymi, które stanowią odpowiednik klasycznych kart średniej i rozstępu. Konieczność wprowadzenia nowych kart jest konsekwencją dodatkowego podziału specjalnych przyczyn zmienności na nieekonomiczne i ekonomiczne do wyeliminowania. Przedstawiono również wyniki badań symulacyjnych, które umożliwiły określenie własności proponowanych M -estymatorów i odpornościowych kart kontrolnych, a także porównanie ich z klasycznymi odpowiednikami. W celu redukcji dokumentacji i ze względów użytkowych zaproponowano kartę z ruchomymi granicami, która umożliwia monitorowanie przebiegu procesu cechującego się zróżnicowaniem badanych cech wyrobu.

Proponowana metoda, poza nowymi kartami kontrolnymi, opiera się na cyklu *DMAIC*, a także na analizie zależności pomiędzy długo- i krótkoterminową zmiennością (analiza Nested ANOVA) stanowiącej dodatkowe kryterium oceny stabilności procesów. Elementy te zaczerpnięto z koncepcji Six Sigma w celu uskutecznienia sterowania jakością m.in. poprzez obniżenie ryzyka podjęcia zbędnych działań korygujących i/lub doskonalących proces i ułatwienia poznania procesu, dzięki czemu możliwa będzie odpowiednio szybka identyfikacja źródeł problemów jakościowych.



Abstract

Method of Statistical Process Control in Multi-assortment Production

Keywords: Process Control, Multi-assortment Production, Large Diversity of Products, Control Charts, Process Capability Analysis, Robust Control Charts, M -estimators with logistic curves.

The dissertation discusses the issue linked to statistical process control in multi-assortment production which is characterized with diversification in the scope of requirements regarding the tested characteristics/features of a product and their configuration. Research methodology adopted to achieve the goal of elaborating a method of statistical process control in multi-assortment production includes: conducting a critical review of current tools and control methods and quality management, proposals for new robust control charts, simulation tests to check effectiveness of the proposed solutions, describing the proposed method, case study, implemented in the manufacturing company, presenting scientific and utilitarian conclusions and indicating areas of further research.

The study contains a description of new robust control charts based on M -estimators with logistic curves, which constitute the equivalent of classic mean and range charts. The necessity of introducing new charts is a consequence of the additional division of special causes of variance into non-economic and economic to be eliminated. Results of simulation tests were also presented, which made it possible to determine the proposed properties of M -estimators and robust control charts, as well as compare them with classic equivalents. To reduce documentation and for operational reasons, a chart with moving boundaries was proposed, which allows to monitor the course of the process characterized by diversity of the product's examined features.

The proposed method, in addition to the new control charts, is based on a DMAIC cycle, as well as the analysis of long-term and short-term variance (Nested ANOVA analysis) constituting an additional criterion for assessing stability of the processes. These elements were taken from the Six Sigma concept in order to achieve quality control, among others by reducing the use of unnecessary actions which correct and/or improve the process and make it easier to get to learn it, making it possible to quickly identify the sources of quality problems.

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach uległa zmianie specjalizacja produkcji - automatyzacja i postęp technologiczno-informatyczny skutkują skomplikowaniem przebiegu procesów wytwórczych. Globalizacja i zmienność rynku powodują konieczność personalizacji wyrobów, a w konsekwencji procesów produkcyjnych, odstępowanie od typowej produkcji masowej na rzecz nisko wolumenowej produkcji czy też produkcji dostosowanej do potrzeb indywidualnych klientów. Skutkuje to koniecznością uelastycznienia przebiegów produkcyjnych. Należy również zwrócić uwagę na fakt, że przedsiębiorstwa chcąc utrzymać się na coraz bardziej konkurencyjnym rynku, przy ciągle rosnących wymaganiach klientów, muszą wykazać się dbałością o jakość proponowanych wyrobów, a w konsekwencji jakością procesów. W związku z tym karty kontrolne, jako narzędzie zaproponowane w latach 20. ubiegłego wieku przez Waltera Shewharta, stanowią ponownie obiekt zainteresowania praktyków.

Wymienione powyżej czynniki powodują jednak, że wykorzystywanie klasycznych i dobrze znanych rozwiązań w zakresie statystycznego sterowania procesem może okazać się niewystarczające. Potwierdzeniem powyższej tezy jest duża liczba prac wielu naukowców, takich jak Ali, Chan, Chen, Czarski, Greber, Hamrol, Liu, Wheeler, Woodal i wielu innych, którzy opracowali szereg pojedynczych rozwiązań w postaci narzędzi tj. karty kontrolne, które mają na celu wypełnienie luk w problemach związanych ze statystycznym sterowaniem procesem. Rosnąca świadomość jakościowa kadry kierowniczej przedsiębiorstw produkcyjnych powoduje, że działania skierowane na jakość nie skupiają się jedynie na kartach kontrolnych. Coraz częściej zwraca się uwagę na to, że proces produkcyjny nie ogranicza się jedynie do procesu wytwórczego, ale należy skierować działania projakościowe na inne aspekty działalności przedsiębiorstwa. W związku z tym wdrażana są obecnie koncepcje i metody ciągłej poprawy jakości tj. *TQM*, Six Sigma czy Lean Manufacturing, które stanowią strategię podejmowanych działań dla realizacji celu, jakim jest zapewnienie jakości z zachowaniem wartości dodanej (ang. added value). Podejścia te różnią się od siebie wymaganiami w aspekcie zaangażowania i wiedzy, jednakże mają wspólny cel i przenikają się wzajemnie. Obecne czasy wymuszają również spojrzenie na potrzeby i wymagania klienta. Uważa się bowiem, że przed modelowaniem procesów powinno się skupić na precyzyjnym określeniu wymagań i potrzeb klientów, co stanowi przedmiot zainteresowań nie tylko praktyków, ale również i naukowców.

Krytyczny przegląd literatury oraz wstępne badania autorki w przedsiębiorstwach produkcyjnych wyraźnie wskazują, że założenie o normalności badanych cech/charakterystyk wyrobu nie zawsze jest spełnione. W efekcie, różnorodność proponowanych rozwiązań skłoniła autorkę do opracowania klasyfikacji kart kontrolnych, a także diagramu ewolucji metody *SPC*. Powodem może być zakłócenie procesu czynnikami specjalnymi, niewystarczająca wielkość próby pilotażowej bądź sama natura procesu (np. w przypadku tolerowania jednostronnego, procesów chemicznych itp.). Czasem usunięcie czynnika specjalnego, zaburzającego przebieg

procesu, wymaga dużych nakładów finansowych bądź czasowych, co może okazać się nieopłacalne z punktu widzenia przedsiębiorstwa produkcyjnego. W konsekwencji wdrażanie narzędzi bazujących na założeniu o normalności danych może nieść za sobą zagrożenia w postaci błędnej oceny przebiegu badanego procesu. Należy zwrócić również uwagę, że nawet najbardziej ustabilizowane procesy produkcyjne ulegają niewielkim przesunięciom, co zostało wyraźnie uwzględnione w koncepcji Six Sigma. Dlatego istnieje realna potrzeba zastosowania narzędzia czy metody statystycznej, uwzględniającego niewielkie odstępstwa od zakładanego modelu, które umożliwi skuteczną jego kontrolę m.in. poprzez eliminację zbędnych ingerencji w proces. Mając powyższe na uwadze autorka zaproponowała nowe karty kontrolne bazujące na M -estymatorach, które uwzględniają przytoczone powyżej problemy. W ocenie autorki, istnieje również konieczność uzupełnienia literatury o propozycję algorytmu sterowania jakością, uwzględniającego przedstawione powyżej problemy, co stanowi przedmiot dysertacji.

2. Analiza problemu badawczego

2.1. Tezy, założenia rozprawy doktorskiej i pytania badawcze

Na podstawie przeprowadzonej analizy literaturowej oraz badań wstępnych wykonanych w przedsiębiorstwach produkcyjnych sformułowano następujące tezy rozprawy doktorskiej:

- Istnieje możliwość uzupełnienia istniejących narzędzi sterowania jakością nowymi kartami kontrolnymi, umożliwiającymi skuteczne sterowanie jakością procesów w przypadku dużej różnorodności kluczowych cech/charakterystyk wyrobu i małej ilości danych.
- Zastosowanie metody Statystycznego Sterowania Procesem z wykorzystaniem wybranych elementów koncepcji Six Sigma, umożliwia skuteczne sterowanie jakością w produkcji wieloasortymentowej.

W przeprowadzonych badaniach przyjęto następujące założenia i definicje:

- Odnoszące się do typu produkcji: **produkcja wieloasortymentowa** [189] – charakteryzująca się zmiennymi parametrami (cechami) wyrobu; ograniczona do produkcji średnioseryjnej powtarzalnej cyklicznie. Produkcja średnioseryjna charakteryzuje się wykonywaniem niewielkich grup produktów, przy użyciu tych samych metod [122]. Każdorazowo przy zmianie produkcji poszczególnych wyrobów następuje przebrojenie urządzeń.
- Odnoszące się do rodzaju produkcji: **produkcja dyskretna** [64] – która stanowi elastyczne kompleksy operacyjne, uwarunkowane logicznie w czasie i przestrzeni, charakteryzujące się zmienną strukturą przystosowaną do charakterystyki ilościowo - jakościowej wytwarzanych wyrobów z udziałem człowieka.

W rozprawie sformułowano następujące pytania badawcze:

1. W jaki sposób można wykonywać ocenę zdolności jakościowej i stabilności procesów produkcyjnych w przedsiębiorstwach z produkcją wieloasortymentową?
2. W jaki sposób wyeliminować zbędną i/lub ekonomicznie nieuzasadnioną ingerencję w proces produkcyjny?
3. W jaki sposób monitorować stabilność procesów produkcyjnych i jak przeprowadzać analizę zdolności jakościowej, gdy dane pomiarowe nie mają charakteru rozkładu normalnego?

2.2. Cele i zakres rozprawy doktorskiej

Głównym celem rozprawy jest opracowanie metody statystycznego sterowania jakością procesów w produkcji wieloasortymentowej.

Szczegółowymi celami badawczymi są:

- Analiza sposobu sterowania jakością produkcji w wybranych przedsiębiorstwach produkcyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem stabilności i zdolności jakościowej procesów produkcyjnych .
- Opracowanie metody sterowania jakością dla produkcji wieloasortymentowej i uwzględniającej przypadek, gdy dane pomiarowe nie wykazują charakteru rozkładu normalnego, opartej na wybranych elementach koncepcji Six Sigma oraz metody Statystycznego Sterowania Procesem.
- Aplikacja opracowanej metody w wybranym przedsiębiorstwie produkcyjnym.

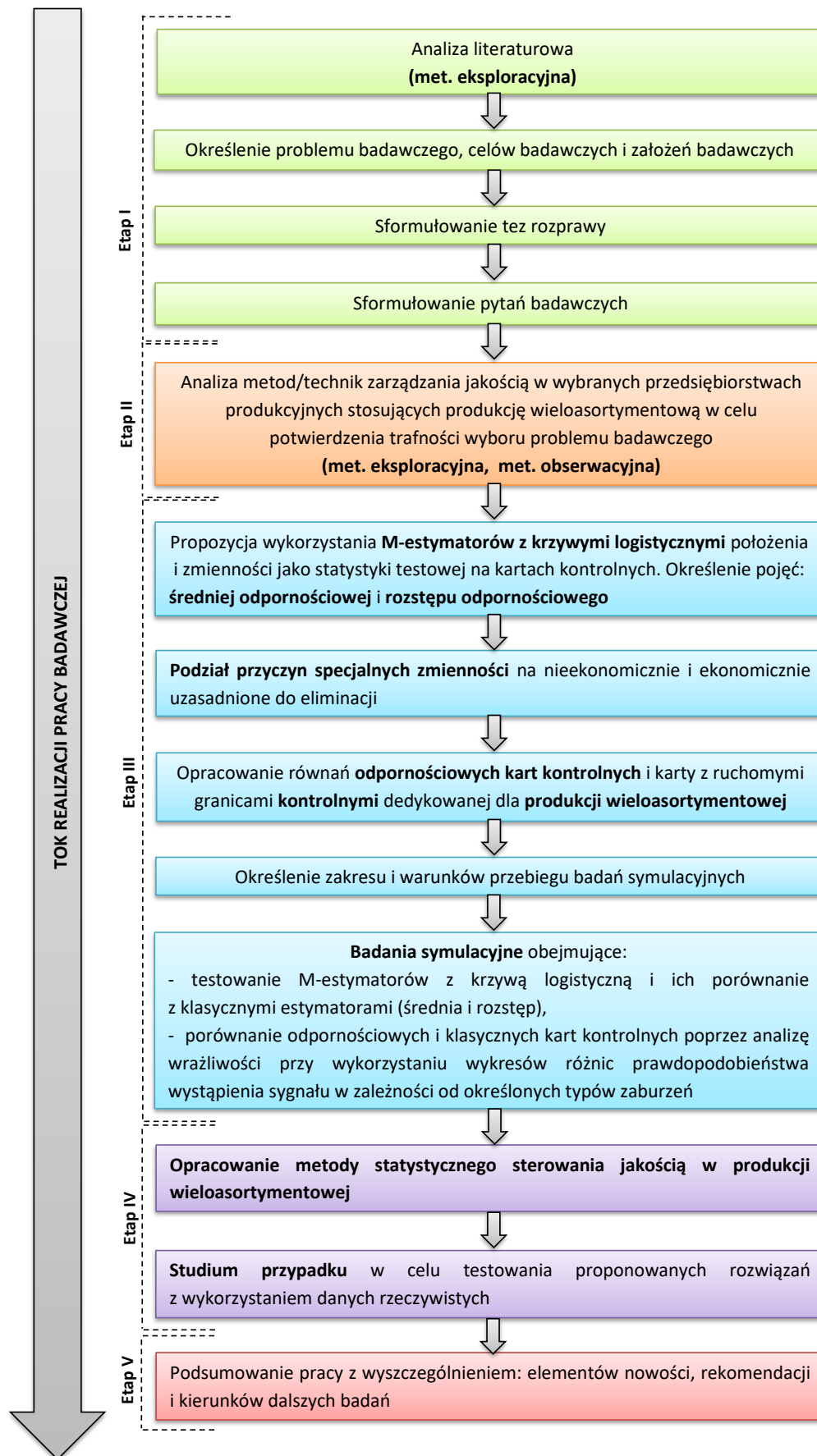
Wykonywana rozprawa posiada także cel użytkowy:

- Opracowanie metody sterowania jakością w produkcji wieloasortymentowej, ze szczególnym uwzględnieniem sposobu weryfikacji poziomu jakości procesów produkcyjnych.

W ramach rozprawy badania wykonano w przedsiębiorstwach produkcyjnych na terenie województwa opolskiego, charakteryzujących się produkcją wieloasortymentową. Analizie podlegały procesy produkcyjne m.in. w aspekcie oceny stabilności i zdolności jakościowej.

Dla osiągnięcia założonych celów rozprawy doktorskiej przyjęto następującą metodykę (rys. 2.1):

1. Przeprowadzenie krytycznego przeglądu aktualnych narzędzi i metod sterowania oraz zarządzania jakością.
2. Zaproponowanie metodyki badawczej dla przygotowania nowej metody sterowania jakością, obejmującej: krytyczny przegląd literatury, propozycje nowych kart kontrolnych, badania symulacyjne, opisanie proponowanej metody statystycznego sterowania jakością w produkcji wieloasortymentowej i studium przypadku, zrealizowane w przedsiębiorstwie produkcyjnym.
3. Przedstawienie propozycji nowych narzędzi wypracowanych na podstawie wyników badań własnych.
4. Prezentację i omówienie nowej metody na przykładzie studium przypadku w przedsiębiorstwie produkcyjnym.
5. Przedstawienie konkluzji naukowych i użytkowych.



Rys. 2.1. Szczegółowy schemat metodyki przyjętej do osiągnięcia założonych celów (opracowanie własne)

2.3. Uzasadnienie wyboru tematu rozprawy doktorskiej

Przeprowadzona analiza literatury wyraźnie wskazuje, że m.in. postęp technologiczny przyczynił się do wprowadzenia zmian systemów produkcyjnych, a także zróżnicowania produkcji. Farid [69] zwraca uwagę, że obecnie produkcja coraz bardziej charakteryzowana jest stale zmieniającymi się i coraz bardziej konkurencyjnymi rynkami. Koren [112] twierdzi, że globalna konkurencja zmusza przedsiębiorstwa produkcyjne do reagowania na szybko zmieniające się warunki rynkowe. Bejlegaard [20] uważa, że sprostanie tym wyzwaniom stawia ściśle wymagania, aby poradzić sobie z różnorodnością produktów, z krótkimi cyklami życia produktów, niepewnością popytu na oferowane wyroby, dostosowaniem się do nowych technologii zarówno podczas fazy rozruchu, jak i produkcji. Zjawisko indywidualizacji produktów sprawia, że umiejętność dostosowania produkcji jest kluczowym czynnikiem konkurencyjności przedsiębiorstw przemysłowych [70]. Koren [112] określa zjawisko to jako masową indywidualizację, która musi oferować rozwiązania dwóch podstawowych kwestii związanych przede wszystkim z niskim wolumenem produkcyjnym i różnorodnością wyrobów, które dodatkowo muszą być wyprodukowane w danym systemie produkcyjnym w dowolnym momencie. Sztywnie sprzężone linie produkcyjne, które często znajdują się w masowej produkcji, osiągnęły granice swojej elastyczności w obliczu tych wyzwań [70]. Koren wraz z zespołem [113] wskazują na następujące zmiany w strukturze produkcji XXI wieku:

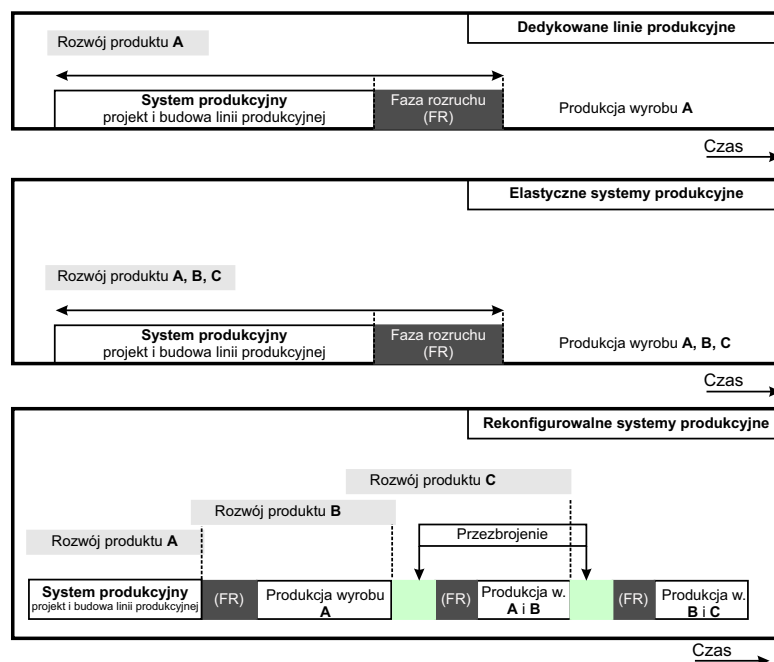
- wprowadzanie szerokiej gamy nowych wyrobów,
- zmiany w częściach dla istniejących wyrobów,
- duże wahania popytu na wyroby,
- zmiany w przepisach rządowych (bezpieczeństwo i środowisko),
- zmiany w technologii procesowej.

Koren wraz z zespołem [113] wyszczególnili następujące, elastyczne systemy produkcyjne wykorzystywane przez przedsiębiorstwa produkcyjne (rys. 2.2):

- **Dedykowane linie produkcyjne** (ang. dedicated manufacturing lines; DML), które cechują się niedrogą, stałą automatyzacją i wytwarzane są na nich głównie produkty lub części w dużych ilościach. Każda z linii dedykowanych jest zwykle zaprojektowana do wytwarzania pojedynczej części przy wysokiej szybkości wytwarzania, osiągniętej dzięki jednoczesnemu działaniu kilku narzędzi na stanowiskach obróbki. Gdy zapotrzebowanie na produkt jest wysokie, koszt wyprodukowania jednego wyrobu/części jest stosunkowo niski. DML są efektywne pod względem kosztów, o ile popyt przewyższa podaż i mogą one działać z pełną wydajnością. Jednak wraz z narastającą presją globalnej konkurencji i nadwyżki mocy produkcyjnych na całym świecie mogą zaistnieć sytuacje, w których linie dedykowane nie będą działały z pełną wydajnością.
- **Elastyczne systemy produkcyjne** (ang. flexible manufacturing systems; FMS), które składają się głównie z drogiej, sterowanych numerycznie maszyn CNC (ang. Computerized Numerical Control) oraz innych programowalnych układów automatyki na których wytwarzane są różnorodne wyroby

o zmiennej ilości w obrębie tego samego systemu. Połączenie wysokiego kosztu sprzętu i niskiej przepustowości sprawia, że koszt wyprodukowania jednostkowego wyrobu/części jest stosunkowo wysoki. W związku z tym zdolność produkcyjna FMS jest zwykle niższa niż wydajność linii dedykowanych, a ich początkowy koszt jest wyższy.

- **Rekonfigurowalne systemy produkcyjne** (ang. reconfigurable manufacturing systems; RMS), będące odpowiedzią na konieczność szybkiego reagowania na nagłe zmiany rynkowe po najniższych kosztach w przeciwieństwie do elastycznych systemów produkcyjnych. Według Garbie [72] rekonfiguracja wiąże się ze zmianą różnych działań, takich jak: planowanie, programowanie maszyn, sterowanie układem fizycznym poprzez dodawanie i usuwanie maszyn oraz ich komponentów, przepływu materiałów czy organizacji stanowiska pracy. W przeciwieństwie do dedykowanych linii produkcyjnych i elastycznych systemów produkcyjnych, rekonfigurowalne systemy produkcyjne stanowią dynamiczny (zmieniający się) system [112].



Rys. 2.2. Schemat funkcjonowania dedykowanych linii produkcyjnych, elastycznych i rekonfigurowalnych systemów produkcyjnych (opracowanie własne na podstawie [113])

Dodatkowo, zmieniające się tendencje rynkowe i odchodzenie od produkcji masowej (ang. Mass Production) na rzecz produkcji seryjnej (ang. Series Production), jednostkowej (ang. Piece Production) czy też pod zamówienie (ang. Make-To-Order Production) stanowią główne czynniki komplikacji przebiegu procesów produkcyjnych, a także zróżnicowania produkcji. To z kolei prowadzi nie tylko do dostarczenia klientowi całej gamy wyrobów, ale także różnych wersji tych produktów [111]. W konsekwencji zarządzanie, a w tym również sterowanie jakością, staje się coraz bardziej skomplikowane i wymaga wykorzystywania bardziej zaawansowanych metod i technik np. statystycznych, które dostosowane są do aktualnych realiów produkcyjnych.

Proponowane w literaturze związanej z zarządzaniem i sterowaniem jakością metody uwzględniają seryjny charakter produkcji, jednakże nie uwzględniają aspektu dużej zmienności parametrów produktów, które wpływają na jego jakość,

co jest charakterystyczne dla produkcji wieloasortymentowej, a także rekonfigurowalnych systemów produkcyjnych. Można więc stwierdzić, że większość z proponowanych rozwiązań statystycznego sterowania procesem dedykowana jest dla dedykowanych linii produkcyjnych i elastycznych systemów produkcyjnych. Dotychczas nie znaleziono opracowania, które uwzględniałoby zarządzanie i sterowanie jakością produkcji wieloasortymentowych oraz wielowariantowych procesów wytwarzania, charakterystycznych dla rekonfigurowalnych systemów produkcyjnych. Według autorki stanowi to realne i aktualne wyzwanie dla współczesnych przedsiębiorstw i wymaga opracowania nowych bądź zmodyfikowania istniejących już metod.

3. Przegląd istniejących metod i narzędzi zarządzania oraz sterowania jakością

3.1. Jakość i jej znaczenie w procesach produkcyjnych

Jakość stanowi kluczowy element, który wyróżnia przedsiębiorstwo wśród innych w okresie wzmożonej konkurencji [138], a także jedno z najważniejszych (obok ceny) kryterium oceny wyrobu przez klienta [168]. Kontrola jakości produkowanych wyrobów intuicyjnie dokonywana była od niepamiętnych czasów, jednakże zmieniała się jej forma. Np. starożytni Egipcjanie przywiązywali wagę wysokich standardów przy wznoszeniu stojących do dzisiaj monumentów. Z kolei Grecy stawiali wysokie wymagania w dziedzinie sztuki i rzemiosła. W okresie od średniowiecza aż do XIX wieku dominowały rodzinne oraz kilkusobowe przedsiębiorstwa [138], z których wraz z upływem czasu formowały się słynne marki np. House of Fabergé (pracownia złotnicza Fabergé słynna z carskich jaj). W owych czasach to osoba (bądź grupa osób) wytwarzająca wyroby, bezpośrednio odpowiadała za ich jakość zgodną z przyjętymi standardami, a ten etap dziejowy określany jest mianem „okresu jakości operatora” [138].

Rewolucja przemysłowa przyniosła za sobą model produkcji masowej, oparty na zasadzie specjalizacji pracy. Od tej pory pracownik nie był odpowiedzialny za jakość wykonania całego wyrobu, ale tylko za jego element, a za kontrolę jakości odpowiedzialny był nadzorca [139]. Okres lat 20-tych do 40-tych XX wieku przyniósł ze sobą intensywną ewolucję w zakresie kontroli jakości, a Feigenbaum określił go okresem inspekcji jakości [139]. Wyroby i procesy produkcyjne z czasem uległy skomplikowaniu i jednocześnie zwiększano wolumeny produkcji. W konsekwencji kontrola jakości stała się jeszcze większym wyzwaniem, co prowadziło do narodzin pierwowzoru działu jakości, który sprawował pieczę nad poprawnym przebiegiem procesu poprzez kontrolę wyrobów po zakończeniu określonych operacji. W sytuacji, w której wyrób odbiegał od ustalonego standardu podejmowano próby jego naprawienia bądź zostawał odrzucony [138].

Jednakże 100% kontrola okazała się być zbyt czasochłonna i kosztowna. Dlatego też w 1924r. Walter A. Shewhart określił fundamenty Statystycznej Kontroli Procesu poprzez propozycję kart kontrolnych [80]. Od lat 60. XX wieku rozpoczął się okres kształtowania Kompleksowego Zarządzania Jakością (ang. Total Quality Management; TQM), którego podstawą było stopniowe zaangażowanie wszystkich w zarządzanie jakością [86]. Należy jednak podkreślić, że dopiero w latach 80-tych użyto pierwszy raz nazwy *TQM*. W tym czasie narodziła się również idea tzw. kół jakości, których zadaniem była analiza procesów produkcyjnych ze względu na

kryterium jakości z udziałem grupy pracowników różnych szczebli hierarchicznych [138], a także program „zero braków” (zaproponowany przez Crosby’ego i oznaczający produkcję bezusterkową, bez braków i konieczności ich poprawiania) [114]. W ówczesnym czasie zarządzanie jakością wzbogacono również o systemowe podejście do zapewnienia jakości (audytowanie obszarów odpowiedzialnych za jakość), a także szereg nowych metod/koncepcji zarządzania jakością takich jak Lean, Kaizen, Six Sigma [86].

Zagadnienia związane z szeroko rozumianą jakością towarzyszą ludzkości od zarania dziejów i wraz z upływem czasu przybierały coraz bardziej usystematyzowaną i sformalizowaną formę. Mimo to, określenie pojęcia jakości jest niemożliwe w sposób jednoznaczny. Według Garvina [73] jakość należy klasyfikować według pięciu perspektyw:

1. **Transcendentalnej**, w której jakość rozumiana jest intuicyjnie.
2. **Produktowej**, według której jakość to stopień w jakim produkt lub usługa spełnia oczekiwania (np. określone przez normę PN-EN ISO 9000:2015),
3. **Użytkownika**, w której jakość stanowi miarę zaspokojenia potrzeb człowieka przez wyrób bądź usługę,
4. **Procesu wytwórczego**, według której jakość określona jest przez zgodność wyrobu z wytycznymi technologicznymi oraz projektowymi.
5. **Wartości**, która opisuje relację pomiędzy jakością, a kosztem produkcji.

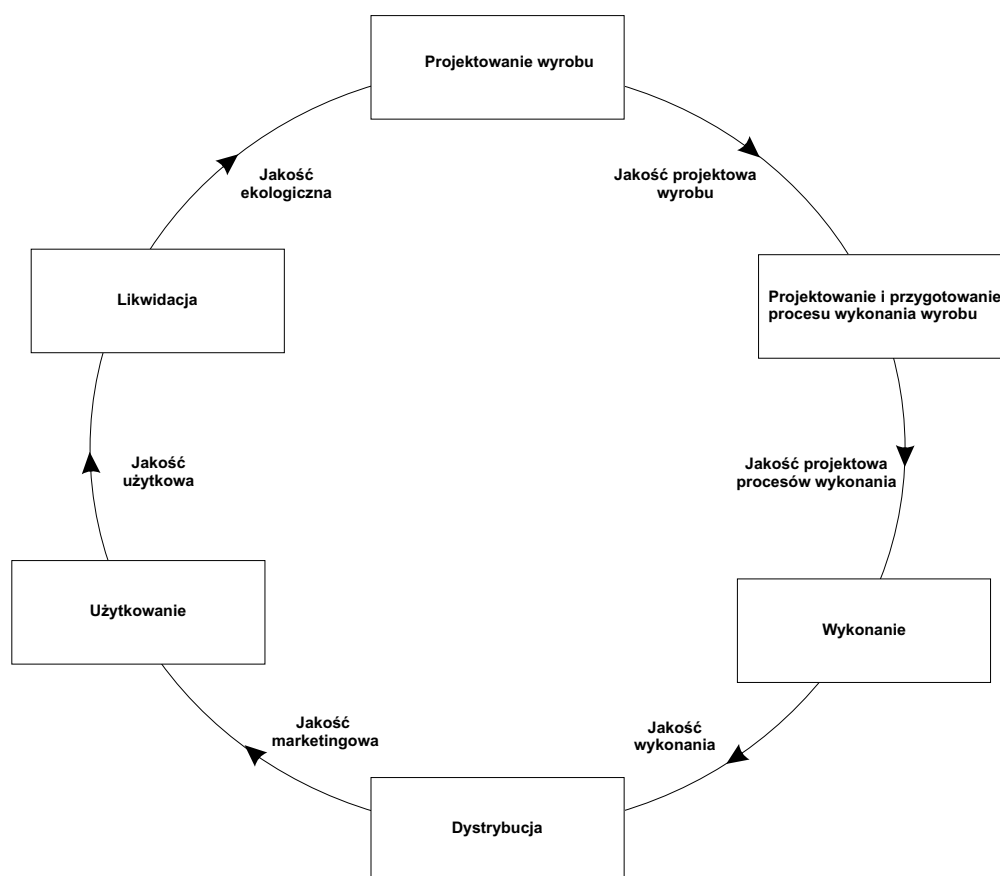
Szczepańska [200] natomiast podaje następujące podziały rodzajów definicji jakości:

- **Definicja produktowa**, która odnosi się do cech i atrybutów wyrobu. W tym ujęciu jakość stanowi precyzyjną i mierzalną zmienną.
- **Definicja ogólna**, związana bezpośrednio z poziomem zadowolenia klienta i samoistnej doskonałości wyrobu.
- **Definicja produkcyjna**, która opiera się na dostosowaniu wyrobu do stawianych mu wymagań.
- **Definicja użytkownika**, która oznacza zdolność użytkownika, odpowiadająca indywidualnym preferencjom klienta.
- **Definicja wartościowa**, która odnosi się do relacji pomiędzy wyrobem dostarczającym wartość a jego ceną.
- **Definicja normatywna** w której jakość określana jest jako stopień, w jakim zbiór inherentnych właściwości spełnia wymagania.
- **Jakość kompleksowa**, która wskazuje na procesowy charakter jakości i oznacza m.in. ciągle zaspakajanie potrzeb klienta na konkurencyjnym rynku.
- **Definicja systemowa**, która określa jakość systemu i oznacza stopień spełnienia oczekiwań w stosunku do systemu.
- **Definicja filozoficzna**, która nie jest praktycznie możliwa do wyrażenia i rozumiana jest bardzo intuicyjnie. Stanowi jedynie osąd wyrażony przez klienta.

- **Definicja psychologiczna**, w której jakość stanowi proces tworzenia i umacniania stosunków przez ocenianie, współuczestnictwo i spełnienie ustanowionych potrzeb.

Hamrol [87] wskazuje następujące definicje jakości w aspekcie cyklu życia wyrobu (rys. 3.1):

- **Jakość projektowa** rozumiana jako potencjał do spełniania potrzeb i oczekiwań klientów (zarówno wewnętrznych tj. technolodzy czy serwisanci, jak i zewnętrznych czyli potencjalnych użytkowników).
- **Jakość projektowa procesów wykonania**, która określa skuteczność i efektywność z jaką projektowany proces umożliwia osiągnięcie jakości projektowej.
- **Jakość wykonania** oznaczająca zgodność wyrobu z określonym wzorcem.
- **Jakość marketingowa wyrobu** związana z prestiżem i unikalnością.
- **Jakość użytkowa wyrobu** odnosząca się do satysfakcji klienta.
- **Jakość ekologiczna**, związana z częściowym bądź całkowitym recyklingiem i biodegradacją wyrobu.



Rys. 3.1. Jakość w cyklu życia wyrobu [87]

Wybrane definicje jakości zestawiono w tab. 3.1.

Tabela 3.1. Wybrane definicje pojęcia jakości (opracowanie własne)

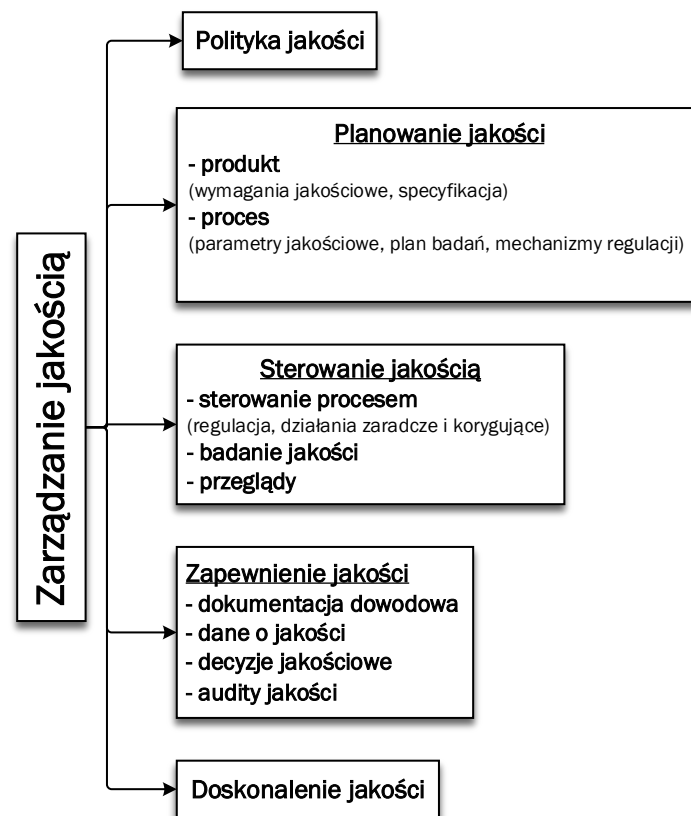
Lp.	Autor/Autorzy	Definicja
1.	Juran (1974)	<i>Jakość to przydatność do użycia [138].</i>
2.	Crosby (1979)	<i>Zgodność z wymaganiami wewnętrznymi i zewnętrznymi [48].</i>
3.	Deming (1982)	<i>Przewidywany, stopień jednorodności i niezawodności przy możliwych niskich kosztach i dopasowaniu do wymagań rynku [58].</i>
4.	Rogoziński (2000)	<i>Stopień zgodności produktu z wymaganiami odbiorcy, a te z kolei wynikają z jego potrzeb, dochodów i cen [173].</i>
5.	Harry i Schroeder (2001)	<i>Stopień doskonałości przy akceptowalnej cenie i sterowanie zmiennością przy akceptowalnym koszcie [89].</i>
6.	Montgomery (2013)	<i>Jakość jest odwrotnie proporcjonalna do zmienności [139].</i>
7.	Goetsch i Davis (2014)	<i>Jakość dotyczy produktów, usług, osób, procesów i środowisk. To ciągle zmieniający się stan, który musi zapewniać wyższą wartość dla klienta [77].</i>
8.	Mitra (2016)	<i>Jakość wyrobu lub usługi w zakresie przydatności do zaspokojenia lub przekroczenia wymagań klienta [138].</i>
9.	Hamrol (2017)	<i>Jakość to stopień w jakim zbiór inherentnych właściwości spełnia wymagania [87].</i>

Według Hamrola [85] i Sałacińskiego [179] zagadnienie zarządzania jakością stanowi integrację planowania, organizowania, przewodzenia, kontroli oraz doskonalenia wszystkich działań, które dotyczą jakości. Obejmuje ono szeroki zakres i dotyczy wielu aspektów tj. projektowanie i przygotowanie procesów produkcyjnych, samego procesu produkcyjnego, badania poziomu konkurencyjności oraz skuteczności przedsiębiorstwa itp.

Hamrol [85] definiuje zarządzanie jakością jako wprowadzenie i stosowanie w przedsiębiorstwach zasad oraz wzorców postępowania, które pozwalają na uzyskanie odpowiedniego poziomu jakości, spełniającego oczekiwania klientów. Sałaciński [179] uważa, że zarządzanie jakością dotyczy również pracowników, dostawców i udziałowców. Według Roszaka [174] konkretyzowanie pojęcia jakości dla procesów wytwarzania powinno odbywać się poprzez (rys. 3.2):

- definiowanie wymagań dotyczących właściwości wyrobu,
- definiowanie cech technicznych wyrobów,
- definiowanie parametrów procesu,

- racjonalne zarządzanie jakością na wszystkich etapach realizacji procesu wytwarzania.

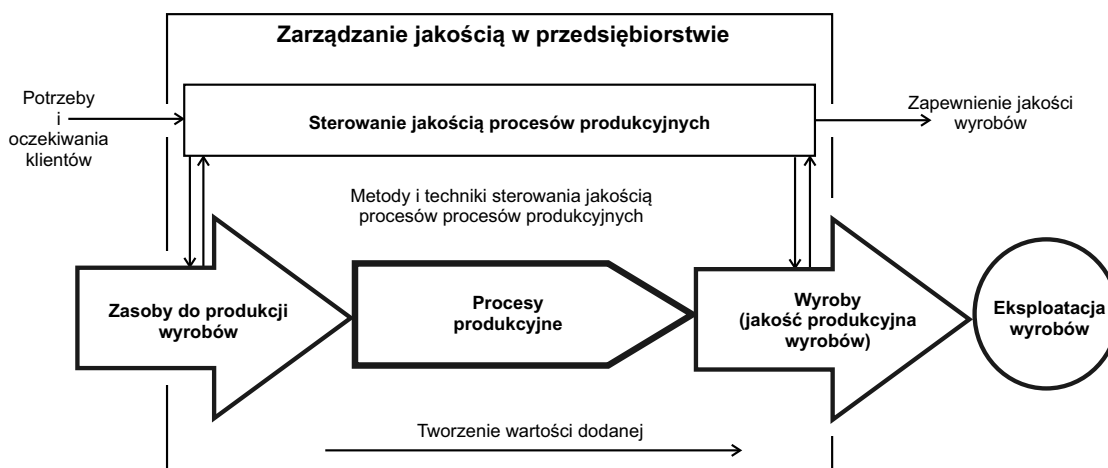


Rys. 3.2. Struktura zarządzania jakością [174]

W literaturze opisano szeroką gamę koncepcji, metod i narzędzi zarządzania jakością. Różnorodność w tym zakresie może prowadzić jednak do dezinformacji, gdyż w literaturze nie znaleziono żadnego schematu postępowania, które zestawiałoby opisywane rozwiązania w aspekcie konkretnych sytuacji produkcyjnych np. w przypadku niewielkich wolumenów wybierz koncepcję/metodę X i narzędzia Y_1, Y_2 oraz Y_3 . Część koncepcji, metod i narzędzi opiera się o podobne idee np. wysoki poziom jakości, oszczędność, eliminacji marnotrawstwa itp., co w konsekwencji również prowadzi do problemów z wybraniem właściwych rozwiązań. Dodatkowo nieład panujący w klasyfikowaniu pojęć i przypisaniu ich do odpowiedniej grupy, prowadzi do utrudnienia przy wymianie doświadczeń w zakresie ich wdrażania oraz wykorzystania [117]. Nowe spojrzenie na ten problem zaproponował Hamrol określając przytoczone metody/koncepcje zarządzania jakością mianem praktyk sprawnego działania, które obejmują długoterminowe plany działania umożliwiające osiągnięcie przyjętych celów w określonym obszarze [87]. Z kolei według Kowalczyk [117] pojęcie narzędzia i metoda zarządzania jakością są umowne. Według autorki narzędzia wykazują się prostotą i wykorzystywane są do zbierania oraz przetwarzania danych (ilościowych oraz jakościowych). Narzędzia stosowane są zarówno w przypadku sterowania jak i zarządzania jakością. Metody zarządzania jakością cechują się większą złożonością niż narzędzia, z uwagi na wyszczególnione etapy, fazy czy też kroki. Koźmiński i Zawisłak [118] definiują metodę jako świadomy, uporządkowany i złożony sposób działania, który jest powtarzalny.

Zagadnienie sterowania jakością, w stosunku do zarządzania jakością, jest węższym pojęciem. Odnosi się bowiem jedynie do samych działań podejmowanych,

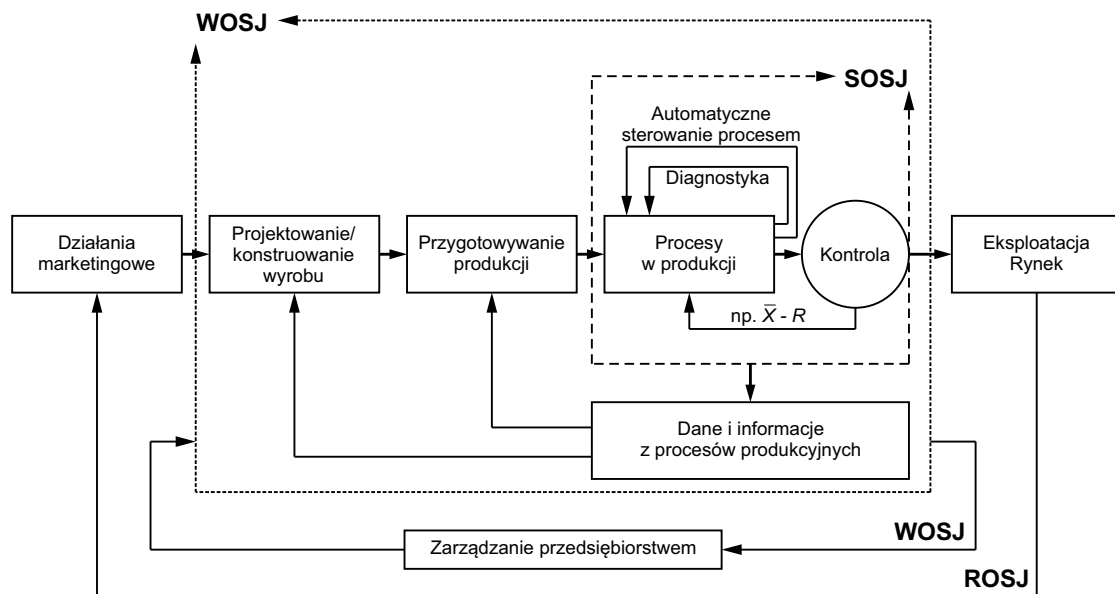
w celu uzyskania przydatności użytkowej wyrobu [179]. Stanowi główny element zarządzania jakością i polega na wprowadzaniu odpowiednich działań korygujących bądź doskonalących, a przede wszystkim na zapobieganiu pojawieniu się zakłóceń powodujących deregulację procesu, przy wykorzystaniu odpowiednich metod, technik oraz narzędzi (w tym również statystycznych), na etapie procesu produkcyjnego [203]. Ideę sterowania jakością w ujęciu procesowym pokazano na rys. 3.3.



Rys. 3.3. Idea sterowania jakością w ujęciu procesowym (opracowanie własne na podstawie [203])

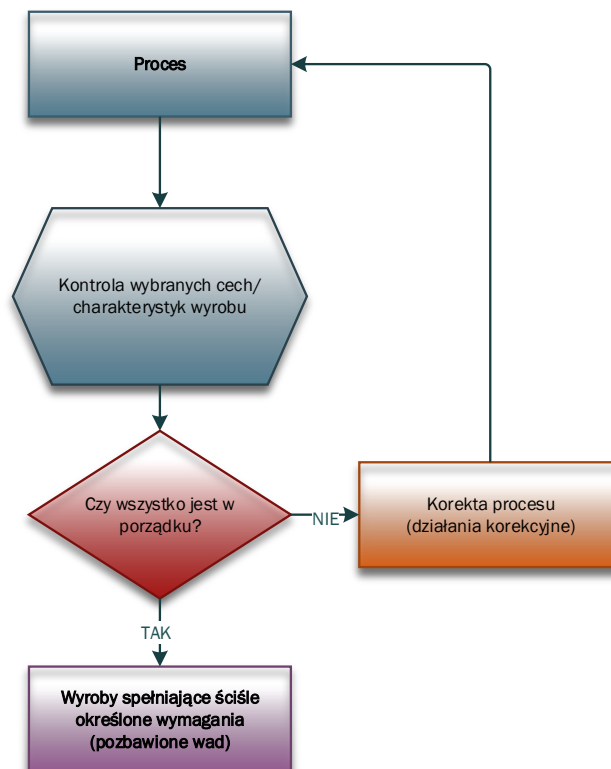
Według Hamrola [87] sterowanie jakością polega na spełnianiu wymagań, również w sytuacji, w której założenia warunków ujętych w projekcie nie zostały spełnione. Według autora sterowanie jakością odbywa się w obwodach sterowania jakością (rys. 3.4), które dzielą się na [87]:

- **Stanowiskowe (SOSJ)** - dotyczą konkretnych stanowisk pracy, a także wykonywanych na nich operacjach. W przypadku procesów wytwarzania związane są z procesami obróbki lub innych maszyn. W *SOSJ* uzyskuje się informacje na temat zagrożeń związanych z powstawaniem niezgodności, w celu podejmowania odpowiednich działań korygujących.
- **Wydziałowe (WOSJ)** - integrują różne stanowiska i działy przedsiębiorstwa. Decyzje, które zapadają w *WOSJ* mogą dotyczyć m.in. szkoleń pracowników, wymiany przyrządów kontrolno-pomiarowych, optymalizacji procesu technologicznego.
- **Rynkowe (ROSJ)** - wychodzą poza obszar przedsiębiorstwa. Podejmowane działania w *ROSJ* są na poziomie strategicznym i dotyczą m.in. polityki marketingowej, wdrażania innowacyjnych produktów czy profilu działalności.



Rys. 3.4. Idea Sterowania jakością w obwodach sterowania [87]

Według Roszaka [174] wejście do sterowania jakością procesu wytwarzania stanowią wszystkie ustalenia pochodzące z etapu planowania jakości jako tzw. kryteria oceny jakości. Roszak [174] sugeruje, że ideą sterowania jakością jest wdrożenie odpowiednich mechanizmów zarządzania, umożliwiające analizę informacji pochodzących bezpośrednio z procesu wytwarzania w czasie rzeczywistym (rys. 3.5). Takie podejście daje możliwość natychmiastowej reakcji na niepożądane sygnały poprzez podjęcie właściwych decyzji i związane jest ściśle z organizacją kontroli procesu wytwarzania.



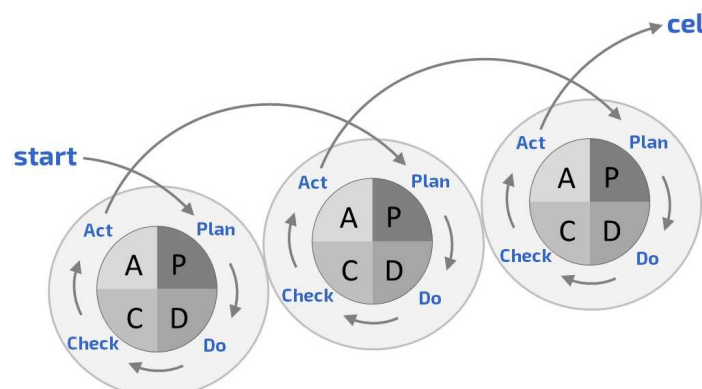
Rys. 3.5. Idea sterowania jakością procesu wytwarzania (opracowanie własne na podstawie [174])

Według Szkody [203] sterowanie jakością obejmuje następujące sfery zapewnienia jakości:

- kontrolę odbiorczą jakości dostaw części, materiałów i surowców niezbędnych do produkcji wyrobów,
- ocenę statystycznego uregulowania (stabilności) procesów produkcyjnych,
- ocenę zdolności jakościowej procesów produkcyjnych,
- audyt i przegląd procesów oraz ocenę ich skuteczności,
- doskonalenie jakości procesów,
- planowanie jakości procesów i wyrobów,
- nadzór nad wyposażeniem urządzeń pomiarowo-kontrolnych,
- zarządzanie konfiguracją,
- zarządzanie ryzykiem,
- weryfikację jakości produkcyjnej wyrobów na podstawie efektywności ich eksploatacji.

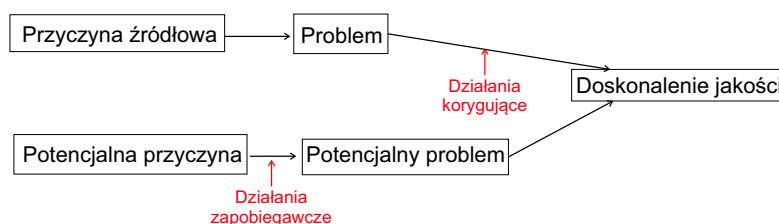
Według Montgomery [139] zarządzanie, a w szczególności sterowanie, jakością było efektywne powinno koncentrować się na idei ciągłego doskonalenia (ang. continuous quality improvement). W tym celu należy skupić się na trzech aspektach: planowaniu jakości, zapewnieniu jakości, kontroli i doskonaleniu jakości. Najbardziej rozpowszechnionym modelem ciągłego doskonalenia jest cykl Deminga (zwany również cyklem Shewharta czy też cyklem *PDCA*), który bazuje na czterech krokach (rys. 3.6):

- **zaplanuj** (ang. Plan), w którym określana jest zmiana w systemie, która ma na celu poprawę.
- **wykonaj** (ang. Do), w którym przeprowadzana jest zmiana, zazwyczaj w małej lub pilotowej skali, aby zapewnić, że pożądane cele zostaną osiągnięte.
- **sprawdź** (ang. Check), który polega na analizie wyników wprowadzonej zmiany w celu ustalenia, rzeczywiście przynosi ona lepsze rezultaty.
- **popraw** (ang. Act), w którym przyjmuje się zmianę bądź nie. W przypadku, gdy zmiana przynosi oczekiwane (lepsze) rezultaty należy uznać ją za normę, dokonać jej standaryzacji i monitorować jej stosowanie.



Rys. 3.6. Cykl Deminga [60]

Hamrol i Zymonik [88] twierdzą, że ciągłe doskonalenie stanowi szczególną funkcję realizowaną w ramach zarządzania jakością. Dotyczy ono zarówno poprawy jakości wyrobu, ale również procesów poprzez eliminację marnotrawstwa, lepszą organizację i stosowanie ulepszeń technicznych. Według autorów najczęściej doskonalenie ma charakter działań rutynowych, ale może również przybierać formę działań zorganizowanych [88]. Bravener [30] twierdzi, że ciągłe doskonalenie zaczyna się od prawidłowego zidentyfikowania problemu lub niezgodności, a następnie jego naprawy. Proces ten uwzględnia również naturę problemu i środowisko, w którym występuje problem, a następnie zmienia środowisko, aby problem nie powtórzył się. Według Bravener [30] ciągłe doskonalenie wymaga wdrożenia odpowiednich działań korygujących i zapobiegawczych w przypadku zauważenia niezgodności (jednostki niespełniającej wymagań) lub braku (jednostki niezgodnej pozbawionej pełnej wartości z zamierzonym użytkowaniem). Według autora, aby kontrolować niezgodności i braki, należy je zidentyfikować, odseparować od dobrego wyrobu i wyeliminować je w odpowiednim czasie. Na rys. 3.7 przedstawiono ideę działań zapobiegawczych w odniesieniu do działań korygujących. Działania korygujące rozwiązują powtarzające się problemy, a działania zapobiegawcze rozwiązują potencjalne problemy [30]. Działania korygujące powinny dotyczyć niezgodności zarówno udokumentowanych, jak i przyczyn pośrednich.



Rys. 3.7. Działania zapobiegawcze w odniesieniu do działań korygujących (opracowanie własne) [139]

3.2. Six Sigma jako nowoczesna koncepcja zarządzania jakością

Six Sigma została opracowana przez Motorolę w 1987 r. i została ona ukierunkowana na agresywny cel: 3, 4 ppm defektów [181]. Z czasem Six Sigma ewoluowała; np. w 1994 Larry Bossidy z AlliedSignal określił Six Sigmę jako inicjatywę biznesową, która umożliwia osiągnięcie założonych rezultatów, a także usprawnianie procesów i poszerzanie umiejętności wszystkich pracowników [181]. Według Hamrola i Zymonik [88] nadrzędnym celem Six Sigmy, postrzeganej jako koncepcja zarządzania jakością, jest redukcja kosztów, a także redukcja zmienności stanowiącej główną przyczynę wadliwości wyrobów. Wybrane definicje Six Sigmy zostały przedstawione w tab. 3.3.

Tabela 3.3. Wybrane definicje koncepcji Six Sigma (opracowanie własne)

Lp.	Autor/Autorzy	Definicja
1	2	3
1.	Blakeslee (1999)	<i>Bardzo wydajne, oparte na danych podejście do analizy podstawowych przyczyn problemów biznesowych i ich rozwiązywania [24].</i>
2.	Hahn, Doganaksoy i Hoerl (2000)	<i>Zdyscyplinowane i oparte na statystyce podejście do poprawy jakości produktu i procesu [84].</i>
3.	Pande, Neuman i Cavanagh (2003)	<i>Kompleksowy i elastyczny system osiągania, podtrzymywania i maksymalizacji sukcesu. Six Sigma jest jednoznacznie napędzana przez ścisłe zrozumienie potrzeb klientów, zdyscyplinowanym wykorzystaniem faktów, danych i analiz statystycznych oraz zwracaniu bacznej uwagi na zarządzanie, poprawę i odkrywanie procesów biznesowych [153].</i>
4.	Pyzdek (2003)	<i>Six Sigma to rygorystyczna, skoncentrowana i wysoce skuteczna implementacja sprawdzonych zasad i technik jakości. Wykorzystując elementy z pracy wielu pionierów jakości, Six Sigma dąży do uzyskania praktycznie bezbłędnej wydajności biznesowej.[163].</i>
5.	Wacker (2004)	<i>Six Sigma to zorganizowana, równoległa mezo-struktura, mająca na celu zmniejszenie zmienności w procesach organizacyjnych poprzez zastosowanie specjalistów od poprawy, uporządkowanej metody i wskaźników wydajności w celu osiągnięcia celów strategicznych.[209].</i>
6.	Evans i Lindsay (2005)	<i>Six Sigma to podejście poprawiające procesy biznesowe, które stara się znaleźć i wyeliminować przyczyny wad i błędów, skrócić czas cyklu i zmniejszyć koszty działalności równocześnie zwiększając wydajność i lepiej spełniając oczekiwania klientów [68].</i>
7.	Harry i Schroeder (2005)	<i>Proces gospodarczy, który umożliwia radykalną poprawę wyników finansowych przedsiębiorstwa poprzez planowanie i kontrolę przebiegu procesu, w taki sposób, aby zminimalizować zużycie surowców i powstawanie odpadów, przy jednoczesnym podnoszeniu poziomu zadowolenia klientów [89].</i>
8.	Brady i Allen (2006)	<i>Poparte technikami statystycznymi, zorganizowane i systematyczne podejście do procesu doskonalenia, mające na celu obniżenie wskaźnika defektów [29].</i>

Kontynuacja na kolejnej stronie

1	2	3
9.	Antony (2007)	<i>Systematyczna metodologia, która daje pracownikom statystyczne i niestatystyczne narzędzia i techniki, w celu uzyskania wiedzy na temat procesów i produktów krytycznych, niezbędnych do osiągnięcia zarówno operacyjnej, jak i biznesowej doskonałości [13].</i>
10.	Motorola University (2008)	<i>Strategia skupiająca uwagę na wymaganiach klientów, ciągłemu dostosowywaniu procesów, rygorze analitycznym oraz realizacji zadań w odpowiednim momencie [142].</i>
11.	Khajuria (2018)	<i>Six Sigma to dobrze znany standard utrzymania wydajności i jakości. Jest to podejście zdyscyplinowane i zorganizowane, które koncentruje się na ciągłym dostarczaniu doskonałego produktu lub usługi klientowi. [109].</i>

Karaszewski [106] uważa, że do kluczowych obszarów zastosowań metody Six Sigma można zaliczyć: redukcję kosztów, poprawę produktywności, utrzymanie klientów, redukcję defektów, zmiany kulturowe oraz rozwój produktów i usług. Harry i Schroeder [89] zauważają, że Six Sigma bazuje na analizie zmienności, których źródłami są:

- niewłaściwie przyjęte marginesy błędów założonych w fazie projektu produktów i procesów,
- jakość półproduktów i materiałów niezbędnych do produkcji, dostarczanych przez innych dostawców,
- ograniczone zdolności produkcyjne procesów,
- niezdolność procesów do spełnienia oczekiwań i wymagań klientów.

Hamrol i Zymonik [88] wskazują trzy wyróżniki koncepcji Six Sigma:

- cykl doskonalenia *DMAIC*,
- miernik poziomu jakości (poziom sigma),
- sformalizowana struktura zespołów doskonalących.

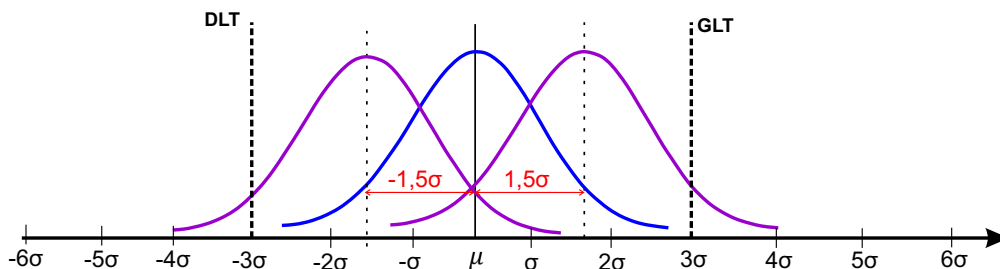
Pyzdek [163] określa Six Sigmę jako pięciostopniowy proces osiągnięcia celu i doskonalenia procesu, który opisany jest poprzez cykl *DMAIC*. Cykl ten wymaga podejmowania odpowiednich działań z odpowiednimi narzędziami, w odpowiedniej fazie (tab. 3.4) i jest odpowiednikiem cyklu Shewharta (cyklu *PDCA*).

Tabela 3.4. Działania, narzędzia i metody w cyklu *DMAIC* (opracowanie własne na podstawie [57], [88])

Lp.	Faza cyklu	Działania	Narzędzia i metody
1	2	3	4
1.	Define (wybór problemu i analiza korzyści)	M1. Identyfikacja i mapowanie kluczowych procesów M2. Identyfikacja interesariuszy M3. Określenie priorytetowych potrzeb i wymagań klientów M4. Biznesowe uzasadnienie wyboru projektu realizacji założonych celów	ND1. Burza mózgów ND2. Karta projektu ND3. Mapa procesu ND4. Mapa wartości ND5. Diagram <i>SIPOC</i> ND6. <i>QFD</i>
2.	Measure (przełożenie problemu na formę mierzalną i krytyczna ocena bieżącej sytuacji; redefinicja celów)	M1. Wybór cech krytycznych dla jakości (<i>CTQ</i>) M2. Określenie definicji operacyjnych dla <i>CTQ</i> i wymagań klientów M3. Sprawdzenie poprawności systemów pomiarowych dla <i>CTQ</i> M4. Ocena aktualnej zdolności procesu M5. Definiowanie i potwierdzenie celów	NM1. Plan zbierania danych NM2. Pomiary, obserwacje NM3. Diagram Pareto-Lorenza NM4. Histogram NM5. <i>MSA</i> NM6. Karty kontrolne i zdolność procesu NM7. <i>FMEA</i>
3.	Analyse (identyfikacja czynników wpływu i przyczyn, które determinują zachowanie <i>CTQ</i>)	A1. Identyfikacja potencjalnych czynników wpływu (źródła marnotrawstwa, zmienności i wąskich gardeł) A2. Wybór istotnych czynników wpływu	NA1. 5 Why NA2. Analiza Pareto-Lorenza NA3. Diagram Ishikawy NA4. Narzędzia statystyczne np. testowanie hipotez, regresja, analiza ANOVA
4.	Improve (projektowanie i wdrożenie usprawnień procesu w celu poprawy wydajności <i>CTQ</i>)	I1. Określenie ilościowych relacji między <i>KPC</i> i <i>CTQ</i> I2. Projektowanie działań, które zmodyfikują proces lub ustalenia <i>KPC</i> w taki sposób, aby zrównoważyć <i>CTQ</i> I3. Test pilotażowy działań usprawniających	NI1. Eksperymenty NI2. Poka yoke NI3. Usprawnianie procesów: efekt ssania (pull), szybkie przezbrajanie (<i>SMED</i>), zwiększenie gotowości maszyn <i>TPM</i>
5.	Control (empiryczna weryfikacja wyników projektu i dostosowanie systemu zarządzania procesem oraz kontroli w celu zapewnienia trwałej poprawy)	C1. Określenie nowej zdolności procesu C2. Wdrożenie planu kontroli	NC1. Plan zbierania danych NC2. Pomiary i obserwacje NC3. Narzędzia statystyczne NC4. Karty kontrolne

Według Thompsona i zespołu [206] koncepcja Six Sigma zakłada, że nawet najbardziej ustabilizowane procesy w dłuższej perspektywie ulegają przesunięciu o $\pm 1,5\sigma$ (statystyczne uzasadnienie wartości $\pm 1,5$ podaje Bothe [26]). Jest to tzw. „długoterminowa dynamika zmienności wartości średniej”. Jednocześnie dąży się do podwyższenia zdolności jakościowej procesu do poziomu co najmniej do $c_p = 2$ poprzez zwiększenie marginesu projektowania (granice specyfikacji wynikające z wymagań klienta, były znacznie wyższe niż te wynikające z natury procesu).

Zgodnie z podejściem Six Sigma w zakresie tolerancji $\pm 3\sigma$ znajduje się 93,3 % wszystkich obserwacji, co oznacza, że około 67 szt. na 1000 będzie wadliwych (rys. 3.8). Thompson i zespołu [206] podkreślają, że 6 sigma oznacza poziom jakości, który nie odnosi się do całego produktu, ale do pojedynczej cechy *CTQ*. Np. weźmy samochód klasy jakości 6 sigma, nie oznacza to, że na milion wyprodukowanych samochodów tego typu będzie 3,4 pojazdu. Oznacza to, że prawdopodobieństwo wystąpienia wady w obrębie cechy krytycznej wynosi przeciętnie 3,4 na milion.



Rys. 3.8. Graficzna prezentacja idei długoterminowej dynamiki zmienności wartości średniej (opracowanie własne)

Poziom sigma to miara skuteczności opisująca zdolność produktu, usługi lub procesu do osiągnięcia zdefiniowanych potrzeb klienta. Odzwierciedla ona stopień zmienności procesu w odniesieniu do specyfikacji klienta, poprzez określenie liczby wad na milion wystąpień, czyli w języku tej koncepcji tzw. możliwości. Jeśli sigma wynosi 0-2, to zmienność jest nadmierna; zmienność umiarkowaną charakteryzuje sigma w przedziale 3-5. Natomiast sigma na poziomie 6 oznacza bardzo małą zmienność (tab. 3.5).

Tabela 3.5. Porównanie podejścia 3σ i 6σ (opracowanie własne)

Zakres zmienności	Poziom sigma	wartości wewnątrz zakresu zmienności [%]		wartości na zewnątrz zakresu zmienności [%]	
		podejście 3σ	podejście 6σ	podejście 3σ	podejście 6σ
$\pm\sigma$	σ	68,27	30,1	69,9	31,73
$\pm 2\sigma$	2σ	95,45	69,1	30,9	4,55
$\pm 3\sigma$	3σ	99,73	93,3	6,7	0,27
$\pm 4\sigma$	4σ	99,9937	99,38	0,62	0,0063
$\pm 5\sigma$	5σ	99,999943	99,977	0,023	0,000057
$\pm 6\sigma$	6σ	99,9999973	99,99966	0,00034	0,000002

Snee i Hoerl [190] podkreślają, że Six Sigma reguluje zależność pomiędzy długo- i krótkoterminową zmiennością (ang. long term and short term variation), których definicję określono w rozdz. 3.7. Według autorów najlepszą długoterminową wydajność procesu osiąga się w przypadku, gdy przesunięcie jego średniej jest nie większe niż $\pm 1,5$ krótkoterminowego odchylenia standardowego. W praktyce oznacza to, że całkowita zmienność procesu kształtuje się następująco:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{całkowita}}^2 &= \sigma_{\text{krótkoterminowa}}^2 + \sigma_{\text{długoterminowa}}^2 = \\
 &= \sigma_{\text{krótkoterminowa}}^2 + \frac{1}{4}\sigma_{\text{krótkoterminowa}}^2 = \\
 &= 1,25\sigma_{\text{krótkoterminowa}}^2.
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Stąd wynika, że **długoterminowa zmienność stanowi połowę zmienności krótkoterminowej** (w ujęciu wariancji).

W ujęciu procentowym zależność pomiędzy długo- i krótkoterminową zmiennością wynosi:

$$\frac{\sigma_{długoterminowa}^2}{\sigma_{całkowita}^2} = \frac{\frac{1}{4}\sigma_{krótkoterminowa}^2}{\frac{5}{4}\sigma_{krótkoterminowa}^2} = 20\%. \quad (3.2)$$

Dlatego każda długoterminowa zmienność mniejsza niż 20% całkowitej wariancji jest uważana za dobrą, a poprawa może nie być warta wysiłku z ekonomicznego punktu widzenia [190].

W tab. 3.6 zestawiono interpretację długoterminowej zmienności w aspekcie oceny stabilności procesu zaproponowaną przez Snee i Hoerl [190].

Tabela 3.6. Ocena stabilności procesu z uwagi na długoterminową zmienność [190]

Udział procentowy długoterminowej zmienności	Stabilność procesu
< 20%	nie ma problemu
[20% – 30%]	może występować problem
> 30%	należy rozważyć podjęcie działań korygujących

Problematyka sformalizowanej struktury zespołów doskonalących nie została szerzej omówiona w niniejszej pracy, z uwagi, że zagadnienie to nie stanowi przedmiotu badań niniejszej rozprawy. Więcej na temat integracji struktury organizacyjnej w koncepcji Six Sigma można znaleźć w pracy np. Zhang, Hill i Gilbreath [226].

Według De Mast i Lokkerbol [57] zarówno koncepcja Six Sigma jak i cykl *DMAIC* zostały zainicjowane i rozwijane w praktyce. Wykorzystano w nich wiedzę z dziedziny inżynierii jakości, włączając również pomysły ze statystycznego sterowania procesem czy *TQM*. Ich szerokie zastosowanie w praktyce gwarantuje także krytyczną analizę naukową. Jednym z aspektów naukowej oceny koncepcji Six Sigmy jest porównanie jej zasad w odniesieniu ustalonych teorii naukowych.

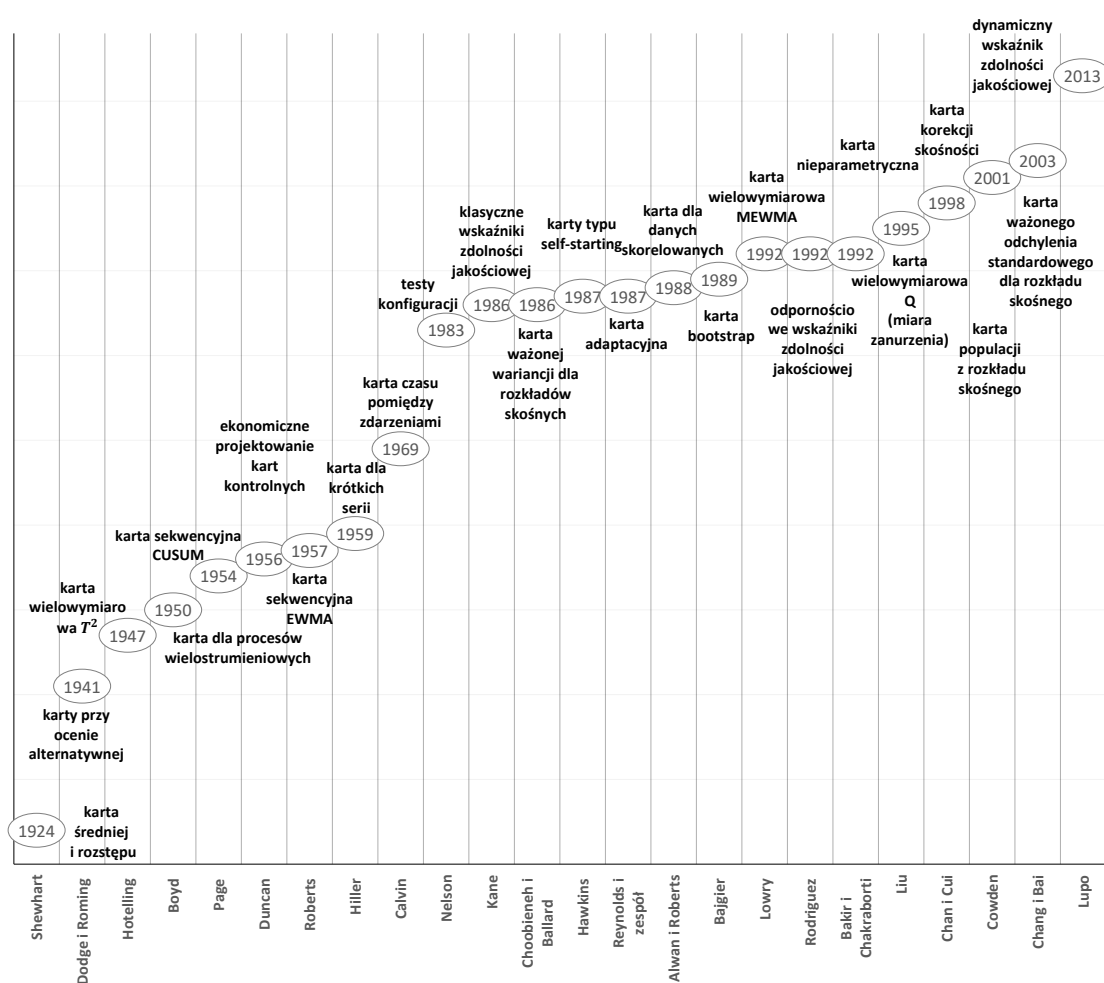
3.3. Charakterystyka metody Statystycznego Sterowania Procesem

Statystyczne Sterowanie Procesem (ang. Statistical Process Control, *SPC*), stanowi podobszar Statystycznej Kontroli Jakości (ang. Statistical Quality Control, *SQC*) i składa się z metod zrozumienia, monitorowania i poprawy wydajności procesu w czasie [219]. Założki *SPC* datuje się na lata 20-te XX wieku, kiedy to Walter Shewhart z American Bell Telephone Laboratories, zastosował karty kontrolne, które uważane są za podstawowe narzędzie *SPC*, w celach przemysłowych [134]. W tej koncepcji *SPC* służyło do wczesnego wykrywania pojawiających się zaburzeń procesu produkcyjnego, poprzez identyfikację tzw. zakłóceń specjalnych (ang. Assignable Causes) [219].

Shewhart [185] zdefiniował *SPC* w obszarze produkcji jako wykrywanie i usuwanie kolejnych systematycznych (nielosowych) czynników zakłócających przebieg procesu technologicznego poprzez stosowanie zasad i technik statystycznych na wszystkich etapach produkcji, ukierunkowanych na wytwarzanie produktu, który jest maksymalnie użyteczny i ma rynek zbytu. Wówczas *SPC* ograniczone było niemal wyłącznie do sfery procesów produkcyjnych - szczególnie tych związanych

z masową produkcją [171]. W obecnej postaci *SPC* może być wykorzystywane daleko poza środowiskiem produkcyjnym - np. w medycynie, transporcie, bankowości czy też w usługach.

Liczne badania naukowców, tj. Bothe, Wheeler, Pyzdek, Quesenberry, Woodall, Wheeler i innych, w obszarze *SPC* przyczyniły się do ewoluowania tego podejścia (rys. 3.9). *SPC* obecnie nie stanowi już jedynie zbioru technik, ale stało się sposobem myślenia o poprawie jakości i jest uważane w wielu organizacjach za ważny element innych koncepcji zarządzania jakością, takich jak Kompleksowe Zarządzanie Jakością, czy też Six Sigma. Odgrywa ono istotną rolę w podejmowanych przez kierownictwo przedsiębiorstw produkcyjnych, wysiłkach do poprawy konkurencyjności ich produktów, usług, cen i dostaw [19]. Wybrane definicje *SPC* zestawiono w tab. 3.7.



Rys. 3.9. Diagram ewolucji SPC (opracowanie własne)

Tabela 3.7. Wybrane definicje metody SPC (opracowanie własne)

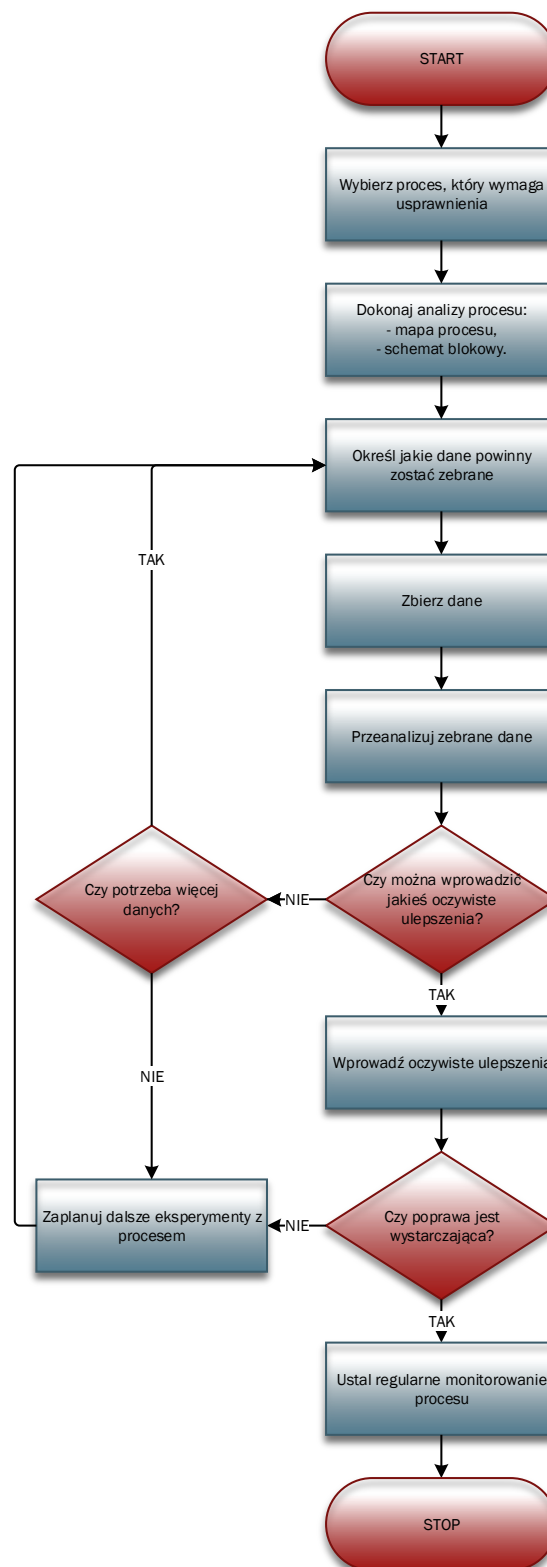
Lp.	Autor/Autorzy	Definicja
1	2	3
1.	Shewhart (1931)	<i>Wykrywanie i usuwanie kolejnych systematycznych czynników zakłócających przebieg procesu technologicznego poprzez stosowanie zasad i technik statystycznych na wszystkich etapach produkcji [185].</i>
2.	Deming (1982)	<i>Metoda uzyskiwania i pomiaru stałej poprawy jakości [58].</i>
3.	Dietrich i Schulze (2000)	<i>System informacji o procesie [59].</i>
4.	Thompson, Koronacki i Nieckuła (2005)	<i>Strategia systematycznej, etapowej optymalizacji procesu produkcji [206].</i>
5.	Yang i Sheu (2006)	<i>Strategia doskonalenia jakości, która umożliwia redukcję zmienności procesów [221].</i>
6.	Hart i Hart (2007)	<i>Analityczne narzędzie do podejmowania decyzji, które pozwala zobaczyć, kiedy proces działa poprawnie, a kiedy nie. [90].</i>
7.	Matuszak-Flejszman i Łuczak (2007)	<i>Zespół narzędzi, które służą nadzorowaniu powtarzalnego procesu, w celu stwierdzenia, czy przebiega on w granicach dla niego ustalonych. Ma to zapewnić, że efekt finalny procesu – produkt, jest oczekiwanej i powtarzalnej jakości [133].</i>
8.	Oakland (2008)	<i>SPC nie jest jedynie zbiorem narzędzi. Jest strategią redukcji zmienności (w aspekcie wyrobów i produktów, dostaw, materiałów, postaw ludzi, sprzętu i jego zastosowania oraz wszystkich innych), która jest główną przyczyną problemów jakościowych [150].</i>
9.	Rahman wraz z zespołem (2008)	<i>Technika stosowana w programach zapewnienia jakości i / lub praktykach TQM do kontrolowania, monitorowania i zarządzania procesem wytwarzania lub usługi przy wykorzystaniu metod statystycznych [165].</i>
10.	Liu (2010)	<i>Monitorowanie procesu w czasie i wykrywanie zmian podstawowego rozkładu prawdopodobieństwa poprzez monitorowanie charakterystyki jakości ze względu na źródła zmienności [125].</i>
11.	PN-ISO 3534-2 (2010)	<i>Działania ukierunkowane na wykorzystanie metod statystycznych w celu redukcji zmienności, zwiększenia wiedzy o procesie i kierowania procesem w porządkowany sposób [156].</i>
12.	Keller (2011)	<i>Podstawowe narzędzie do analizy procesu - jego oceny i doskonalenia [108].</i>

Kontynuacja na kolejnej stronie

1	2	3
13.	Akram, Saif i Rahim (2012)	<i>Zbiór narzędzi i technik zapewniających system kontroli jakości, który można wykorzystać do monitorowania, kontrolowania i ulepszania procesu [7].</i>
14.	Mroczko (2012)	<i>Pewna filozofia przyjęta przez organizację, służąca ograniczeniu zmienności procesów poza dopuszczalne granice, a tym samym unikaniu strat spowodowanych różnorodnymi błędami i wadami [144].</i>
15.	Stapenhurst (2013)	<i>Wykorzystanie statystycznych narzędzi i technik głównie do zarządzania i ulepszania procesów [193].</i>
16.	Evans (2016)	<i>Metodologia monitorowania procesu w celu identyfikacji szczególnych przyczyn zmienności, sygnalizująca potrzebę podjęcia odpowiednich działań korygujących [66].</i>
17.	Evans (2016)	<i>Sprawdzona technika doskonalenia jakości i produktywności [66].</i>
18.	Summers (2017)	<i>Zapobieganie defektom poprzez zastosowanie metod statystycznych do kontrolowania procesu [199].</i>

Według Deminga [168] celem *SPC* jest stała poprawa jakości, a nie tylko utrzymywanie jej na założonym poziomie. Okland [150] definiuje *SPC* jako proste, skuteczne podejście do rozwiązywania problemów i poprawy procesu, a nawet powstrzymywania „produkcji chaosu” (rys. 3.10). Wskazuje on następujące korzyści, które wynikają z takiego podejścia:

- *SPC* może być powszechnie stosowane przez każdego z pracowników np. menedżera, operatora, czy też inżyniera,
- brak ograniczeń co do wybieranego typu problemu jakościowego, a zarazem pewność jego rozwiązania,
- podejmowane decyzje opierają się na faktach popartych odpowiednimi analizami,
- wzrost „świadomości jakościowej” wśród pracowników produkcyjnych poprzez bezpośrednie zaangażowanie w doskonalenie procesu,
- potencjał wiedzy oraz doświadczenie osób zaangażowanych w doskonalenie procesu, jest lepiej wykorzystywany.



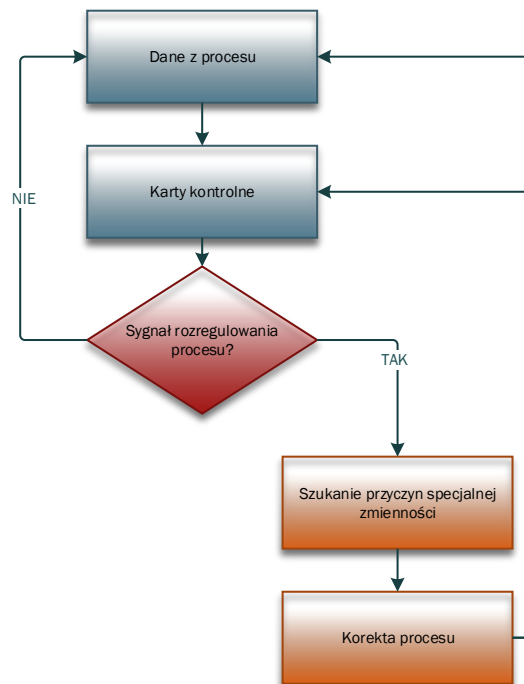
Rys. 3.10. Algorytm SPC jako podejścia do rozwiązywania problemów [150]

Noskievičová i JarošovÁ [148] zwracają uwagę na cztery fazy rozwiązywania problemów *SPC*:

- **I Faza** – która obejmuje przygotowanie do wdrożenia *SPC*.
- **II Faza** – w której następuje weryfikacja i zapewnienie statystycznej stabilności procesu.

- **III Faza** – w której następuje weryfikacja i zapewnienie odpowiedniego poziomu zdolności procesu.
- **IV Faza** – która obejmuje kontrolę procesu z wykorzystaniem *SPC*.

Akram, Saif oraz Rahim [7] definiują *SPC* jako zbiór narzędzi i technik zapewniających system kontroli jakości, który można wykorzystać do monitorowania, kontrolowania i ulepszania procesu. Według nich *SPC* składa się z trzech grup działań: zrozumienia procesu, zrozumienia przyczyn zmienności i wyeliminowania źródeł zmienności (Rys. 3.11).



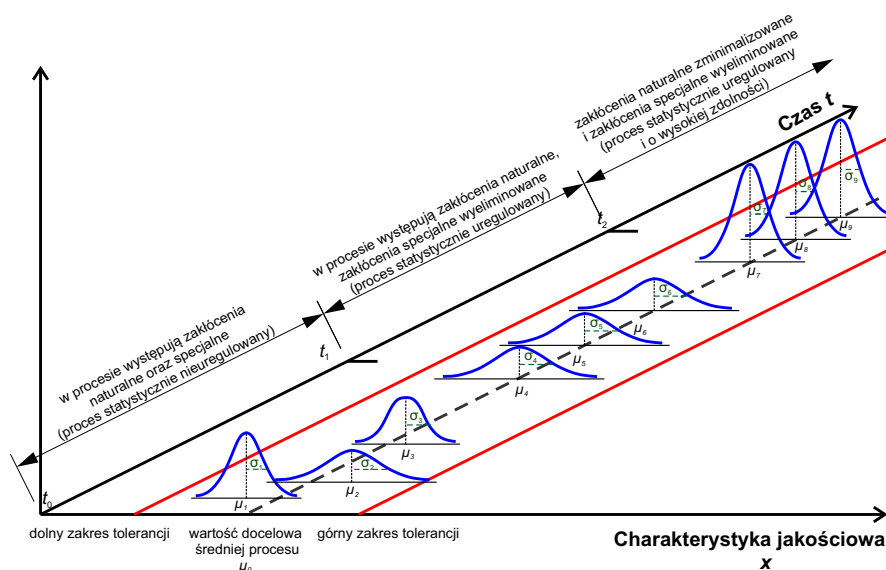
Rys. 3.11. Schemat tradycyjnego *SPC* wg Akram, Saif i Rahim (opracowanie własne na podstawie [7])

Akram, Sif i Rahim [7] uważają, że na etapie zrozumienia procesu zazwyczaj mapuje się, a następnie monitoruje proces za pomocą kart kontrolnych. Gdy jest on stabilny przeprowadzana jest analiza zdolności procesu. W przypadku stwierdzenia nadmiernej zmienności lub stwierdzeniu braku zdolności procesu, należy przeprowadzić dalsze analizy, w celu określenia przyczyn tej zmienności. Po dokonaniu kwantyfikacji przyczyn zmienności, podejmuje się wysiłek na wyeliminowanie przyczyn, które są zarówno istotne statystycznie, jak i praktycznie.

Dulcos, Pillet oraz Avrillon [62] twierdzą, że celem *SPC* jest ocena statystycznej stabilności, co w praktyce oznacza wyeliminowanie specjalnych przyczyn zmienności, które powodują niestabilność procesu. Dodatkowo wskazują oni, że w ujęciu klasycznym (Shewharta), po usunięciu tych specjalnych przyczyn zmienności rozkład badanej charakterystyki powinien być zgodny z rozkładem normalnym [62].

Z kolei według Yanga i Sheu [221] *SPC* jest strategią doskonalenia jakości, która umożliwiła redukcję zmienności procesów. Sałaciński [179] wskazuje, że *SPC* opiera się o gromadzenie i prezentację danych pochodzących z procesu produkcyjnego, w celu opisanie zmienności warunków i charakterystyk w rzeczywistym czasie przebiegu procesu (tzw. kontrola *on-line*). Z kolei Hamrol [87] dostrzega, że

SPC wykorzystuje się nie tylko jako środek zapobiegania pojawiania się w procesie wyrobów niezgodnych, ale również jako sposób ciągłego doskonalenia, poprzez eliminację specjalnych oraz minimalizację wpływu naturalnych przyczyn zmienności (rys. 3.12).

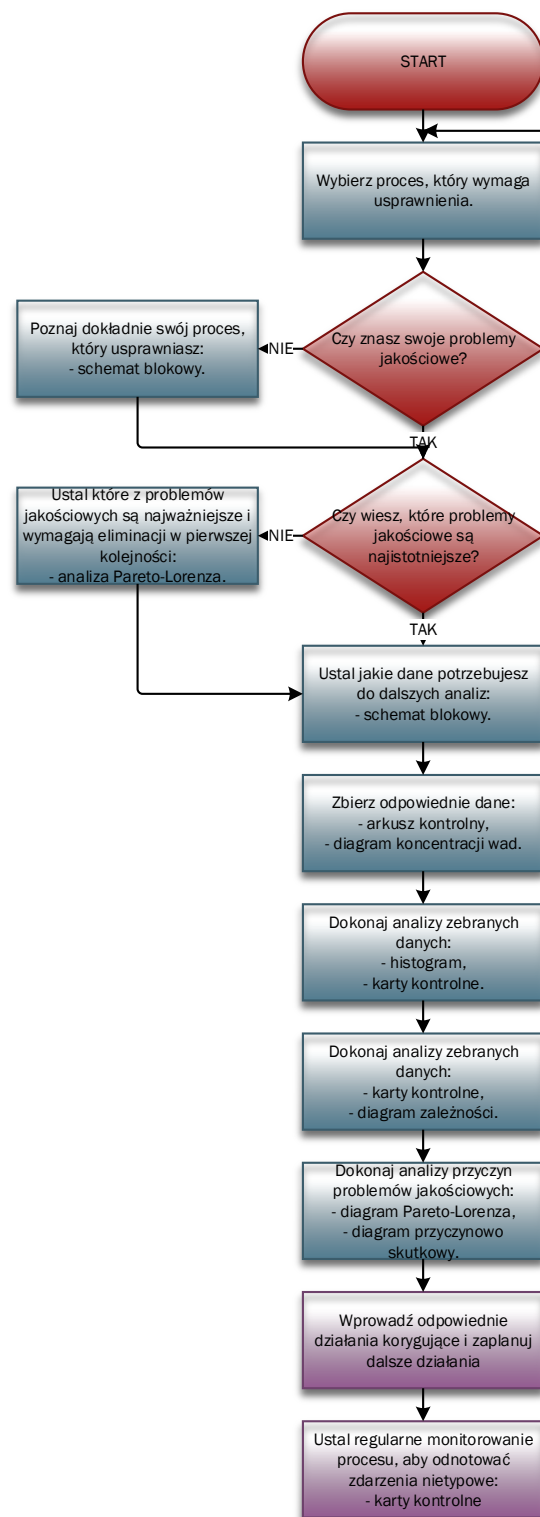


Rys. 3.12. Idea Statystycznego Sterowania Procesem w aspekcie redukcji zmienności (opracowanie własne na podstawie [59], [139])

Rahman wraz z zespołem [165] definiują *SPC* jako jedną z technik stosowanych w programach zapewnienia jakości i/lub praktykach *TQM* do kontrolowania, monitorowania i zarządzania procesem wytwarzania lub usługi przy wykorzystaniu metod statystycznych.

Według Montgomery [139], *SPC* opiera się na solidnych zasadach, jest łatwe zarówno w implementacji jak i w wykorzystywaniu w realiach produkcyjnych, a dzięki bogatemu wachlarzowi narzędzi jakie dostarcza może być stosowane do sterowania praktycznie każdym procesem produkcyjnym (rys. 3.13). Montgomery [139] i Okland [150] wyróżniają tzw. „siedem głównych narzędzi Statystycznego Sterowania Procesem” do których należą:

- histogram (ang. histogram) lub diagram łodyga-liście (ang. steam-and-leaf plot),
- arkusz kontrolny (ang. check sheet),
- diagram Pareto-Lorenza (ang. Pareto-Lorenz chart),
- diagram przyczynowo-skutkowy (ang. cause-and-effect diagram),
- diagram koncentracji wad (ang. defect concentration diagram),
- diagram zależności (ang. scatter diagram),
- karty kontrolne (ang. control chart).



Rys. 3.13. Algorytm wykorzystywania narzędzi SPC w sterowaniu jakością (opracowanie własne)

Magaji, Yahaya i Asiribo [129] twierdzą, że SPC obejmuje niektóre techniki analizowania procesów, polegających na porównywaniu wydajności, weryfikowaniu i badaniu odchylenia, jak również ciągłym analizowaniu procesów, mając wyłącznie na celu osiągnięcie najlepszych wydajności maszyn i/lub operatorów.

Manson i Antony [132] określili następujące korzyści wynikające z właściwej implementacji SPC:

- ograniczenie zmarnowanych wysiłków i kosztów,

- doskonalenie procesów = większa wydajność,
- poprawa spójności wyników procesu,
- przewidywalność procesu,
- redukcja zmienności,
- odróżnienie zmienności specjalnej od zmienności naturalnej,
- redukcja kosztów jakości,
- ujednoczenie w postrzeganiu wydajności procesu przez osoby z różnych działów,
- bardziej wydajne zarządzanie i lepsze zrozumienie procesu,
- redukcja czasu spędzanego „gaszeniu pożarów” związanych z problemami jakościowymi.

Thompson, Koronacki i Nieckuła [206] definiują *SPC* jako strategię systematycznej, etapowej optymalizacji procesu produkcji i wyróżniają trzy zasadnicze jej kroki:

- opracowanie mapy (diagramu) procesu,
- pobieranie losowych próbek, w regularnych odstępach czasu, a także dokonanie na nich odpowiednich pomiarów,
- wykorzystanie sygnałów o deregulacji procesu do wykrycia ich przyczyn, a następnie ich eliminacji.

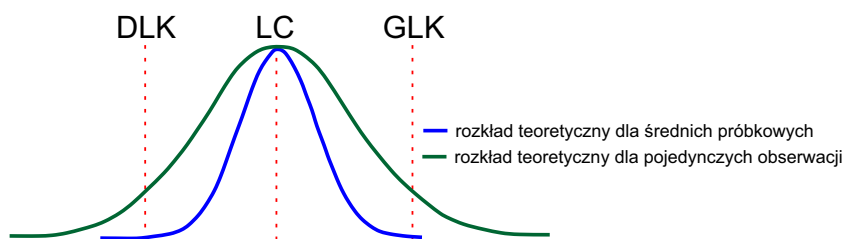
3.3.1. Karty kontrolne - klasyfikacja i syntetyczna charakterystyka w świetle współczesnych procesów produkcyjnych

Karty kontrolne stanowią jedno z podstawowych narzędzi *SPC* i służą do sprawdzania stabilności procesów produkcyjnych [219]. Według Jensena, Jonesa-Farmera, Champa i Woodala [98] stanowią one efektywne narzędzie do monitorowania jakości procesu i mogą zostać wdrożone w wielu przedsiębiorstwach. Manson i Antony [132] wskazują jednakże na słabą stronę kart kontrolnych, która wynika z faktu, że pojawiające się sygnały informują o możliwej deregulacji procesu, jednakże nie dają konkretnej informacji, co dokładnie wydarzyło się w procesie oraz jakie działania korygujące powinny zostać podjęte w celu poprawy jego przebiegu. Sugerują oni, że aby rozwiązać ten problem, należy zastosować środek zapobiegawczy na etapie operacyjnym, aby zapewnić pożądaną jakość produktu [132].

W zamierzeniu karty kontrolne miały umożliwić, osobie bez statystycznego przygotowania, monitorowanie bieżące (on-line) przebiegu procesu, z wykorzystaniem jedynie ołówka i papieru do przeprowadzenia odpowiednich obliczeń, a także sporządzenia odpowiedniego wykresu i jego interpretacji [195]. Według Yen, Hong i Ha [222] karty kontrolne umożliwiają identyfikację przyczyn specjalnych zmienności, których pojawienie się w procesie produkcyjnym powoduje zakłócenie jego poprawnego przebiegu. Czarski [52] określa fundamentalne zadanie kart kontrolnych jako odseparowanie sygnału od szumu. Przy czym określenie „szum” rozumiany

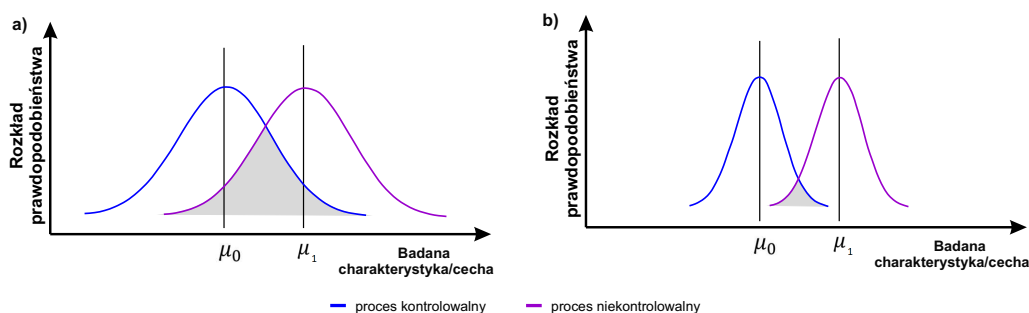
jest jako stały system czynników generujących zmienność, a „sygnał” odnosi się bezpośrednio do specjalnych przyczyn zmienności.

Kontrola procesu w ujęciu klasycznym i przy użyciu kart kontrolnych opiera się o proste podejście heurystyczne, które polega na tym, że pobiera się cztero- lub pięcioelementowe próbki w ustalonych odstępach czasu próbkowania i ustawieniu granic kontrolnych, w odległości trzech odchyłeń standardowych od wartości średniej procesu kontrolowanego [195]. Greber [82] podkreśla fakt, że w tej sytuacji rozkład kilkuelementowych próbek jest znacznie węższy niż rozkład populacji, z której były pobierane próbki (rys. 3.14). Dodatkowo widać wyraźnie, że zarówno dla jedno- jak i kilkuelementowej próbki wartość średnia μ procesu (na rys. 3.14 oznaczona jako LC) jest taka sama. Natomiast jeżeli chodzi o miarę zmienności procesu (odchylenie standardowe) to jest ona znacznie mniejsza w przypadku kilkuelementowej próbki. Wynika to z faktu, że jeżeli σ to odchylenie standardowe procesu, to odchylenie dla średnich z próbek wynosi $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ (gdzie n - liczność próbek) i jest mniejsze o czynnik $\sigma_E = \frac{1}{\sqrt{n}}$ (błąd standardowy średnich) [224]. Ponieważ wraz ze wzrostem liczebności próbki σ_E maleje, to dla utrzymania jednostkowej powierzchni pod krzywą rozkładu, musi ona być dostatecznie wyższa [224].



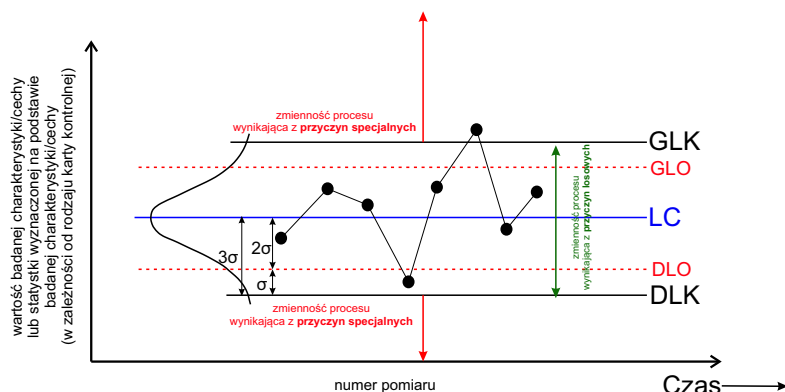
Rys. 3.14. Porównanie rozkładu kilkuelementowych próbek oraz całej populacji (opracowanie własne)

Z uwagi na rozrzut danych dla jedno- oraz kilkuelementowych próbek wykrycie dryfu (przesunięcia) wartości średniej może być utrudnione bądź wręcz niemożliwe w przypadku próbek jednoelementowych (rys. 3.15). Powodem jest wielkość nałożenia obszarów dla rozkładów procesu kontrolowanego z średnią μ_0 i niekontrolowanego ze średnią μ_1 .



Rys. 3.15. Idea identyfikacji dryfu wartości średniej dla a) jedno- b) kilkuelementowej próbki (opracowanie własne na podstawie [224])

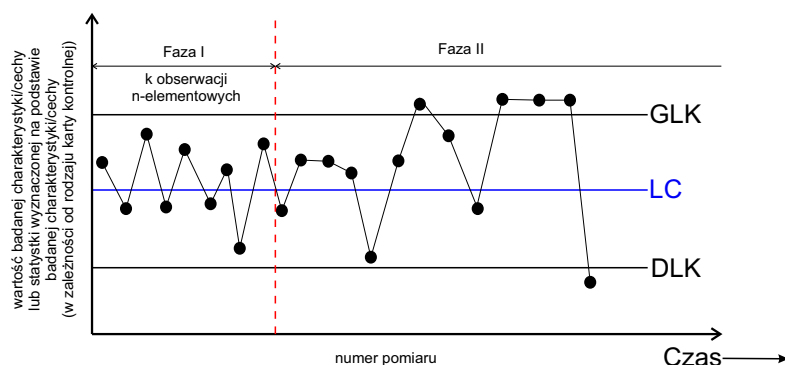
Przykładowy schemat wykresu z karty kontrolnej przedstawiono na rys. 3.16.



Rys. 3.16. Schemat wykresu z karty kontrolnej (opracowanie własne)

Według Jensena i zespołu [98] wdrażanie kart kontrolnych składa się z dwóch faz - fazy I (ang. Phase I) i fazy II (ang. Phase II). Według Torng i zespołu [207] faza I obejmuje ustawienie karty kontrolnej, a faza II odnosi się do monitorowania stanu kontrolowalnego procesu wytwórczego (rys. 3.17).

Według pracy Epprecht i zespołu [65] w klasycznym ujęciu sugeruje się pobranie 25 trójelementowych obserwacji w fazie I wdrażania kart kontrolnych. Z kolei Chen [42] rekomenduje 75 pięcioelementowych obserwacji.



Rys. 3.17. Idea wdrażania kart kontrolnych (opracowanie własne)

Jensen i zespół [98] twierdzą, że faza I ma na celu głównie określenie stanu statystycznej stabilności procesu poprzez ustalenie miary położenia (wyrażonej poprzez wartość średnią μ_0) oraz miary zmienności (wyrażonej przez odchylenie standardowe σ_0). Z kolei faza II dotyczy monitorowania bieżącego (on-line) wszelkich zmian zachodzących w procesie (tzn. zarówno dryfu wartości średniej jak i zmian w zmienności) [98].

Psarakis, Vyniou i Castaglia [160] zwracają uwagę, że kluczowym czynnikiem przy projektowaniu niezawodnych kart kontrolnych o szacowanych parametrach jest dokładność, wykorzystywanych w tym celu, estymatorów parametrów procesowych uzyskanych podczas fazy I implementacji kart kontrolnych. Badania Karagöz [103] wskazują wyraźnie, że klasyczne nieobciążone estymatory średniej $\mu = \bar{\bar{x}}$ czy zmienności $\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$ mogą być zbyt czułe na pojawiające się w pomiarach wartości odstające (ang. outliers), co ma szczególne znaczenie w przypadku, gdy zaburzone jest nieznacznie założenie normalności danych pomiarowych. Rozwiązaniem może okazać się wykorzystanie statystyk odpornościowych (ang. Robust Statistic). Według Warsza i Volodarsky [212] w rzeczywistości napotymane są procesy różniące się od idealnego rozkładu normalnego. Warsza i Volodarsky [212]

definiują statystyki odpornościowe jako brak wrażliwości wyznaczanych estymatorów na niewielkie odchylenia czy też niejednorodności rozrzutu elementów. Według autorów zmienna losowa reprezentuje tzw. model mieszany, tzn. dla różnych obserwacji wartość środkowa jest przybliżana rozkładem normalnym, natomiast ogony (tzn. zbocza modelu rzeczywistego rozkładu) są bardziej rozciągnięte niż w przypadku rozkładu normalnego i niestabilne. Dzięki temu podejściu przyjmuje się, że wartości odstające znajdują się w ogonach rzeczywistego rozkładu [212].

Woodall [218] zwraca uwagę, że prawidłowe interpretowanie wykresu kontrolnego w fazie I wymaga świadomości, że prawdopodobieństwo pojawienia się sygnałów może się znacznie różnić w zależności od kształtu podstawowego rozkładu dla procesu stabilnego, a założenie o rozkładzie procesu nie może zostać zweryfikowane na tym etapie z uwagi na fakt, że początkowo proces może być niestabilny (niekontrolowalny).

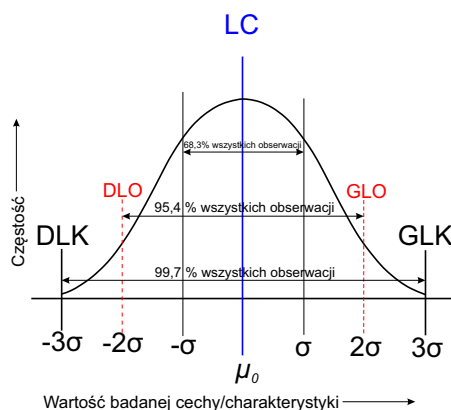
Magaji, Yahaya, Asiribo [129] wskazują, że:

- empiryczny rozkład danych pomiarowych dla procesu kontrolowanego powinien mieć charakter rozkładu normalnego bądź zbliżonego do rozkładu normalnego ze średnią μ_0 i odchyleniem standardowym σ_0 ($X \sim N(\mu_0, \sigma_0)$),
- pomiary w kolejnych interwałach czasowych powinny być niezależne (założenie o braku autokorelacji); zatem i – ta obserwacja j – tej próbki jest zdefiniowana jako $x_{ij} = \mu_0 + \varepsilon_{ij}$, $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$ oraz $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$ – zmienna losowa określony przez biały szum.

Requeijo i Souza [167] przytaczają dodatkowo trzy zasady odpowiedniego wdrożenia kart kontrolnych:

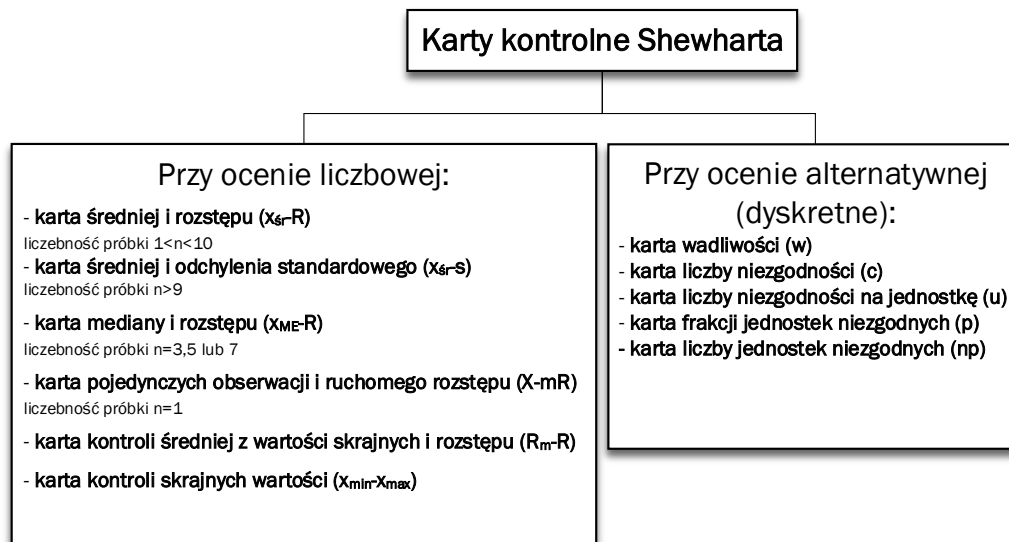
- **jednorodność próbek** – wszystkie jednostki wyrobów są wytwarzane w tych samych warunkach,
- **częstotliwości pobierania próbek** zgodna z charakterystyką procesu,
- **umieszczenie granic kontrolnych** w odległości trzech odchyłeń standardowych σ od linii centralnej statystycznego rozkładu badanej próbki (odpowiadające poziomowi istotności 0,027%).

Zgodnie z konwencją Shewharta w zakresie zmienności $\pm 3\sigma$ rozkładu normalnego mieści się praktycznie cały proces (rys. 3.18) [210]. W praktyce oznacza to, że ok. 99,73% obserwacji będzie mieściło się w granicach kontrolnych, a poza nimi znajdzie się ok. 0,27% czyli 2-3 sztuki na tysiąc, co w przeliczeniu na ppm daje 2700 szt. na milion wyrobów.



Rys. 3.18. Zakres zmienności cechy/charakterystyki opisanej rozkładem normalnym (opracowanie własne)

Klasyczne karty Shewharta (rys. 3.19) zostały opracowane dla modelu produkcji masowej i wielkoseryjnej, choć w produkcji krótkoseryjnej również mają zastosowanie [117]. Z czasem przemiany gospodarcze, rozwój technologiczny, zjawisko globalizacji oraz personalizacji rynku przyczyniły się do zmiany modelu produkcji z masowej na rzecz małych partii oraz krótkich przebiegów produkcyjnych. W konsekwencji tradycyjne karty kontrolne okazują się być nieskuteczne z uwagi na niespełnienie założenia o niezależności, czy też normalnym charakterze danych pomiarowych.



Rys. 3.19. Podział klasycznych kart kontrolnych Shewharta (opracowanie własne na podstawie [203])

W tab. 3.8 zestawiono charakterystykę klasycznych kart Shewharta wraz z obszarem ich wykorzystania.

Tabela 3.8. Charakterystyka klasycznych kart Shewharta (opracowanie własne na podstawie [202])

Lp.	Nazwa karty	Charakterystyka karty	Typ produkcji/danych
1	2	3	4
1.	$X_{sr} - R$	duża czułość na zachodzące zmiany w procesie	produkcja seryjna
2.	$X_{sr} - S$	większa czułość niż w przypadku karty $X_{sr} - R$; wymagane duże próbki; bardziej skomplikowane obliczenia	produkcja seryjna wyrobów precyzyjnych
3.	$X_{ME} - R$	mniejsza czułość niż w przypadku karty $X_{sr} - R$ i $X_{sr} - S$; łatwość obliczeń	produkcja seryjna – małe serie

Kontynuacja na kolejnej stronie

1	2	3	4
4.	$\bar{X} - mR$	niewielka czułość; prostota stosowania	produkcja seryjna – duże koszty pobierania próbek (np. wymagające jej zniszczenia)
5.	c	wymagana stała liczność próbek	analiza liczby niezgodności przypadających na jednostkę wyrobu
6.	u	brak czułości na zmienną licznosc próbek	analiza liczby niezgodności w wyrobie (stosunek liczby wad do liczby badanych jednostek)
7.	p	brak czułości na zmienną licznosc próbek	analiza frakcji jednostek niezgodnych
8.	np	wymagana stała licznosc próbek	analiza liczby jednostek niezgodnych

Według Russo, Camargo i Fabris [176] przyjmuje się, że proces jest kontrolowalny (statystycznie stabilny), kiedy wszystkie punkty na wykresie mieszczą się w granicach kontrolnych i rozmieszczenie punktów w granicach kontrolnych jest losowe.

Dodatkowo wskazują oni, że klasyczne karty kontrolne (karta średniej i ruchomego rozstępu oraz karta pojedynczych obserwacji) wraz z regułą odnoszącą się do przekroczenia granic kontrolnych, nie są zbyt czułe na niewielkie i umiarkowane zmiany parametrów procesu [176]. Autorzy sugerują, wykorzystanie dodatkowych reguł (tzw. testów konfiguracji) zaproponowanych przez m.in. Western Electric (tab. 3.9) czy też Nelsona (tab. 3.10), dzięki czemu uzyskuje się wzrost czułości karty na wykrywanie działania specjalnych przyczyn zmienności, jednakże wiąże się to również ze wzrostem ryzyka pojawienia się fałszywych sygnałów na karcie kontrolnej [176]. Testy konfiguracji można również znaleźć w Polskiej Normie PN-ISO 8258+AC1:1996 "Karty kontrolne Shewharta" [157].

Tabela 3.9. Testy konfiguracji wg Western Electrics (opracowanie własne na podstawie [46])

Test 1		Pojedynczy punkt poza zakresem $\pm 3\sigma$.
Test 2		Dwa z trzech kolejnych punktów poza zakresem $\pm 2\sigma$.

Kontynuacja na kolejnej stronie

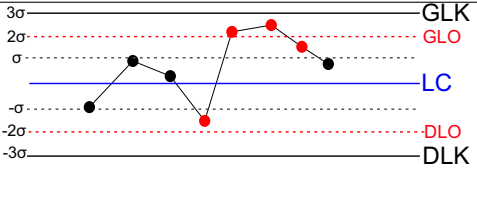
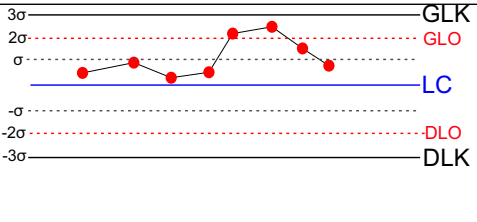
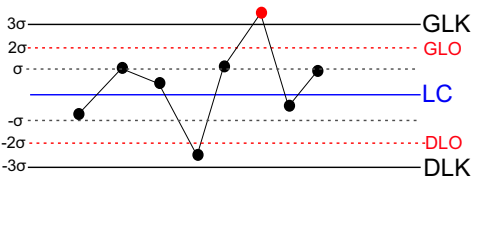
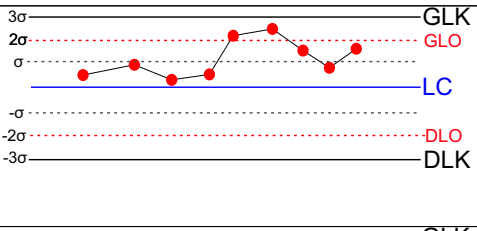
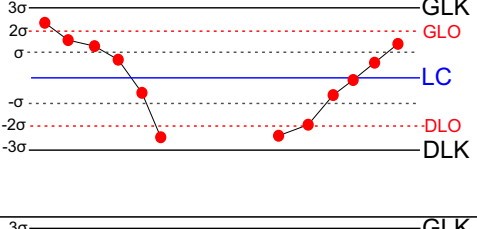
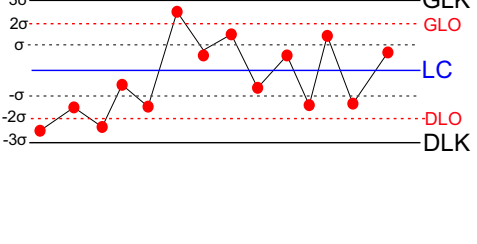
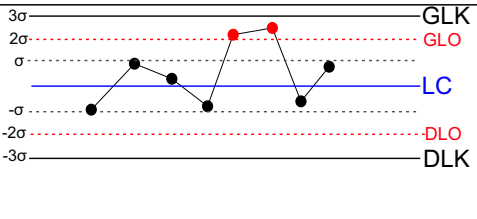
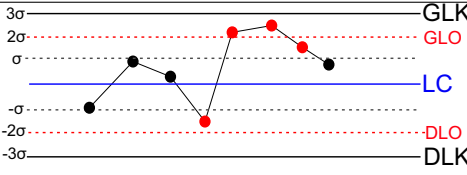
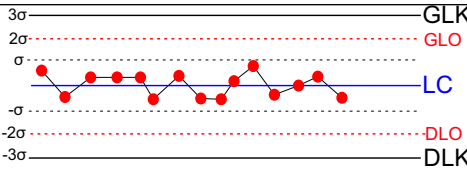
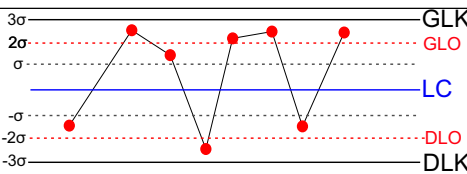
Test 3		Cztery z pięciu kolejnych punktów poza zakresem $\pm 1\sigma$.
Test 4		Osiem kolejnych punktów po jednej stronie LC .

Tabela 3.10. Testy konfiguracji wg Nelsona (opracowanie własne na podstawie [146])

Test 1		Pojedynczy punkt poza zakresem $\pm 3\sigma$.
Test 2		Dziewięć kolejnych punktów po jednej stronie LC .
Test 3		Sześć kolejnych punktów stale rosnących/malejących.
Test 4		Czternaście kolejnych punktów naprzemiennie rosnących/malejących.
Test 5		Dwa z trzech kolejnych punktów poza zakresem $\pm 2\sigma$.

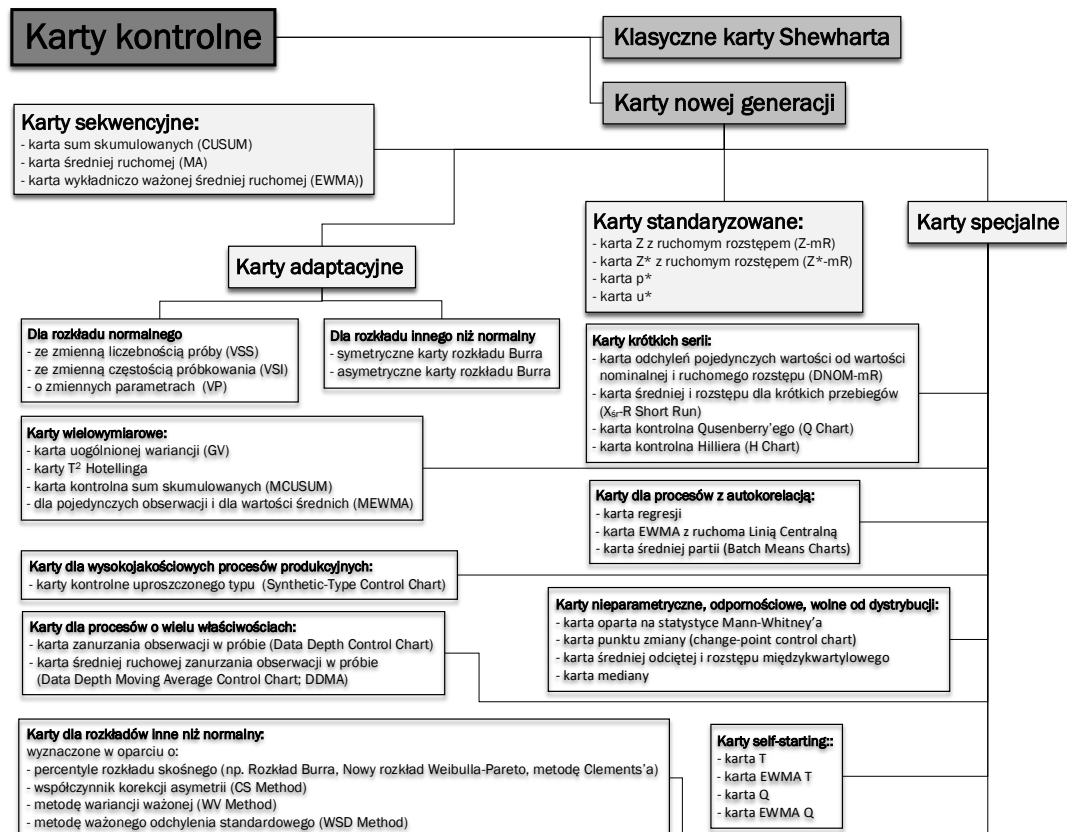
Kontynuacja na kolejnej stronie

Test 6		Cztery z pięciu kolejnych punktów poza zakresem $\pm 1\sigma$.
Test 7		Piętnaście kolejnych punktów w zakresie $\pm \sigma$.
Test 8		Osiem kolejnych punktów po obu stronach LC , ale żaden w zakresie $\pm \sigma$.

Lourenço [127] wskazuje trzy typowe, nielosowe zachowania procesu:

- **Okresowość** – wzrost/spadek w regularnych odstępach czasu. Okresowość pojawia się, gdy jeden z warunków operacyjnych procesu podlega okresowym zmianom lub podczas regularnej wymiany maszyn bądź operatorów.
- **Trend** – obserwacje wykazują tendencje wzrostowe/spadkowe. Wskazuje on na stopniowe pogarszanie się krytycznego procesu, które może być spowodowane zużyciem narzędzia i zmęczeniem operatora.
- **Przesunięcie** – zmiany przebiegu procesu. Przyczyną zmiany może być wprowadzenie nowych maszyn, nowych operatorów, nowych metod, a nawet programu jakości, który zwykle przynosi motywację i poprawia wydajność.

Obszerny przegląd literatury, przeprowadzony przez autorkę rozprawy, umożliwił stwierdzenie, że rozwój naukowy w obszarze kart kontrolnych doprowadził do sytuacji w której wiedza w tym zakresie nie została dostatecznie uporządkowana. Jest to spowodowane m.in. brakiem klasyfikacji proponowanych przez autorów rozwiązań, które w literaturze stanowią odniesienie do ściśle określonych sytuacji i brakuje usystematyzowania oraz klasyfikacji przedstawianych rozwiązań. Zatem efektem analizy literaturowej jest również próba uporządkowania wiedzy dotyczącej typów kart kontrolnych, które uwzględniają m.in. krótkoseryjność, brak założenia o normalnym charakterze czy też braku spełnienia założenia o braku autokorelacji danych pomiarowych. Na rys.3.20 przedstawiono propozycję podziału kart kontrolnych, które sklasyfikowano na dwie główne kategorie - klasyczne karty Shewharta i karty nowej generacji. Wśród kart nowej generacji wyszczególniono karty: sekwencyjne, adaptacyjne, standaryzowane i specjalne. Z kolei karty specjalne podzielono na karty: wielowymiarowe, dla procesów z autokorelacją, dla wysokojakościowych procesów produkcyjnych, dla procesów o wielu właściwościach, nieparametryczne, dla rozkładów innych niż normalny i typu self-starting.



Rys. 3.20. Podział kart kontrolnych (opracowanie własne na podstawie [A3], [A4])

Magaji, Yahaya i Asiribo [129] sugerują wykorzystanie sekwencyjnych kart kontrolnych tj. *CUSUM* (ang. Cumulative Sum Control Chart; karta sum skumulowanych) czy też *EWMA* (ang. Exponential Weighted Moving Average; karta wykładniczo-ważonej średniej ruchomej) w celu zagwarantowania większej czułości karty, na zmiany zachodzące w procesie. Bartkowiak [18] twierdzi, że karty sekwencyjne umożliwiają szybsze wykrycie pojawienia się trendów czy też niewielkich przesunięć wartości średniej procesu. Montgomery [139] argumentuje ten fakt tym, że klasyczne karty ignorują wszelkie informacje podane przez cały ciąg punktów i wykorzystują jedynie informacje na temat procesu z ostatniej obserwacji próbki. Więcej informacji na temat sekwencyjnych kart kontrolnych można znaleźć w pracach np. Crowder i Vander Wiel [50], Chang i Gan [39], czy też Castagliola i Maravelakis [32].

Olszewska [152] jako alternatywę dla sekwencyjnych kart kontrolnych wskazuje karty adaptacyjne, gdyż z wysoką czułością wskazują one nawet na niewielkie zmiany zachodzące w procesie. Psarakis [159] zdefiniował kartę adaptacyjną jako kartę kontrolną, dla której możliwa jest zmiana w czasie rzeczywistym jednego z następujących parametrów: częstość próbkowania, wielkość próby, współczynnik dla granic kontrolnych. Według Psarakisa [159] karty adaptacyjne swoją zwiększoną efektywność zawdzięczają wykorzystaniu danych archiwalnych do określenia przyszłego schematu przebiegu procesu, zgodnie z którym w momencie, gdy aktualny pomiar znajdzie się zbyt daleko od linii centralnej, to istnieje podejrzenie, że proces uległ przesunięciu. W przeciwnym razie można uznać, że proces przebiega w sposób właściwy [159]. Zgodnie z pracą Paraskisa [159] uzasadnione jest zwiększenie wielkości próby przy jednoczesnym zmniejszeniu częstości próbkowania w przypadku, gdy pomiary znajdują się wewnątrz granic kontrolnych, a zarazem

w bliskiej odległości od nich. W przypadku położenia danych pomiarowych w okolicach LC może być przesłanką do równoczesnego zmniejszenia wielkości próby oraz zwiększenia częstości próbkowania. Wśród kart adaptacyjnych można wyróżnić następujące typy: ze zmienną liczebnością próby (ang. Variable Sample Size chart; VSS), ze zmienną częstością próbkowania (ang. Variable Sampling Interval chart; VSI), o zmiennych parametrach (ang. Variable Parameters chart; VP), symetryczne i asymetryczne karty Burra. Karty adaptacyjne stanowiły również przedmiot badań takich autorów jak: Costa [47], Jensen, Bryce i Reynolds [97], Lin i Chou [124], Prabhu, Montgomery i Runger [158], Reynolds [169], Zimmer, Montgomery i Runger [228].

Kujawińska i Więcek-Janka [119] oraz Torng, Liao, Lee i Wu [207] wskazują, że założenie o normalności rozkładu danych pomiarowych w rzeczywistych przypadkach produkcyjnych, a w szczególności chociażby produkcji krótkoseryjnej, jest fałszywe, a wykorzystywanie klasycznych kart kontrolnych może nieść za sobą poważne konsekwencje tj. fałszywe sygnały na karcie kontrolnej, niewykrywanie przyczyn specjalnych zmienności procesu. Kujawińska i Więcek-Janka [119] wskazują również, że dominacja produkcji wieloasortymentowej, charakteryzująca się m.in. licznymi konfiguracjami wyrobów, prowadzi do sytuacji, w której generowana jest ogromna ilość kart kontrolnych, co w konsekwencji skutkuje brakiem realnej kontroli rzeczywistego przebiegu procesu [119]. Kowalczyk [117] sugeruje, w tego typu przypadkach, wykorzystanie kart standaryzowanych, które z uwagi na uniwersalność w zastosowaniu nie wymagają praktyczne żadnych założeń wstępnych i dają możliwość analizy *KPC* (ang. key product characteristic; kluczowe cechy/charakterystyki wyrobu) o różnych parametrach na jednej karcie. Dodatkowo Oakland [150] podkreśla skuteczność kart standaryzowanych w sytuacji, w której wartości liczbowe tolerancji znacznie różnią się z wyrobu na wyrób. Przykładowymi kartami standaryzowanymi są karty Z i Z^* (obie najczęściej prowadzone są z ruchomym rozstępem mR), u^* oraz p^* . Więcej na temat standaryzowanych kart kontrolnych można znaleźć w pracy takich autorów jak: Darestani i Aminpour [56], Nelson [147] czy Wheeler [214].

Boyapati, Nasiru oraz Lakshmi [28] podkreślają, że w przypadku krótkich przebiegów produkcyjnych, zazwyczaj zebranie odpowiedniej liczby pomiarów do wyznaczenia granic kontrolnych jest utrudnione, a w niektórych sytuacjach wręcz niemożliwe. Wówczas ocena statystycznej stabilności (uregulowania) procesu następuje po zakończeniu przebiegu produkcyjnego. Boyapati, Nasiru i Lakshmi [28] sugerują wykorzystanie karty odchyień pojedynczych wartości od wartości nominalnej i ruchomego rozstępu (ang. Deviations from Nominal; $DNOM - mR$). Jednakże w przypadku wprowadzenia tego typu karty wiąże się to z koniecznością weryfikacji, czy zmienność procesu w odniesieniu do poszczególnych serii jest jednakowa [149]. Innymi przykładami kart, które nie wymagają żadnych założeń początkowych i wielu pomiarów są karty Qusenberry'ego (Q) czy Hillera. Autorzy, którzy podejmowali tematykę związaną z kartami kontrolnymi dedykowanymi dla krótkich przebiegów produkcyjnych to m.in.: Bothe [25], Castillo i Montgomery [33], Pyzdek [162], Sower, Motwani i Savoie [191] oraz Wheeler [214].

Ali, Pievatolo i Göb [10] wyszczególnili dedykowane karty kontrolne dla wysokojakościowych procesów produkcyjnych. Tego typu procesy charakteryzują się rystrykcyjnymi wymaganiami dotyczącymi bardzo niskiego poziomu wadliwości i są charakterystyczne dla produkcji automatycznych. Autorzy proponują dla takich przypadków wykorzystanie tzw. kart monitorowania czasu pomiędzy zdarzeniami (ang. Time Between-Events Charts; *TBE* Charts). Wykresy *TBE* monitorują

czas pomiędzy kolejnymi wystąpieniami zdarzeń (w zamian za kontrolę liczby zdarzeń mających miejsce w określonym przedziale próbkowania). Według Yen, Chong oraz Ha [222] pojęcie „zdarzenia” odnosi się do elementów niezgodnych, pojawiających się podczas przebiegu procesu produkcyjnego (np. niepowodzenia w analizie niezawodności, wypadki itp.). Z kolei określenie „czas” odnosi się do innych zmiennych (zarówno typu dyskretnego jak i ciągłego) monitorujących ilość obserwacji pomiędzy kolejnymi zdarzeniami. Karty *TBE* stanowią tzw. karty kontrolne uproszczonego typu (ang. synthetic-type control charts). Karty *TBE* stanowiły również przedmiot badań takich autorów jak: Ali [9], Chan, Xie i Goh [36], Dogu [61], Kumar i Chakraborti [120] oraz Zhang, Xie, Liu i Goh [225].

W wielu sytuacjach jednoczesne monitorowanie i sterowanie dwoma lub większą liczbą powiązanych ze sobą *KPC* jest konieczne, a niezależna ich kontrola może prowadzić do mylącej oceny poprawności przebiegu procesu produkcyjnego. Montgomery [139] twierdzi, że jest to konsekwencja faktu, że zarówno błąd I-go rodzaju (uznanie, że proces jest rozregulowany w przypadku jego stabilności), jak i prawdopodobieństwo pojawienia się obserwacji w granicach kontrolnych nie są takie same jak w przypadku jednoczynnikowej karty kontrolnej. W tego typu sytuacjach zalecane jest wykorzystywanie wielowymiarowych kart kontrolnych (z grupy kart specjalnych) tj. uogólniona karta wariancji (ang. Generalized Variance Control Chart; *GV* control chart), T^2 Hotellinga Control Chart, wielowymiarowa karta sum skumulowanych (*MCUSUM*), wielowymiarowa karta wykładniczo ważonej średniej ruchomej (*MEWMA*). Więcej informacji na temat wielowymiarowych kart kontrolnych można znaleźć w pracach np. Bersimis, Psarakis i Panaretos [21], Chen i Zou [43], Stoumbos i Sullivan [196] czy Sullivan i Woodall [198].

Najczęściej występującymi rozkładami danych pomiarowych dla *KPC*, poza rozkładem normalnym, są rozkłady skośne. Karagöz i Hamurkaroglu [104] wskazują, że dla skośnych populacji ryzyko wystąpienia fałszywego sygnału na karcie kontrolnej wzrasta wraz ze wzrostem wartości wskaźnika asymetrii κ_3 (określonego jako współczynnik skośności). Przyczyną wzrostu tego ryzyka jest rozbieżność zmienności rozkładu normalnego oraz rozkładu asymetrycznego. Dodatkowo Shore [186] podkreśla, że w niektórych sytuacjach skośność jest zbyt duża, aby można ją było zignorować, a wykorzystanie klasycznych kart kontrolnych Shewharta skutkuje niezadowolającą wydajnością karty. W literaturze można znaleźć szereg metod heurystycznych wykorzystywanych do wyznaczania granic kontrolnych w przypadku rozkładów innych niż normalny (w tym również skośnych) w oparciu o np. percentyle rozkładów skośnych, metodę korekcji asymetrii (*SC* metod), wariancję ważoną (*WV* method) czy też ważne odchylenie standardowe (*WSD* method). Więcej informacji na temat kart kontrolnych, z grupy kart specjalnych, dedykowanych dla przypadków, gdy dane pomiarowe nie wykazują rozkładu normalnego można znaleźć w pracy m.in.: Chan i Cui [35], Chang i Bai [40], Choobineh i Ballard [44] oraz Rao i Kantam [166].

Z kolei według badań Magaji, Yahaya i Asiribo [129] założenie o niezależności danych pomiarowych, w przypadku procesów ciągłych, nie zawsze jest zapewnione. Można to zaobserwować zwłaszcza w sytuacji, gdy kolejne jednostki są podobne do siebie [129]. Autorzy wskazują również, że prawdopodobieństwo pojawienia się fałszywych sygnałów rośnie wraz ze wzrostem zależności danych [129]. Karaoglan oraz Bayhan [105] wskazują trzy możliwe podejścia w przypadku skorelowanych danych procesowych:

- **Modyfikacja danych** np. z wykorzystaniem modelu autoregresyjnej zintegrowanej średniej ruchomej (ang. Autoregressive Integrated Moving Average;

ARIMA) i wykorzystanie klasycznych kart Shewharta.

- **Dostosowanie granic kontrolnych**, w celu uwzględnienia autokorelacji wynikającej z danych procesowych.
- **Eliminacja autokorelacji** przy wykorzystaniu odpowiednich metod.

Karty dla danych skorelowanych stanowiły również przedmiot badań takich autorów jak: Mondgomery i Mastrangelo [140], Franco, Celano, Castagliola i Costa [71], Gildeh i Shafiee [76]. Na tej podstawie w grupie kart specjalnych - dla procesów z autokorelacją wyróżniono (zakwalifikowano): kartę regresji, EWMA, BMC.

Według Zhou i Geng [227] metody parametryczne są przydatne tylko w niektórych aplikacjach, bowiem często brakuje wiedzy na temat dystrybucji procesu. Na przykład zakłada się, że jednowymiarowe dane procesowe mają charakter rozkładu normalnego, chociaż dobrze wiadomo, że w wielu praktycznych sytuacjach, szczególnie w sytuacjach rozruchowych, podstawowy rozkład procesu jest nieznanym i niekoniecznie ma charakter rozkładu normalnego [227]. W tej sytuacji statystyczne właściwości często używanych wykresów, zaprojektowanych w oparciu o rozkład normalny, potencjalnie mogą nieść za sobą niewłaściwą ocenę stanu statystycznej stabilności procesu [227], dlatego autorzy sugerują wykorzystanie kart odpornościowych (ang. robust control chart), kart bez założenia o rozkładzie (ang. distribution-free control charts) bądź kart nieparametrycznych (ang. nonparametric control chart). Jones-Farmer i Champ [100] definiują pojęcie „braku założenia o rozkładzie” (ang. distribution-free) jako brak założenia o dystrybucji badanej *KPC* w stanie uregulowania (proces kontrolowalny). Z kolei określenie „odpornościowy” (ang. robust) używają w odniesieniu do metod, w których rozkład statystyk jest podobny w stanie statystycznego uregulowania procesu, niezależnie od dystrybucji danych procesowych [100]. Natomiast pojęcie „nieparametryczny” stosowane jest w odniesieniu do metod, które nie odnoszą się ściśle do parametrów rozkładu procesu, ale raczej do postaci rozkładu procesu. Gibbons i Chakraborti [75] twierdzą, że estymacja parametrów procesu na podstawie kart bez założenia o rozkładzie, bazuje na tym, że statystyka ma taki sam rozkład próbkowania w obrębie hipotezy zerowej, niezależnie od rozkładu populacji, z której została ona pobrana. Więcej informacji na temat kart nieparametrycznych, wolnych od dystrybucji czy też odpornościowych można znaleźć w pracach np.: Sparks i Chakraborti [192], Malela-Majika, Chakraborti i Graham [130], Chakraborti, Van der Laan i Bakir [34].

Według Amiri, Khosravi i Ghashghaei [11] bardzo często parametry procesu nie są znane a priori na etapie rozruchu, a także początkowe próbki lub dane do wykonania fazy I wdrażania kart kontrolnych nie są dostępne, a co za tym idzie nie ma możliwości oszacowania parametrów procesu. Według autorów karty typu self-starting (karty specjalne) umożliwiają zainicjowanie monitorowania procesu wytwórczego bez konieczności analizy dużej ilości wstępnych obserwacji. Karty kontrolne typu self-starting mogą być z powodzeniem używane, gdy proces produkcyjny jest powolny lub koszt produkcji w stanie niekontrolowalnym na początku procesu jest wysoki [11]. Główną ideą tego typu kart jest aktualizacja estymatorów parametrów procesu z każdą nową obserwacją i jednoczesne sprawdzenie warunków stanu niekontrolowalnego procesu [11]. Więcej informacji na temat kart typu self-starting można znaleźć w pracach np.: Hawkins [91], Sullivan i Jones [197], Li wraz z zespołem [123].

3.3.2. Wybrane karty kontrolne - wzory na granice kontrolne

W rozdziale opisano równania klasycznych kart średniej i rozstępu, które wykorzystywane są najczęściej w przedsiębiorstwach produkcyjnych w przypadku, gdy pobierane są mało liczne próbki ($n < 10$). Opisano również karty średniej i rozstępu, których granice wyznaczane są w oparciu o metodę korekcji asymetrii, stanowiące odpowiednik klasycznych kart średniej i rozstępu w przypadku danych skośnych. Z uwagi na podjętą problematykę, związaną z wieloasortymentowością, omówiono ideę wyznaczania granic kontrolnych standaryzowanych kart kontrolnych, które umożliwiają analizę kilku cech/charakterystyk jakościowych na jednej karcie, dzięki czemu możliwa jest optymalizacja dokumentacji produkcyjnej. W rozdziale uwzględniono również karty dedykowane dla oceny alternatywnej.

Karty Shewharta - karta średniej i rozstępu

Mongtgomery [139] uważa, że w przypadku gdy badane *KPC* stanowią zmienne ilościowe, istnieje konieczność jednoczesnego monitorowania zarówno wartości średniej charakterystyk jakościowych, jak i ich zmienności. W przypadku wdrażania karty średniej i rozstępu z reguły nie są znane parametry procesu. W takim przypadku należy dokonać ich estymacji na podstawie wstępnych jednoelementowych próbek lub n -elementowych podgrup w kontrolowalnym procesie.

Niech $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_m$ stanowią średnie próbkowe. Wówczas estymatorem średniej procesu μ będzie średnia ze średnich próbkowych wyrażony zależnością [139]:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_i}{m}. \quad (3.3)$$

Do konstrukcji granic kontrolnych należy dokonać również estymacji odchylenia standardowego procesu σ . Nieobciążonym estymatorem odchylenia standardowego, w przypadku niewielkiej liczności próbki ($n < 10$) jest zależność [139]:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}, \quad (3.4)$$

gdzie: d_2 - stała Hartley'a zależna od liczności próbki (n) wyznaczona na podstawie średnich rozstępów z rozkładu normalnego.

Nieobciążonym estymatorem odchylenia standardowego dla rozstępów jest [139]:

$$\hat{\sigma}_R = \frac{d_3 \bar{R}}{d_2}, \quad (3.5)$$

gdzie: d_3 - stała zależna od liczności próbki (n) wyznaczona na podstawie odchylenia standardowego z rozstępów i rozkładu normalnego.

Wykorzystując zależność 3.3 można opisać granice kontrolne dla klasycznej karty średniej [139] jako:

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{\bar{X}} + \frac{3}{d_2 \sqrt{n}} \bar{R}, \\ CL &= \bar{\bar{X}}, \\ LCL &= \bar{\bar{X}} - \frac{3}{d_2 \sqrt{n}} \bar{R}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Z kolei granice kontrolne dla karty rozstępów, wyznaczone na podstawie zależności 3.5, wyrażone są następującymi równaniami [139]:

$$\begin{aligned} UCL &= \left[1 + 3 \frac{d_3}{d_2} \right] \bar{R}, \\ CL &= \bar{R}, \\ LCL &= \left[1 - 3 \frac{d_3}{d_2} \right]^+ \bar{R}, \end{aligned} \quad (3.7)$$

gdzie: $[a]^+ = \begin{cases} a & \text{gdy } a \geq 0 \\ 0 & \text{gdy } a < 0 \end{cases}$.

W tab. 3.11 zestawiono wybrane wartości stałych d_2, d_3 dla dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$.

Tabela 3.11. Wybrane stałe (d_2, d_3) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ [139]

n											
3		4		5		6		7		8	
d_2	d_3	d_2	d_3	d_2	d_3	d_2	d_3	d_2	d_3	d_2	d_3
1,693	0,888	2,059	0,880	2,326	0,864	2,534	0,848	2,704	0,833	2,847	0,820

Karty dla rozkładów skośnych - karta średniej i rozstępu z wykorzystaniem korekcji asymetrii

Karty kontrolne z wykorzystaniem metody korekcji skośności (\bar{X}_{SC} i R_{SC}) dedykowane są dla przypadku, w którym badana cecha/charakterystyka jakościowa ma charakter rozkładu skośnego. Podejście to bazuje na rozwinięciu Cornisha-Fishera, na podstawie którego określono korekcję asymetrii jako zależność [35]:

$$\begin{cases} c_4^* = \frac{\frac{4}{3}\kappa_3(\bar{X})}{1 + 0,2\kappa_3^2(\bar{X})} \\ d_4^* = \frac{\frac{4}{3}\kappa_3(R)}{1 + 0,2\kappa_3^2(R)} \end{cases} \quad (3.8)$$

gdzie: c_4^* – stała korekcji asymetrii dla karty \bar{X} , d_4^* – stała korekcji asymetrii dla

karty R , $\kappa_3^*(\bar{X}) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{X_{ij} - \bar{X}}{S_{mn}} \right)^3}{mn - 3}$ - estymator współczynnika skośności średniej próbkowej, $\kappa_3^*(\bar{R})$ - estymator współczynnika skośności średnich rozstępów próbkowych.

Gdy współczynnik skośności κ_3 jest znany, wówczas skośność średniej ($\kappa_3(\bar{X})$) wynosi κ_3/\sqrt{n} . Zatem stała korekcji c_4^* przyjmuje postać:

$$c_4^* = \frac{4\kappa_3/(3\sqrt{n})}{1 + 0,2\kappa_3^2/n}. \quad (3.9)$$

W przypadku rozkładu symetrycznego ($\kappa_3 = 0$) $c_4^* = 0$, a granice kontrolne są takie same jak w przypadku klasycznej karty kontrolnej (por. zal. 3.10, 3.11 i 3.6, 3.7). W przypadku asymetrii prawostronnej ($\kappa_3 > 0$) różnica pomiędzy wartością UCL i LC jest większa niż różnica pomiędzy wartościami LCL i LC . Jednakże

cały zakres granic kontrolnych będzie w dalszym ciągu wynosił 6σ (sześć wartości odchylenia standardowego).

Niech $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}$, $i = 1, 2, \dots, m$ będą m obserwacjami n -elementowymi z procesu produkcyjnego, dla którego nie są znane parametry - średnia μ i odchylenie standardowe σ . Wówczas estymowane granice kontrolne dla karty średniej, wyznaczone w oparciu o metodę korekcji asymetrii i zaproponowane przez Chan i Cui [35] opisane są za pomocą następujących zależności:

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{\bar{X}} + (3 + c_4^*) \frac{\bar{R}}{d_2^* \sqrt{n}}, \\ CL &= \bar{\bar{X}}, \\ LCL &= \bar{\bar{X}} + (-3 + c_4^*) \frac{\bar{R}}{d_2^* \sqrt{n}}, \end{aligned} \quad (3.10)$$

gdzie: d_2^* - stała dedykowana rozkładom skośnym odpowiadająca stałej Hartley'a dla rozkładu normalnego (tab. 3.12 i 3.13).

Natomiast granice kontrolne dla karty rozstępu opisane są za pomocą wyrażenia [35]:

$$\begin{aligned} UCL &= \left[1 + (3 + d_4^*) \frac{d_3^*}{d_2^*} \right] \bar{R}, \\ CL &= \bar{R}, \\ LCL &= \left[1 + (-3 + d_4^*) \frac{d_3^*}{d_2^*} \right]^+ \bar{R}, \end{aligned} \quad (3.11)$$

gdzie: $[a]^+ = \begin{cases} a & \text{gdy } a \geq 0 \\ 0 & \text{gdy } a < 0 \end{cases}$, d_2^*, d_3^* - stałe dedykowane rozkładom skośnym odpowiadające odpowiednio stałej Hartley'a i stałej d_3 dla rozkładu normalnego (tab. 3.12 i 3.13).

W tab. 3.12 i 3.13 zestawiono wybrane wartości stałych odpowiednio: d_2^*, d_3^* i c_4^*, d_4^* (stałe korekcji asymetrii) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ i $\kappa_3 = \{0; 0, 25; 0, 5; 0, 75; 1; 1, 25; 1, 5; 1, 75; 2, 0; 2, 25; 2, 5; 2, 75; 3\}$, które autorka wyznaczyła w oparciu o rozkłady: gamma, Weibulla i log-normalny z wykorzystaniem metody symulacji Monte Carlo (zgodnie z algorytmem zasugerowanym przez Chan i Cui [35]) i które wykorzystano w przeprowadzeniu badań symulacyjnych skuteczności kart kontrolnych w rodz.4.2. Przytoczone stałe dla poszczególnych rozkładów zamieszczono w zał.A.2.

Tabela 3.12. Wybrane stałe (d_2^* , d_3^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ i wybranych wartości κ_3 (opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*
0,00	1,696	0,881	2,062	0,870	2,327	0,851	2,535	0,832	2,703	0,816	2,844	0,800
0,25	1,693	0,885	2,058	0,874	2,323	0,856	2,530	0,839	2,697	0,821	2,838	0,807
0,50	1,682	0,900	2,046	0,893	2,310	0,878	2,515	0,864	2,682	0,851	2,824	0,837
0,75	1,665	0,925	2,024	0,925	2,288	0,918	2,492	0,906	2,660	0,896	2,801	0,887
1,00	1,640	0,957	1,996	0,967	2,258	0,965	2,463	0,960	2,630	0,954	2,771	0,949
1,25	1,612	0,994	1,964	1,015	2,224	1,021	2,427	1,019	2,595	1,019	2,736	1,017
1,50	1,581	1,033	1,927	1,063	2,184	1,077	2,387	1,084	2,556	1,088	2,698	1,090
1,75	1,544	1,073	1,886	1,113	2,142	1,136	2,344	1,148	2,513	1,157	2,657	1,164
2,00	1,509	1,112	1,844	1,161	2,098	1,190	2,300	1,211	2,470	1,225	2,614	1,237
2,25	1,472	1,147	1,803	1,209	2,052	1,243	2,254	1,270	2,426	1,289	2,571	1,304
2,50	1,437	1,184	1,762	1,254	2,009	1,295	2,210	1,326	2,381	1,353	2,529	1,371
2,75	1,400	1,217	1,719	1,294	1,968	1,347	2,166	1,380	2,337	1,408	2,487	1,434
3,00	1,364	1,246	1,679	1,335	1,922	1,386	2,125	1,432	2,296	1,464	2,446	1,491

Tabela 3.13. Wybrane stałe (c_4^* , d_4^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ i wybranych wartości κ_3 (opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*
0,00	0,188	0,756	0,166	0,612	0,150	0,537	0,134	0,496	0,125	0,472	0,120	0,455
0,25	0,191	0,783	0,167	0,647	0,149	0,583	0,140	0,545	0,124	0,523	0,115	0,513
0,50	0,377	0,874	0,330	0,759	0,295	0,701	0,270	0,677	0,251	0,671	0,235	0,655
0,75	0,559	1,001	0,487	0,905	0,439	0,863	0,402	0,842	0,375	0,831	0,353	0,833
1,00	0,722	1,131	0,636	1,050	0,572	1,016	0,524	0,999	0,490	0,992	0,456	0,990
1,25	0,871	1,241	0,772	1,178	0,699	1,153	0,645	1,124	0,605	1,121	0,568	1,112
1,50	1,007	1,325	0,901	1,274	0,820	1,249	0,758	1,229	0,709	1,217	0,674	1,209
1,75	1,118	1,392	1,013	1,347	0,929	1,325	0,866	1,306	0,811	1,295	0,764	1,286
2,00	1,216	1,436	1,111	1,398	1,033	1,374	0,960	1,364	0,907	1,349	0,858	1,342
2,25	1,294	1,462	1,192	1,433	1,119	1,413	1,043	1,403	0,989	1,389	0,937	1,383
2,50	1,361	1,477	1,268	1,457	1,195	1,441	1,122	1,430	1,068	1,422	1,015	1,411
2,75	1,409	1,483	1,332	1,471	1,262	1,460	1,190	1,448	1,135	1,442	1,088	1,435
3,00	1,442	1,478	1,378	1,473	1,318	1,468	1,256	1,462	1,206	1,456	1,155	1,448

Karty standaryzowane

Avakh Darestani, i Aminpour [16] przedstawiają metodę postępowania w przypadku konieczności wykorzystania kart kontrolnych dla krótkich przebiegów produkcyjnych oraz wielu *KPC*. W tego typu przypadkach ograniczona jest dostęp-

ność ilości danych pomiarowych (np. poniżej 20 podgrup), a w konsekwencji utrudniona jest dokładna estymacja parametrów procesu. Dodatkowo, w tego typu sytuacjach, istnieje konieczność ograniczenia dokumentacji (w postaci kart kontrolnych), co jest możliwe dzięki możliwości wykreślenia różnych jednostek miary i różnych cech produktu na jednym wykresie [16].

Korzystając z zależności 3.6, a także zależności $LCL_{\bar{X}} < \bar{X} < UCL_{\bar{X}}$, można wyznaczyć standaryzowaną kartę średnich, której granice kontrolne wyznaczone są w oparciu o standaryzowane nierównomierne wartości średnich \bar{X} , które przyjmują postać:

$$\begin{aligned} UCL &= \frac{3}{d_2\sqrt{n}}, \\ CL &= \frac{\bar{X}_{ijk} - \bar{\bar{X}}_{jk}}{\bar{R}_{jk}}, \\ LCL &= -\frac{3}{d_2\sqrt{n}}, \end{aligned} \quad (3.12)$$

gdzie: \bar{X}_{ijk} - średnia z i -tej próbki j -tego KPC k -tego wyrobu, $\bar{\bar{X}}_{jk}$ - średnia z \bar{X} j -tego KPC k -tego wyrobu (wyznaczony na podstawie danych historycznych).

Podobnie wykorzystując zależności 3.7 i $LCL_R < R < UCL_R$, można określić granice kontrolne w celu monitorowania zmienności według zależności:

$$\begin{aligned} UCL &= \frac{3d_3}{d_2}, \\ CL &= \frac{R_{ijk}}{\bar{R}_{jk}}, \\ LCL &= -\frac{3d_3}{d_2}, \end{aligned} \quad (3.13)$$

gdzie: R_{ijk} - rozstęp z i -tej próbki j -tego KPC k -tego wyrobu, \bar{R}_{jk} - średnia z \bar{R} j -tego KPC k -tego wyrobu (wyznaczony na podstawie danych historycznych).

Wybrane karty przy ocenie alternatywnej

Karta frakcji wyrobów niezgodnych p

Greber [80] twierdzi, że opiera się na rozkładzie dwumianowym na podstawie którego wyznaczono granice kontrolne w postaci:

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}, \\ CL &= \bar{p}, \\ LCL &= \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}, \end{aligned} \quad (3.14)$$

gdzie: \bar{p} - wartość średniej frakcji wyrobów niezgodnych w zbadanych próbkach, n - liczność próbki.

Według autora karta ta jest dedykowana dla procesów w których oczekuje się frakcji jednostek niezgodnych conajmniej na poziomie 5% i liczność próbki niekoniecznie jest stała.

Szczególnym przypadkiem karty frakcji wyrobów niezgodnych jest karta wyrobów niezgodnych np dla której liczność próbek jest stała (wzory na granice kontrolne można znaleźć w pracy np. Grebera [80]).

Karta liczby niezgodności przypadających na jednostkę wyrobu u

Greber [80] sugeruje, że granice kontrolne karty liczby niezgodności u wyznacza się w oparciu o rozkład Poissona z uwagi na założenie, że niezgodności nie pojawiają się w wyrobie zbyt często. Przy czym dopuszcza się nie równoliczność próbek. Autor podaje następujące wzory na wyznaczenie wartości granic kontrolnych:

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}, \\ CL &= \bar{u}, \\ LCL &= \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}, \end{aligned} \tag{3.15}$$

gdzie: \bar{u} - wartość średniej liczby niezgodności przypadających na jednostkę wyrobu, n - licznosc próbek.

Szczególnym przypadkiem karty liczby niezgodności przypadających na jednostkę wyrobu jest karta niezgodności c dla której zakłada się równoliczność próbek (wzory na granice kontrolne można znaleźć w pracy np. Grebera [80]).

3.4. Narzędzia wspomagające metodę Statystycznego Sterowania Procesem

3.4.1. Histogram i diagram łodyga-liście

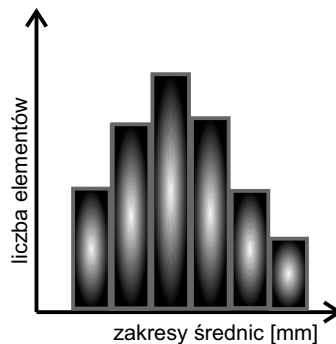
Zarówno histogram jak i diagram łodyga-liście służą do graficznej prezentacji zebranych wyników pomiarowych. W zagadnieniach jakości narzędzia te stosowane są do [201]:

- pokazania przebiegu zmian w procesie produkcyjnym,
- wizualnego przedstawienia informacji o przebiegu procesu,
- podejmowania decyzji dotyczących wyboru miejsc, w których należy skupić wysiłki związane z doskonaleniem procesu.

Histogram (rys. 3.21) jest wykresem słupkowym zbudowanym z ciągu prostokątów, które odpowiadają ustalonym przedziałom, na które zostały podzielone dane pomiarowe. Wysokość poszczególnych prostokątów stanowi liczbę odnotowanych pomiarów znajdujących się w poszczególnych przedziałach. Histogram można sporządzać, gromadząc dane bezpośrednio, tj. w połączeniu z wykonaniem i zastosowaniem arkusza kontrolnego, lub zupełnie niezależnie od wykorzystania arkusza, analizując dane zgromadzone innymi sposobami. Aby skonstruować histogram należy [2]:

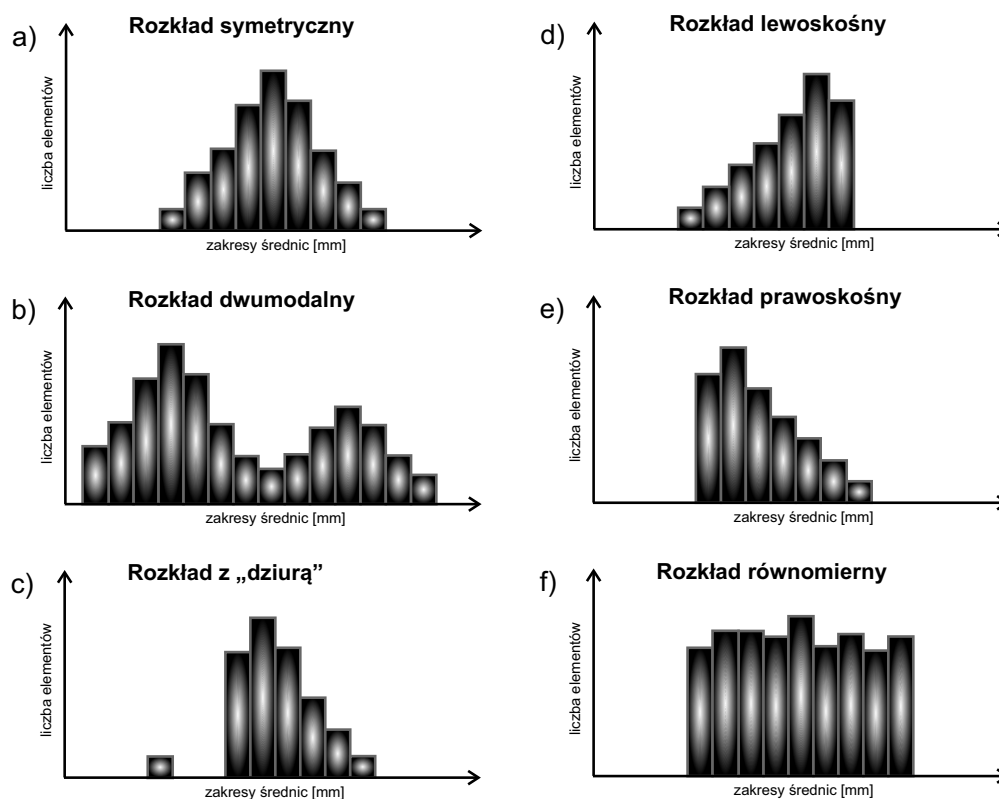
- zebrać wartości danych pomiarowych np. przy wykorzystaniu arkusza zbierania danych,
- ustalić zakres zmienności danych pomiarowych tzn. znaleźć wartość najmniejszą x_{min} oraz największą x_{max} i policzyć rozstęp R ($R = x_{max} - x_{min}$),
- ustalić liczbę przedziałów klasowych k oraz podzielić obszar zmienności na tzw. klasy (przedziały klasowe),

- określić częstość względną, tzn. zliczyć ile danych pomiarowych należy do poszczególnych przedziałów,
- sporządzić wykres słupkowy z wyznaczonymi przedziałami klasowymi oraz częstościami względnymi.



Rys. 3.21. Przykładowy histogram dla pomiaru średnicy pewnego elementu (opracowanie własne)

Histogram w sterowaniu jakością umożliwia m.in. określenie zmienności przebiegu procesu, a także rozkładów wyników procesów [87]. Na rys. 3.22 przedstawiono przykładowe kształty histogramów.



Rys. 3.22. Wybrane kształty histogramów (opracowanie własne na podstawie [87])

Kształty histogramów z rys. 3.22 mają następujące znaczenie dla procesu produkcyjnego [87]:

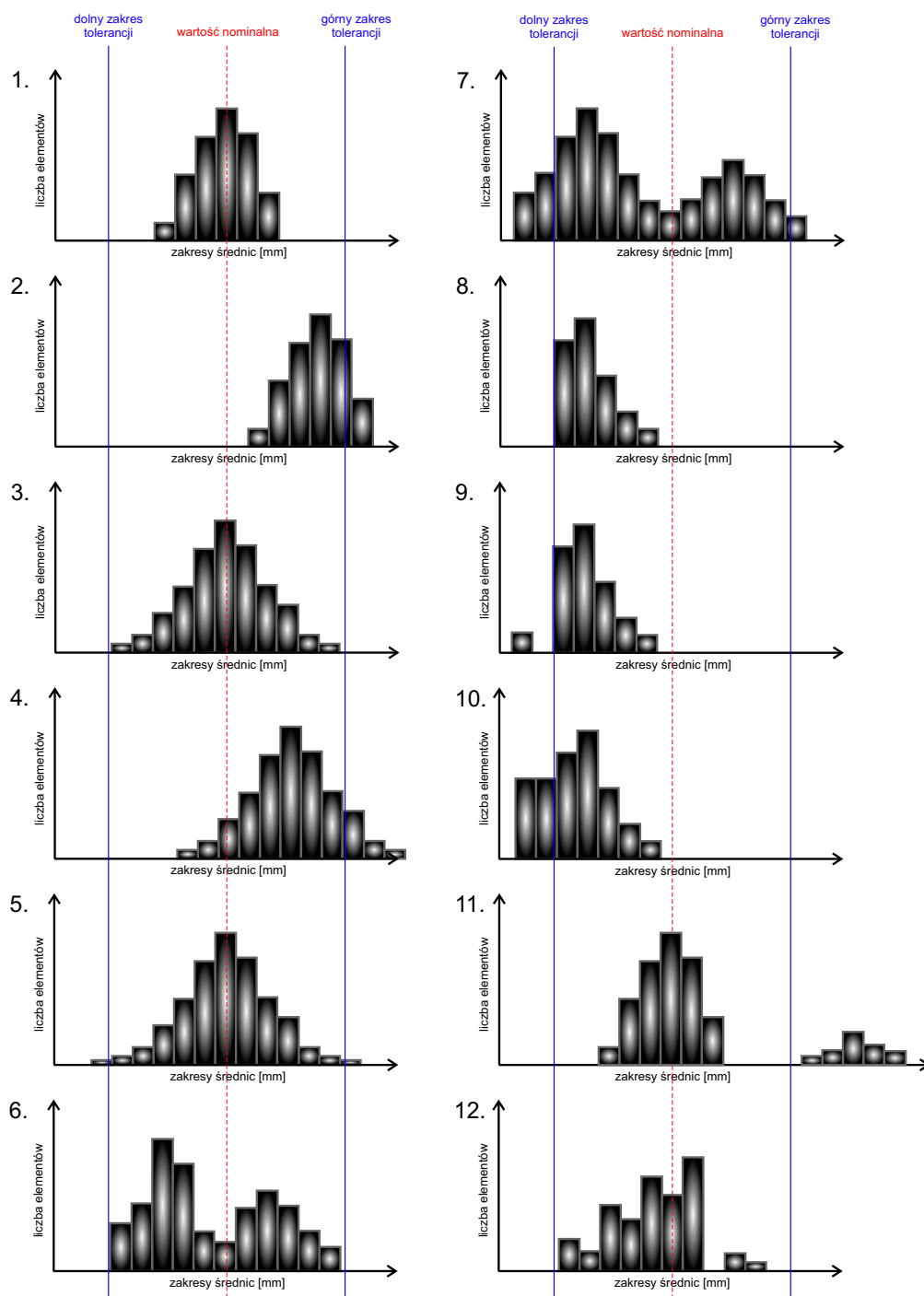
- na przebieg procesu wpływa wiele czynników losowych, jednakże żaden nie jest dominujący,

- b. dane pomiarowe pochodzą z różnych partii wyrobów, które mogą być produkowane na różnych zmianach,
- c. najprawdopodobniej dane pomiarowe obarczone są dużym błędem pomiarowym,
- d. badana charakterystyka posiada naturalną granicę górną (np. wytrzymałość materiału) bądź podejmowane są działania, mające na celu dopasowanie badanej wartości charakterystyki do oczekiwanego wyniku (np. sortowanie części),
- e. badana charakterystyka posiada naturalną granicę dolną (np. chropowatość powierzchni) bądź podejmowane są działania, mające na celu dopasowanie badanej wartości charakterystyki do oczekiwanego wyniku (np. sortowanie części).

Dodatkowo można analizować histogramy z uwzględnieniem granic tolerancji - górnej GGT i dolnej DGT (rys. 3.23; por. rozdz. 3.7).

Kształty histogramów z rys. 3.23 mają natomiast następujące znaczenie dla procesu produkcyjnego:

1. Proces wycentrowany względem granic tolerancji, wartość średnia procesu pokrywa się z wartością nominalną oraz naturalna zmienność procesu mieści się w granicach tolerancji.
2. Proces nie jest wycentrowany względem granic tolerancji, wartość średnia procesu nie pokrywa się z wartością nominalną, występują jednostki wyrobów niezgodne z zakresem tolerancji.
3. Proces wycentrowany względem granic tolerancji, wartość średnia procesu pokrywa się z wartością nominalną, ale naturalna zmienność procesu praktycznie pokrywa cały zakres tolerancji (duży rozrzut względem wartości średniej).
4. Proces nie jest wycentrowany względem granic tolerancji, wartość średnia procesu nie pokrywa się z wartością nominalną, duży rozrzut względem wartości średniej, co wraz z jej przesunięciem skutkuje pojawieniem się wyrobów niezgodnych z zakresem tolerancji.
5. Proces wycentrowany względem granic tolerancji, wartość średnia procesu pokrywa się z wartością nominalną, ale naturalna zmienność procesu przekracza zakres tolerancji (bardzo duży rozrzut względem wartości średniej).
6. „Rozwarstwienie procesu” - sugeruje wykorzystywanie dwóch maszyn, dwuzmianowość, zaopatrywanie u dwóch dostawców bądź znaczne zakłócenia, naturalna zmienność obu procesów mieści się w zakresie tolerancji.
7. Podobnie jak w sytuacji nr 6 nastąpiło „rozwarstwienie procesu”, jednakże naturalna zmienność obu procesów nie mieści się w zakresie tolerancji, co w konsekwencji skutkuje pojawieniem się wyrobów niezgodnych.



Rys. 3.23. Wybrane kształty histogramów z granicami tolerancji (opracowanie własne na podstawie [183])

8. Proces niewłaściwie wycentrowany, najprawdopodobniej proces poddano 100-procentowej kontroli, dzięki czemu wyeliminowano wyroby niezgodne z zakresem tolerancji.
9. Proces niewłaściwie wycentrowany, najprawdopodobniej proces poddano 100-procentowej kontroli, która nie była w pełni skuteczna.
10. Sytuacja analogiczna do przypadku nr 8 i 9, dodatkowo histogram może wskazywać na niedostateczne przeszkolenie operatora bądź błędy przyrządu kontrolno-pomiarowego.

11. „Rozwarstwienie procesu”, rozkład podstawowy wycentrowany, o stosunkowo niskim rozrzucie, natomiast rozkład powyżej górnej granicy tolerancji może wskazywać na to, że podzespół lub podzespoły maszyny uległy zużyciu/rozregulowaniu, co w konsekwencji spowodowało produkcję wyrobów niezgodnych z zakresem tolerancji.
12. Błędy w odczycie urządzenia kontrolno-pomiarowego przez operatora bądź błędy interpretacji.

Z kolei diagram łodyga-liście (rys. 3.24) umożliwia bardzo szybką analizę danych. W pewnym sensie przypomina histogram, ale jego przewagą nad nim jest fakt, że przy jego konstruowaniu unika się utraty części informacji w wyniku agregacji danych pomiarowych w przedziały klasowe. Budowanie diagramu łodyga-liście opiera się o dziesiętny system liczbowy. „Łodygę” stanowi liczba po opuszczeniu jej ostatniej cyfry czyli tzw. „liścia”. „Łodygę” zapisuje się po lewej stronie i oddziela od „liści” pionową kreską [1]. W ten sposób błyskawicznie uzyskuje się informację o częstości występowania poszczególnych pomiarów badanej charakterystyk, a także można sprawdzić, czy rozkład analizowanych danych pomiarowych tzn. czy jest on symetryczny i na ile jest on rozproszony.

```

Diagram łodyga-liście dla średnicy [mm] N=100
Jednostka liścia= 0,10 mm
30  0
31  8
32  5799
33  126899
34  024588
35  01235667899
36  01233445566777888999
37  0000111223344556677899
38  0122345678
39  00345789
40  0123557
41  002
42  1
43
44  9

```

Rys. 3.24. Przykładowy wykres łodyga-liście dla pomiaru średnicy pewnego elementu (opracowanie własne)

3.4.2. Arkusz kontrolny

Arkusz kontrolny jest narzędziem wykorzystywanym najczęściej we wczesnych etapach doskonalenia procesów np. w fazie pomiaru cyklu *DMAIC* czy też etap wdrażania kart kontrolnych oraz fazy monitorowania procesu w metodzie *SPC*. Stanowi podstawowe narzędzie do gromadzenia danych procesowych [139]. Przykładowy arkusz kontrolny umieszczono na rys. 3.25.

Arkusz kontrolny		
Wydział		Symbol wyrobu
Data		Zmiana
Kontroler		
Rodzaj wady	Liczba wystąpień wady	Suma
mleczne przebarwienia		0
wgłębienia		1
rysy		5
pęcherze		3

Rys. 3.25. Przykładowy arkusz kontrolny (opracowanie własne)

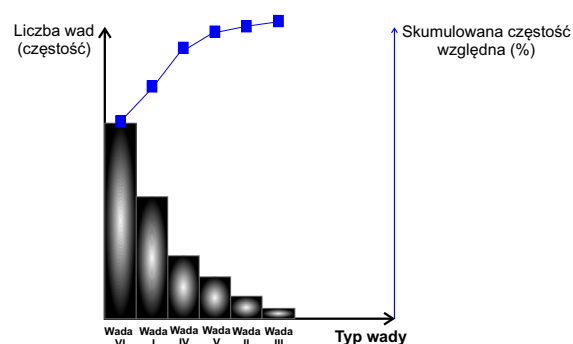
3.4.3. Diagram Pareto-Lorenza

Analiza Pareto-Lorenza z wykorzystaniem diagramu (rys. 3.26), zwana również analizą nierówności rozkładu, bazuje na udowodnionej empirycznie zależności, w której zazwyczaj 10 – 30% czynników (przyczyn) powoduje około 70 – 80% skutków [137]. Diagram Pareto-Lorenza stanowi narzędzie diagnostyczne, które umożliwia określenie najistotniejszych problemów związanych z problemami jakościowymi, a także jedno z wielu narzędzi doskonalenia procesu [137] może być wykorzystywane w fazie pomiaru i analizy cyklu *DMAIC* [139], a także analizie przyczyn problemów jakościowych w *SPC* (por. rys. 3.13).

W analizie wykorzystywane są dane, które dają informacje na temat częstości występowania poszczególnych czynników (przyczyn). Miller [137] wskazuje następujące etapy analizy Pareto-Lorenza:

- Dokonanie wyboru czynników (przyczyn) wpływających na badany skutek i poddawanych analizie.
- Określenie przedziału czasowego podlegającego analizie.
- Zgromadzenie wymaganych danych do analizy.
- Uszeregowanie częstości występowania czynników (przyczyn).
- Wyznaczenie częstości względnej i skumulowanej częstości względnej.
- Sporządzenie wykresu kolumnowego dla częstości występowania czynników (przyczyn) i łamanej reprezentującej skumulowaną częstość względną.
- Interpretacja wykresu.

Według Millera [137] diagram Pareto-Lorenza może być wykorzystywany m.in. w celu analizy występowania wad w danym wyrobie (ujęcie klasyczne), ponoszonych kosztów wad, znaczenia wad z punktu widzenia klienta czy też wpływu przyczyny na pojawienie się wad.



Rys. 3.26. Struktura diagramu diagramu Pareto-Lorenza (opracowanie własne)

3.4.4. Diagram przyczynowo-skutkowy

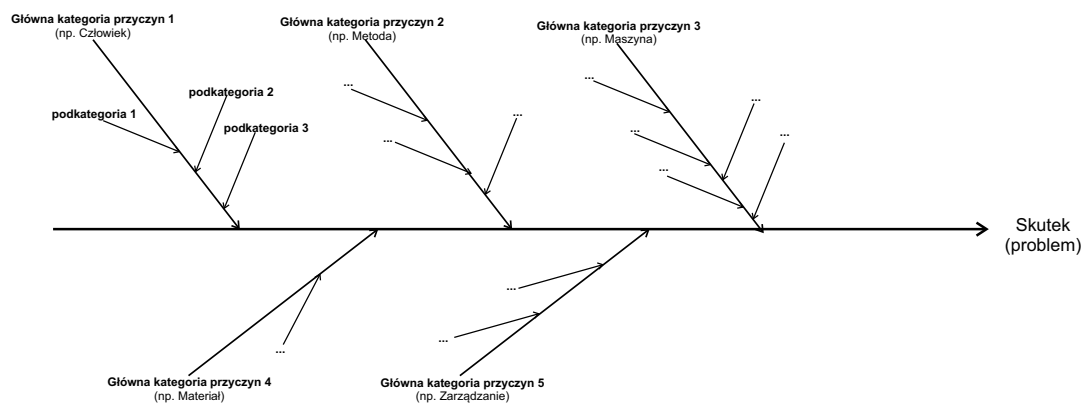
Diagram przyczynowo-skutkowy, zwany również diagramem Ishikawy lub diagramem rybia ość, stanowi graficzną ilustrację związku między danym skutkiem, a wszystkimi czynnikami mającymi wpływ na ten skutek [204]. Diagram Ishikawy jest bardzo użyteczny w fazie analizy i doskonalenie w cyklu *DMAIC* [139].

W *SPC* wykorzystywany najczęściej do analizy przyczyn i skutków problemów jakościowych (por. rys. 3.13). Narzędzie może być wykorzystywane indywidualnie przez pracownika, jednakże jest najbardziej efektywne w sytuacji, w której wykorzystywane jest przez zespół, składający się z pracowników z różnych szczebli hierarchii organizacyjnej i bezpośrednio związanych z badanym procesem [204]. Typowe podejście polega na tym, że lider zespołu rysuje na tablicy schemat diagramu, ustala główny problem i prosi o pomoc grupę w celu określenia głównych przyczyn, które następnie są nanoszone na schemat jako główne kategorie przyczyn. Zespół pomaga uzupełnić główne kategorie przyczyn tzw. podkategoriami poprzez sugestie. Następnie odbywa się dyskusja zespołowa, aby zdecydować, które z przyczyn omawianego problemu są najbardziej prawdopodobne [204]. Technika ta określana jest jako burza mózgów [204].

Tague [204] wskazuje cztery etapy budowy diagramu Ishikawy (rys. 3.27):

- Narysowanie poziomej strzałki, stanowiącej główną oś diagramu i opisanie jej grotu omawianym problemem (skutkiem) np. pojawienie się określonej wady w wyrobie. Należy pamiętać, że efekt może być zarówno pozytywny (np. cel doskonalenia), jak i negatywny.
- Narysowanie rozgałęzień diagramu, które dochodzą do osi głównej. Określenie głównych kategorii przyczyn odpowiednio według propozycji $5M$ lub $6M$ lub $5M + E$ (por. rozdz.3.4.4). Możliwe jest również wybranie innych głównych kategorii przyczyn według uznania i adekwatnych dla analizowanego problemu [87].
- Do każdej z wybranych głównych kategorii przyczyn przypisanie podkategorii, które są uważane za powiązane z przyczyną główną. Ich ilość powinna zależeć od indywidualnie rozpatrywanego problemu, jednakże należy pamiętać o tym, że wykres (a przez to informacje) powinny być czytelne.
- Dyskusja i wybór czynnika krytycznego, który ma największy wpływ na analizowany skutek.

Diagram przyczynowo-skutkowy może być stosowany na różnych poziomach i w wielu różnych momentach w procesie doskonalenia procesów. Stanowi ono bardzo skuteczne narzędzie, umożliwiające podsumowanie i opisanie procesu oraz czynników wpływających na wynik tego procesu.



Rys. 3.27. Struktura diagramu przyczynowo-skutkowego Ishikawy (opracowanie własne)

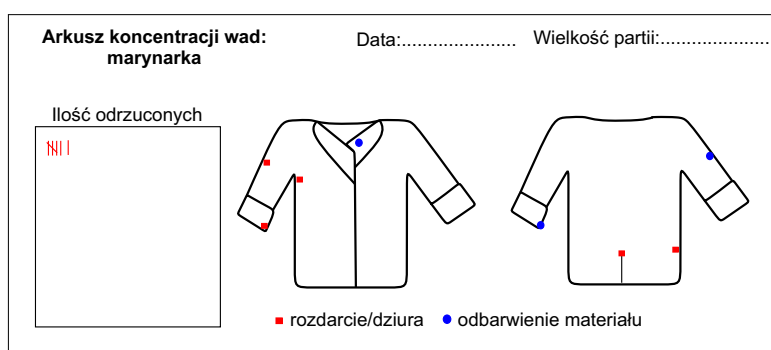
Hamrol [87] wyróżnia trzy propozycje głównych kategorii przyczyn:

- **5M**, której nazwa wywodzi się od akronimów angielskich pięciu grup czynników: człowiek (ang. man), metoda (ang. method), maszyna (ang. machine), materiał (ang. material) i zarządzanie (ang. management).
- **6M**, której nazwa wywodzi się od akronimów angielskich sześciu grup czynników na które składają się te z kategorii 5M i rozszerzone o pomiar (ang. measure).
- **5M+E**, uzupełniona główna kategoria przyczyn 5M o wpływ środowiska pracy (ang. environment).

3.4.5. Diagram koncentracji wad

Diagram koncentracji wad (rys. 3.28) jest użytecznym narzędziem do zbierania informacji o problemach jakościowych i może być wykorzystywany w fazie analizy cyklu *DMAIC* [139]. Jego głównym celem jest ujawnienie miejsc występowania problemów [12]. Andersen i Fagerhaug [12] definiują następujące kroki budowy diagramu koncentracji wad:

- Ustalenie, które rodzaje problemów lub zdarzenia mają zostać rejestrowane i przypisanie im odpowiedniego symbolu.
- Projekt schematu, na którym będą zaznaczane ustalone rodzaje problemów lub zdarzeń.
- Uzupełnienie diagramu danymi zarejestrowanymi dotychczas lub bieżące rejestrowanie na diagramie koncentracji wad ustalonych problemów lub zdarzeń.
- Analiza diagramu.



Rys. 3.28. Schemat diagramu koncentracji wad (opracowanie własne)

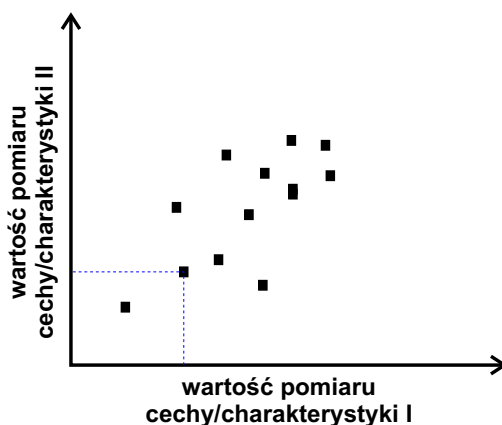
3.4.6. Diagram zależności

Diagram zależności (wykres $X - Y$) to wykres zależności par danych liczbowych, który wykorzystywany jest do określenia liniowej zależności pomiędzy nimi [204]. Wraz z modelem regresji wykorzystywany jest w fazie analizy cyklu *DMAIC* [139]. Z kolei w *SPC* najczęściej wykorzystywany jest na etapie ustalenia zależności pomiędzy badanymi cechami/charakterystykami wyrobu (por. rys. 3.13). Jeżeli analizowane pary zmiennych są ze sobą skorelowane, to punkty skupiają się wokół

prostej bądź innej krzywej (rys. 3.29)[204]. Według Tague [204] diagram zależności można stosować w przypadku próby zidentyfikowania potencjalnych przyczyn problemów, obiektywnej oceny powiązania konkretnej przyczyny wraz ze skutkiem, który ona wywołuje (jako kolejny etap po analizie diagramu Ishikawy) czy też testowania autokorelacji przed wdrożeniem karty kontrolnej.

Tague [204] wyszczególnił następujące etapy analizy z wykorzystaniem diagramu zależności:

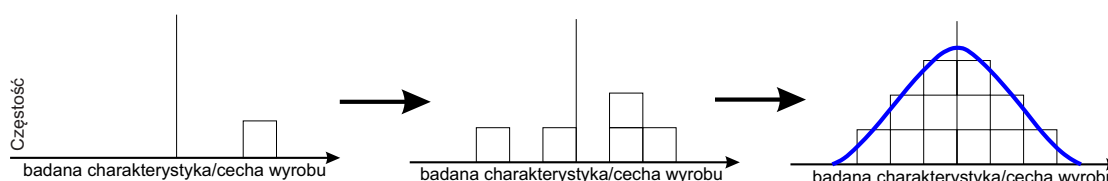
- Zebranie odpowiednich danych.
- Narysowanie wykresu z niezależną zmienną na osi poziomej i zmienną zależną na osi pionowej.
- Analiza wykresu - jeśli dane wyraźnie układają się tworząc prostą lub inną krzywą, to oznacza, że są one skorelowane. W przeciwnym razie należy dokonać odpowiedniego podziału punktów na obszary i dokonać dalszej analizy (szczegółowy opis procedury został podany przez autora [204]).



Rys. 3.29. Przykładowy diagram zależności (opracowanie własne)

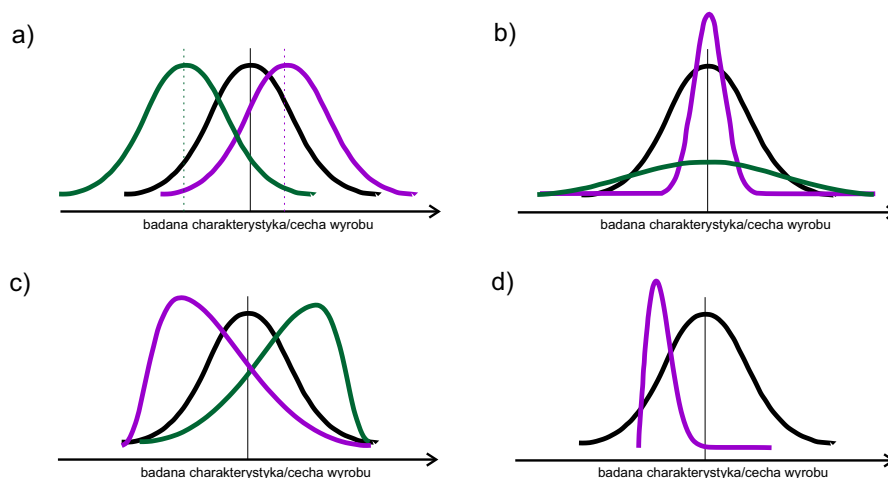
3.5. Zmienność procesu produkcyjnego

Żaden proces produkcyjnych nie przebiega w sposób idealny z uwagi na występowanie zjawiska zmienności, a w szczególności losowych/przypadkowych (ang. Common Causes) oraz specjalnych (ang. Assignable/Special Cause) przyczyn zmienności. Wyroby po zakończeniu procesu produkcyjnego będą nieznacznie różniły się między sobą poszczególnymi charakterystykami/cechami jakościowymi, ale będą one tworzyły pewien wzorec (schemat), który (o ile jest stabilny/kontrolowalny) może być opisany przy użyciu odpowiedniego rozkładu [4] (rys. 3.30).



Rys. 3.30. Schemat wzorca wyrobu (opracowanie własne na podstawie [4])

Dodatkowo rozkłady (wzorce) te mogą różnić się między sobą z uwagi na umiejscowienie, rozrzut, a także kształt czy też dowolną konfiguracją tych trzech czynników [4] (rys. 3.31).



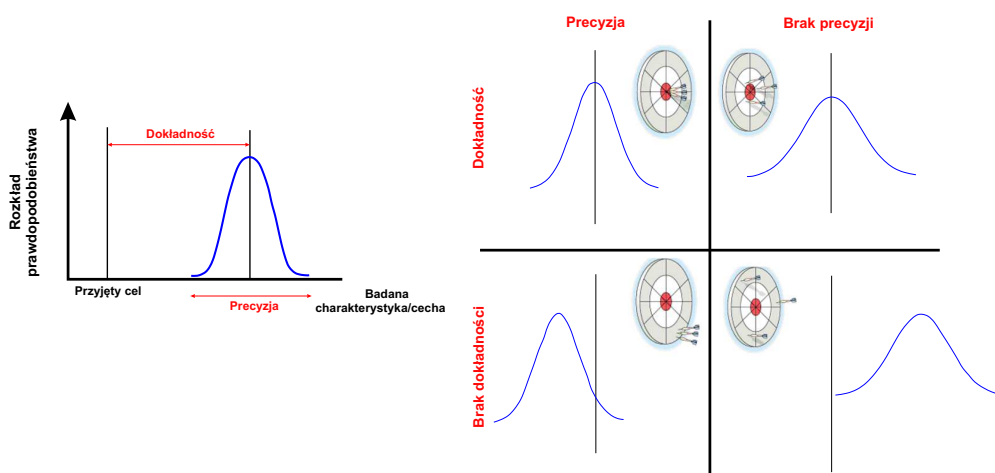
Rys. 3.31. Różnice pomiędzy rozkładami z uwagi na: a) umiejscowienie, b) rozrzut, c) kształt, d) konfigurację umiejscowienia, rozrzutu i kształtu (opracowanie własne na podstawie [4])

W opinii Deminga zmienność stanowi produkt każdego systemu [174]. Według niego jej analiza z wykorzystaniem odpowiednich metod i narzędzi jest zadaniem menadżerów, którzy dodatkowo mają odczytywać sygnały płynące bezpośrednio z procesu produkcyjnego o konieczności jego poprawy bądź korekty [174].

Matuszak-Flejszman i Łuczak [133] zwracają uwagę na dwa istotne pojęcia, których rozróżnienie ma istotny wpływ na odpowiednie posługiwanie się narzędziami *SPC* oraz zrozumienie pojęcia zmienności procesu:

- **dokładność**, czyli poprawność – stanowiąca miarę zgodności wyrobu z określonym (przyjętym) wzorcem,
- **precyzja** – stanowiąca miarę rozrzutu.

Według autorów powyższe miary są powszechnie uważane za tożsame, co jest podejściem błędnym [133]. Różnicę pomiędzy dokładnością, a precyzją przedstawiono na rys.3.32.



Rys. 3.32. Różnice pomiędzy dokładnością a precyzją (pracowanie własne na podstawie [133], [224])

W przypadku dużej precyzji i dokładności proces cechuje się niską zmiennością (niewielkimi odchyleniami od wartości średniej) oraz pokryciem wartości średniej z oczekiwaną średnią. Sytuację tę można utożsamić ze strzałami z łuku - strzelec za każdym razem kieruje strzałę w środek tarczy w niewielkich odległościach od siebie. W przypadku braku dokładności i precyzji proces cechuje się dużym rozrzutem oraz wartość średnia mocno odbiega od wartości oczekiwanej. Zatem strzelec nie dość, że nie trafia w środek tarczy, to strzały znajdują się w odległych położeniach od siebie. Kolejny przypadek to dobra precyzja, ale brak dokładności - strzały skupiają się wokół pewnej wartości jednakże są dalekie od środka tarczy. Z kolei w przypadku braku precyzji i wysokiej dokładności - strzały trafiają w obszar środka tarczy, jednakże z większą odległością od siebie. Zalewski [224] wyszczególnia następujące różnice pomiędzy dokładnością, a precyzją:

- pojedynczy pomiar nie daje informacji na temat dokładności i precyzji,
- pojedynczy pomiar nie stanowi przesłanki w ingerencję procesu,
- poprawa dokładności jest prostsza niż poprawa precyzji,
- koszt poprawy precyzji jest wysoki i nie przynosi spektakularnych rezultatów,
- poprawa precyzji rzadko skutkuje zwiększeniem zdolności jakościowej procesu,
- pozornie mało dokładne pomiary dają dobre wyniki w sterowaniu procesem,
- szybka i prosta metoda pomiarowa daje dużo lepsze rezultaty niż powolna i dokładna.

Shewhart wskazał dwie przyczyny zmienności w procesach produkcyjnych [55], które zostały zdefiniowane również w normie PN-ISO 3534-2:2010 [156] oraz pracach naukowców np. Gejdoś [74]:

- **Przyczyny specjalne** - są przyczynami, które nie stanowią integralnej części procesu i nie wpływają na wszystkie komponenty procesu, ale występują w wyniku konkretnych okoliczności. Indukują prawdziwe zmiany w procesie, odzwierciedlone w nienaturalnych wahaniach danych wykorzystywanych do oceny zmienności procesu.
- **Przyczyny losowe** - zwane również przyczynami systemowymi; są stałym elementem procesu i wpływają na wszystkie komponenty procesu. Tworzą szeroką gamę indywidualnie identyfikowalnych przyczyn, z których każda ma nieznaczący wpływ na ogólną zmienność.

Uważa się, że przyczyny losowe wynikają z nieodłącznego charakteru procesu i nie można ich zmienić bez ingerencji w zmiany samego procesu. Natomiast przyczyny specjalne zmienności stanowią nietypowe „wstrząsy” lub inne zakłócenia procesu, których przyczyny mogą i powinny zostać usunięte. Woodall [219] podkreśla również, że przyczyny uważane dzisiaj za losowe, jutro mogą stanowić przyczyny specjalne, a reakcja na pojawiające się sygnały zakłóceń specjalnych powinna być jedynie w przypadku ekonomicznego i praktycznego uzasadnienia. Mason i Antony [132] wskazują następujące przykłady przyczyn losowych oraz specjalnych:

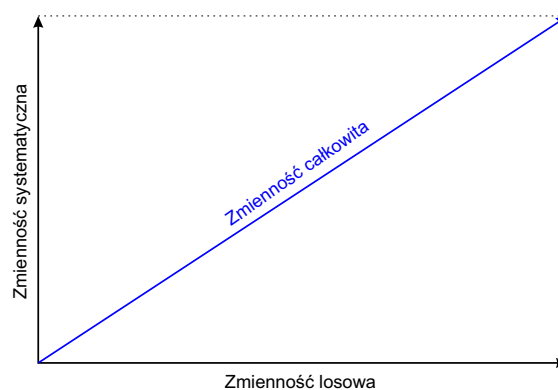
- **Przyczyny specjalne:** reset maszyn, zużywanie się narzędzi, błędy w pomiarach, błędy w obliczeniach i błędy operatora.
- **Przyczyny losowe:** wahania wilgotności, zmiany temperatury, wahania elektryczne, pogorszenie działania sprzętu i zmiany w surowcu.

Z kolei Myszewski [145] przytacza przykładowe przyczyny zmienności z uwzględnieniem kategorii przyczyn 6M z diagramy Ishikawy (tab. 3.14). Dodatkowo wyodrębnia on dwa typy zmienności, z uwagi na oddziałujące przyczyny zmienności (rys. 3.33) [145]:

- **Zmienność losowa**, która stanowi składową zmienności całkowitej – wywołana przyczynami losowymi.
- **Zmienność systematyczna**, która stanowi składową zmienności całkowitej – wywołana przyczynami specjalnymi.

Tabela 3.14. Charakterystyka przyczyn zmienności wg kategorii 6M [145]

Lp.	Kategoria przyczyn	Przyczyna losowa zmienności	Przyczyna specjalna zmienności
1.	Człowiek	pospolite niedoskonałości ludzkiego działania	indywidualne różnice między osobnikami
2.	Maszyna	pospolite niedoskonałości technicznego wyposażenia, luzy, niepowtarzalności	indywidualne różnice między jednostkami technicznego wyposażenia
3.	Metoda	niedoskonałości określenia metody: luki, za duże tolerancje	indywidualne różnice między metodami
4.	Materiał	niejednorodność materiału w jednostce	indywidualne różnice między jednostkami
5.	Środowisko	lokalne niestabilności warunków	istotne różnice w warunkach otoczenia
6.	Zarządzanie	działania niesystemowe podejmowane przez menedżerów	niedoskonałości strukturalne systemu zarządzania



Rys. 3.33. Struktura zmienności całkowitej (opracowanie własne na podstawie [145])

Według Myszewskiego [145] zarówno kierunek, jaki i zwrot poszczególnych

składowych w ogólnych rozważaniach ma drugorzędne znaczenie. Z kolei w obliczeniach należy odpowiednio dobierać wzory na analizowane miary rozrzutu (np. odchylenie standardowe bądź rozstęp) dla poszczególnych składowych. Według niego ograniczanie zmienności jest równoznaczne z redukcją oddziaływania przyczyn zmienności przez eliminację lub wymianę przyczyn zmienności. Natomiast ograniczenie zmienności całkowitej sprowadza się do zmniejszenia długości wektora reprezentującego zmienność całkowitą, co oznacza, zgodnie z rys. 3.33, zmniejszenie długości wektora reprezentującego zmienność losową lub wektora reprezentującego zmienność systematyczną (przy założeniu, że kierunki wektorów składowych zmienności systematycznej i losowej są stałe) [145].

Walanus [210] uważa, że w każdym procesie produkcyjnym można wyszczególnić następujące typy zmienności:

- krótko- i długoterminową,
- szybką i wolną,
- wewnątrzpróbkową i całkowitą.

Walanus [211] definiuje zmienność krótkoterminową (szybką, wewnątrzpróbkową) i długoterminową (krótką, całkowitą) podając przykład badania masy bułki. Według autora zmienność krótkoterminową można wyznaczyć poprzez np. miesięczne rejestrowanie absolutnych, codziennych zmian masy bułki oraz wyznaczeniu ilorazu średniej absolutnej, miesięcznej masy bułki i stałej $d_2 = 1,128$. W ten sposób skokowa zmiana średniej masy bułki będzie w minimalnym stopniu wpływała na zaburzenie średniego dobowego rozstępu. Z kolei długoterminowa zmienność stanowi odchylenie średniokwadratowe dla całego okresu badania masy bułki. W tym przypadku zmiana masy bułki będzie proporcjonalna do wielkości zmiany [211].

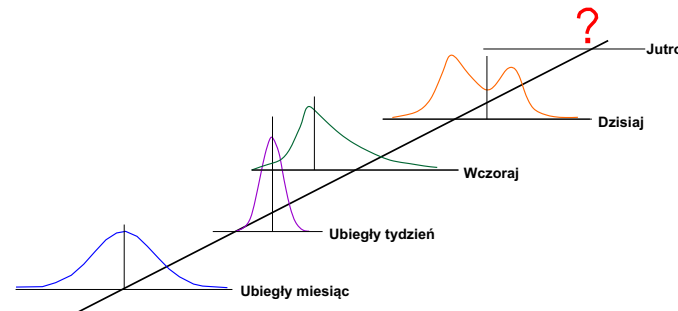
Zatem zgodnie ze spostrzeżeniem Wheelera [216] zmienność jest zjawiskiem złożonym i aby ją zrozumieć należy wykorzystać bardziej zaawansowane narzędzia i analizy, niż tylko samo porównanie dwóch wartości. Z kolei zrozumienie zmienności procesu daje możliwość oceny, czy proces ten uległ pewnej zmianie czy też nie, a nawet w jakim czasie ta zmiana nastąpiła [216].

3.6. Statystyczna stabilność procesu

Stabilność stanowi jedną z najbardziej pożądanых cech procesu produkcyjnego [94]. Proces jest statystycznie stabilny (kontrolowalny), jeśli rozkład prawdopodobieństwa reprezentujący badaną charakterystykę jakościową jest stały w czasie (rys.3.34). Z kolei jeżeli w rozkładzie prawdopodobieństwa nastąpiła pewna zmiana w czasie, proces ten jest określany jako statystycznie niestabilny (proces niekontrolowalny)(rys.3.35) [219]. McNeese [136] podaje dodatkowe kryterium stabilności procesu, w którym krótkoterminowa zmienność (ang. short-term variation) jest zgodna z długoterminową zmiennością (ang. long-term variation).

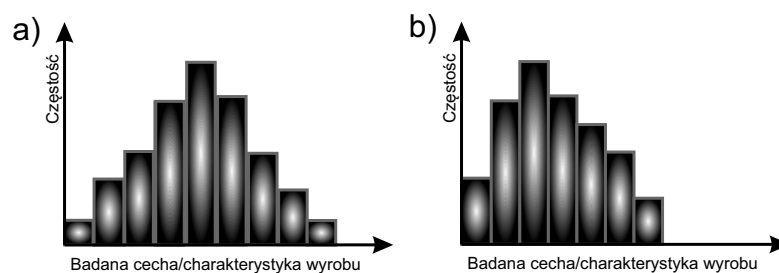


Rys. 3.34. Schemat procesu statystycznie stabilnego (kontrolowalnego) (opracowanie własne na podstawie [193])



Rys. 3.35. Schemat procesu statystycznie niestabilnego (niekontrolowalnego) [193]

Stapenhurst [193] twierdzi, że proces jest w stanie statystycznej stabilności (kontrolowalny), wówczas dane pomiarowe będą miały charakter jednego z wielu rozkładów - najczęściej rozkładu normalnego (rys. 3.36). Jednakże mogą pojawiać się rozkłady skośne, w szczególności gdy zliczane są zdarzenia w przypadku danych z naturalnym ograniczeniem [193] (np. średnica, która nie może przyjmować wartości ujemnych).



Rys. 3.36. Przykładowe histogramy dla procesów kontrolowalnych (opracowanie własne na podstawie [193])

Według Holmsa i Mergen [93] stabilność procesu postrzegana jest jako brak „skoków” wartości średniej lub wariancji wybranych zmiennych procesowych. Natomiast pojawienie się takich anomalii wskazuje na pojawienie się dodatkowej zmienności, która może powodować problemy z wewnętrznymi lub zewnętrznymi użytkownikami produktu [93]. Tradycyjna definicja „stabilności procesu” została uogólniona na przestrzeni lat, aby uwzględnić przypadki, w których bazowy model statystyczny charakterystyki jakości jest stabilny w czasie. Te użyteczne uogólnienia obejmują na przykład modele regresji, wariancji i modele szeregów czasowych [219].

W przypadku podstawowej karty kontrolnej typu Shewharta bez dodatkowych reguł, proces jest uważany za statystycznie stabilny (kontrolowany), jeśli

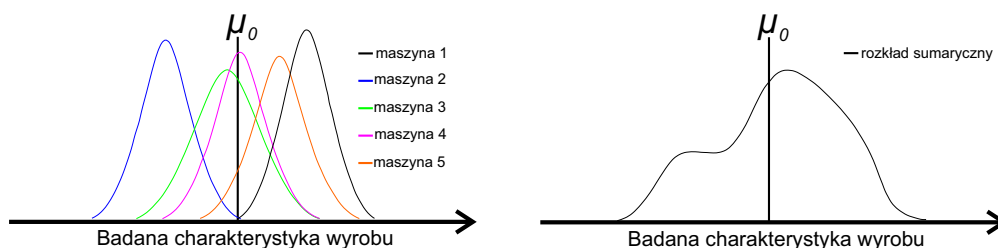
wyznaczona statystyka mieści się w granicach kontrolnych [219]. W związku z tym niektórzy autorzy utożsamiają karty kontrolne z testowaniem hipotez. Juran [101] określa karty kontrolne jako ciągły test istotności. Podobne zdanie do Jurana mają np. Box i Kramer [27]. Jednakże Wheeler [215] czy też Hoerl i Palm [92] podkreślają różnice między kartami kontrolnymi i testami hipotez, które wynikają głównie z dynamicznego charakteru procesów, dla których niemożliwe jest jednoznaczne określenie skończonej populacji oraz pobieranych próbek.

Brak normalności rozkładu niekoniecznie musi być wyznacznikiem niestabilności procesu, tak jak zakładał Shewhart [141]. W rzeczywistości okazuje się bowiem, że rozkład badanych charakterystyk dla procesów naturalnie nie jest zgodny z rozkładem normalnym, ale pod względem ekonomicznym czy też technicznym proces ten przebiega w sposób właściwy [62]. Przykładem tego typu procesów mogą być procesy: wielostrumieniowe (ang. Multiple Stream Processes; MSP), a także te w których następuje zużycie narzędzia czy też w produkcji betonu [6],[62].

Duclos, Pillet i Avrillon [62] wskazują na dwie główne przyczyny niespełnienia założenia o normalności:

- **Natura procesu** - w rzeczywistości okazuje się, że większość procesów przebiega zgodnie z rozkładami niesymetrycznymi z uwagi na pewne względy fizyczne czy też mechaniczne. Mortel i Runge [141] przytaczają proces napełnienia butelek. W procesie tym wykorzystuje się dwadzieścia cztery głowice rozlewnicze, które są regulowane niezależnie. Podczas każdego cyklu jednocześnie napełniane są dwadzieścia cztery butelki. Tego typu sytuacje mogą determinować, że rozkład badanej charakterystyki nie będzie rozkładem normalnym.
- **Typ analizowanych danych** - niektóre wielkości fizyczne. Przykładowo osobliwością jest uzyskanie poziomu pH równego 0.

Dodatkowo Duclos, Pillet i Avrillon [62] przytaczają przypadek jednoczesnej, niezależnej produkcji jednego typu wyrobu na kilku elementarnych maszynach. Okazuje się bowiem, że w tego typu sytuacji, rozkłady charakterystyki dla poszczególnych maszyn (rozkłady cząstkowe) mają z reguły charakter rozkładu normalnego, a sumaryczny rozkład prawdopodobieństwa dla tej cechy może być inny (rys. 3.37). Przypadek ten określany jest w literaturze jako „rozwarstwienie procesu” (ang. stratification of the process), jednakże jest rzadko badany z punktu widzenia aplikacji SPC, choć stanowi on istotną kwestię dla procesów produkcyjnych [62].



Rys. 3.37. Zjawisko rozwarstwienia procesu (opracowanie własne na podstawie [62])

Tsung, Li i Jin [208] dostrzegają, że nowoczesna technologia staje się coraz bardziej wyrafinowana, przez co większość gałęzi przemysłu wytwórczego tj. produkcja półprzewodników, montaż karoserii samochodowej i wiele innych obejmuje więcej niż jeden etap operacyjny. Natomiast konwencjonalne metody SPC

są zazwyczaj ograniczone do jednego etapu procesu i nie są wystarczające w przypadku wieloetapowego procesu produkcji (ang. Multistage Manufacturing Process; *MMP*) [208]. Liu [125] zauważa, że w związku z tym ograniczeniem nie uwzględnia się korelacji między poszczególnymi etapami strumienia *MMP*. Zatem, jeżeli wykorzystywane są klasyczne techniki, tj. wielowymiarowe karty kontrolne, do monitorowania *MMP*, sygnały świadczące o deregulacji procesu mogą wprowadzać w błąd. Jest to spowodowane faktem, że wykrycie stanu deregulacji procesu w poprzedzającym etapie może w rzeczywistości być spowodowane przypisywalną przyczyną obecną na wyższym etapie (rys.3.38).



Rys. 3.38. Schemat powiązań poszczególnych etapów realizacji *MMP* (opracowanie własne na podstawie [125])

Kluczowym problemem w przypadku *MMP* jest jego matematyczny opis. Modelowanie wieloetapowego procesu przy wykorzystaniu modeli statystycznych, takich jak modele regresji liniowej okazuje się nieskuteczne z uwagi na brak uwzględnienia wiedzy inżynierskiej z zakresu przebiegu poszczególnych etapów realizacji procesu, a także ich wzajemnych powiązań. Tsung, Li i Jin [208] sugerują, że w tego typu sytuacjach, wykorzystanie dwurównaniowego modelu, w którym pierwsze równanie stanowi dopasowanie pomiarów *KPC* do wejścia systemowego i informacji o jakości. Z kolei równanie drugie stanowi model obrazujący sposób, w jaki zmiany *KPC* zmieniają się, w zależności od pomiarów zebranych w poprzednich etapach procesu. Liu [125] podaje następujące warunki wykorzystywane do budowy matematycznego opisu (modelowania) *MMP*:

- zależność pomiędzy nieobserwowalnymi informacjami o jakości wyrobu i zmienności losowej, w celu opisu wpływu źródeł zmienności na jakość wyrobu,
- zależność pomiędzy nieobserwowalnymi informacjami o jakości wyrobu i pomiarami *KPC*, w celu opisu odchyleń pomiarów *KPC*,
- zależność pomiędzy nieobserwowalnymi informacjami o jakości wyrobu na k -tym oraz $k - 1$ -tym etapie procesu, w celu opisu propagacji zmienności.

Model dla dwóch pierwszych rodzajów relacji opisany został przez Jin i Shi [99], którzy zaproponowali następujący dwurównaniowy, linowy model pomiaru jakości na k -tym etapie procesu kontrolowanego:

$$\begin{aligned} y_k &= C_k x_k + w_l, \\ x_k &= A_{k-1} x_{k-1} + v_k, \end{aligned} \quad (3.16)$$

dla $k = 1, \dots, N$,

gdzie:

N – łączna liczba etapów procesu,

y_k – pomiary *KPC*,

x_k – nieobserwowalne informacje o jakości wyrobu (odchyłki wymiarowe),

v_k – zakłócenia procesu (zmiennosc losowa),

w_k – błąd pomiaru dla *KPC*,

$A_{k-1}x_{k-1}$ – oznacza przekształcenie informacji o jakości z etapu $k - 1$ do etapu k ,

C_k – używane do powiązania stanów procesu x_k z pomiarami *KPC* y_k ,

A_{k-1}, C_k – znane macierze stałych na etapie k (oszacowane na podstawie wiedzy inżynierskiej, np. praw fizycznych i informacji o projekcie procesu/wyrobu).

Według Jin oraz Shi [99] błędy procesu lub warunki procesu niekontrolowanego wynikają bezpośrednio z błędów urządzenia, błędów obróbki, błędów pomiarowych itp. [99]

Jak już wcześniej wspomniano, wykorzystywanie kart kontrolnych może być traktowane jako test statystyczny. W tym kontekście granice kontrolne traktowane są jako wartości krytyczne testu statystycznego, których przekroczenie może stanowić podstawę do uznania, że proces jest w stanie niekontrolowanym. Dzięki temu możliwie jest sformułowanie hipotezy zerowej oraz alternatywnej w następujący sposób:

H_0 : proces produkcyjny w stanie kontrolnym,

H_1 : proces produkcyjny w stanie niekontrolnym.

Przykładowo, dla karty X_{sr} , hipotezy zerowa oraz alternatywna definiowane są następująco:

$H_0: \mu_0 = \mu_1$,

$H_1: \mu_0 \neq \mu_1$.

W konsekwencji stosowanie kart kontrolnych związane jest z dwoma rodzajami błędów statystycznych (tab. 3.15)- błąd pierwszego rodzaju (ang. Type I risk) i błąd drugiego rodzaju (ang. Type II risk). Błąd pierwszego rodzaju polega na przyjęciu H_1 w przypadku, gdy prawdziwa jest H_0 [2]. Natomiast błąd drugiego rodzaju polega na przyjęciu H_0 w przypadku, gdy H_1 jest prawdziwa [2].

Tabela 3.15. Interpretacja błędów I i II rodzaju [2]

		Stan rzeczy	
		H_0	H_1
Decyzja	H_0	Decyzja słuszna	Błąd II rodzaju
	H_1	Błąd I rodzaju	Decyzja słuszna

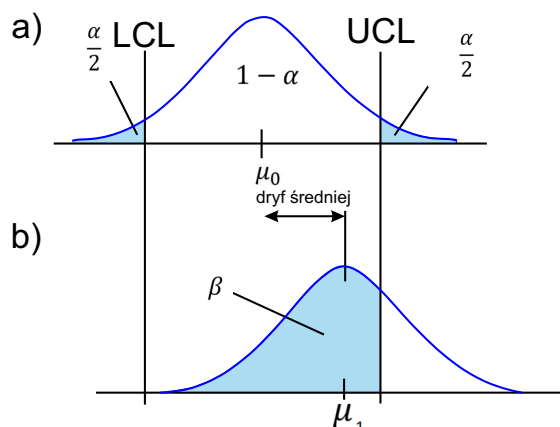
W zastosowaniach sterowania jakością, a konkretnie wykorzystania kart kontrolnych, powyższe błędy będą miały następującą interpretację:

- **Błąd I rodzaju** - wystąpienie alarmu na karcie kontrolnej, w sytuacji, gdy proces jest kontrolowany.
- **Błąd II rodzaju** - brak alarmu na karcie kontrolnej, w sytuacji, gdy proces jest niekontrolowany.

Prawdopodobieństwo wystąpienia obu rodzajów błędów statystycznych zdefiniowali np. Akram, Saif i Rahim [7] jako:

- $\alpha = P(\text{punkt znajduje się poza granicami kontrolnymi} | \text{proces jest kontrolowany})$
- prawdopodobieństwo fałszywego alarmu (rys. 3.39 a),

- $\beta = P(\text{punkt znajduje się w granicach kontrolnych} | \text{proces jest niekontrolowalny})$ - prawdopodobieństwo niewykrycia zmian zachodzących w procesie wytwórczym (rys. 3.39 b)).



Rys. 3.39. Prawdopodobieństwo błędu I i II rodzaju dla: a) procesu kontrolowanego
b) procesu niekontrolowanego (opracowanie własne)

Według Hamrola [87] prawdopodobieństwo błędu I rodzaju w odniesieniu do przekroczenia punktu granicy kontrolnej, jest stałe i niewielkie (wynosi $\frac{\alpha}{2} = 0,00135$). Z kolei prawdopodobieństwo błędu II rodzaju zależy od trzech czynników:

- liczebności próby,
- przyjętego prawdopodobieństwa popełnienia błędu I rodzaju (poziom istotności α),
- poziomu dryfu wartości średniej.

Govindaraju [79] definiuje średnią liczbę obserwacji wymaganej do określenia zachodzącej zmiany procesu (znaną jako średnia długość przebiegu lub *ARL* - ang. Average Run Length) jako oczekiwaną liczbę pomiarów niezbędnych do zasygnalizowania przez kartę kontrolną utraty stanu statystycznej stabilności procesu produkcyjnego. Govindaraju [79] wyróżnia dwa typy funkcji *ARL* dla procesu kontrolowanego:

- ARL_0 typu A - uwzględniającej skończony okres przebiegu procesu produkcyjnego (krótki przebieg produkcyjny) i wyrażonej następującym wyrażeniem:

$$ARL_{OA} = \frac{1 - (1 - p)^k}{p}, \quad (3.17)$$

gdzie: k - maksymalna możliwa liczba obserwacji n -elementowych, które zostaną pobrane z procesu produkcyjnego.

- ARL_0 typu B - odnoszącej się do produkcji z długimi i bardzo długimi przebiegami produkcyjnymi i wyrażonej następującym wyrażeniem:

$$ARL_{OB} = \frac{1}{p}. \quad (3.18)$$

Stapenhurst [193] wskazuje na następujące zalety wykorzystywania *ARL*:

- Dostępna jest pewna informacja (z pewnym prawdopodobieństwem) o tym, jak długo po wystąpieniu zdarzenia karta kontrolna zasygnalizuje, że zdarzenie miało miejsce.
- Wybór odpowiedniej częstotliwości i/lub liczebności próbki umożliwia sterowanie ARL .

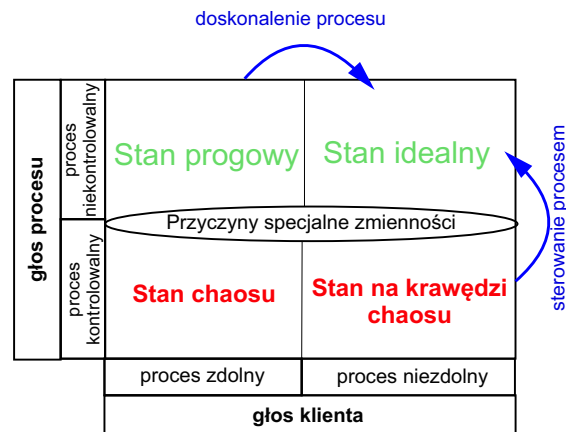
Epprecht i zespół [65] zwracają uwagę na to, że w ostatnich latach zmieniło się postrzeganie ARL_0 . W klasycznym ujęciu (obowiązującym mniej więcej do roku 2014) ARL_0 stanowiło bowiem warunkową wartość oczekiwaną, dzięki której możliwe jest określenie liczby m n -elementowych obserwacji niezbędnych do estymacji parametrów procesu w fazie I wdrażania kart kontrolnych, tak aby była dostatecznie bliska nominalnej wartości 370 [65]. W nowym ujęciu bazuje się na założeniu, że po oszacowaniu parametrów procesu i wykorzystaniu tych oszacowań do konstrukcji granic kontrolnych (faza II) wartość ARL_0 będzie jednakowa przez cały czas monitorowania procesu, jednakże będzie ona różna od oczekiwanej (bezwarunkowej) wartości ARL_0 . W konsekwencji autorzy sugerują, aby określenie liczby niezbędnych obserwacji w fazie I opierało się o analizę rozkładu wartości ARL_0 (czy prawdopodobieństwa pojawienia się fałszywych sygnałów) i określeniu warunków jej dopuszczalności, a nie na podstawie oczekiwanej wartości 370 [65].

Epprecht i zespół [65] dostrzegają również pewne zagrożenia płynące z opisanego powyżej podejścia. Mianowicie w przypadku małej liczby obserwacji ujętych w fazie I istnieje większa konieczność późniejszej korekty granic kontrolnych, co w konsekwencji może prowadzić do zmniejszenia wrażliwości karty na pojawiające się zmiany parametrów procesu (zwiększenie wartości ARL_1) [65]. Zatem rodzi się konieczność dobrego kompromisu pomiędzy [65]:

- liczbą danych niezbędnych w fazie I, która ma być odpowiednio mała i nie ekstremalnie duża z uwagi na ekonomizację, ale także konieczność/chęć szybkiego podjęcia monitorowania procesu,
- wielkością korekty granic kontrolnych w celu utrzymania wystarczająco wysokiego poziomu ARL_0 ,
- brakiem wzrostu wartości ARL_1 .

W aspekcie sterowania i doskonalenia procesów Olejnik [151] podkreśla różnicę pomiędzy zmiennością procesu (określaną również jako głos procesu; ang. Voice of the Process), a specyfikacją procesu (zwaną także głosem klienta; ang. Voice of the Customer). Autorka, wskazuje dwa ich stany odpowiednio proces: kontrolowalny i niekontrolowalny, zdolny i niezdolny [151]. Kombinacja tych stanów definiują tzw. cztery główne stany procesu (rys. 3.40):

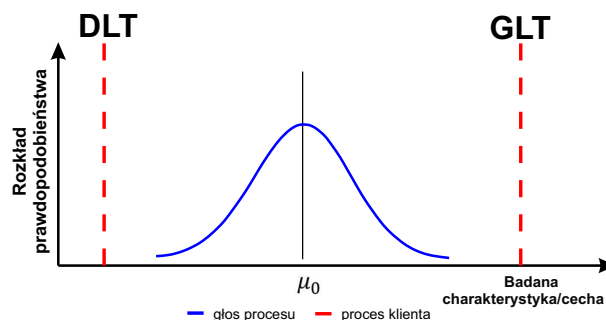
- stan chaosu,
- stan na krawędzi chaosu,
- stan progowy,
- stan idealny.



Rys. 3.40. Cztery główne stany procesu [151]

W powyższym ujęciu sterowanie jakością polega na zmianie stanu chaosu bądź stanu na granicy chaosu na stan progowy lub idealny. Z kolei doskonalenie procesu rozumiane jest osiągnięcie stanu idealnego, w którym głos procesu pokrywa się z głosem klienta.

Na rys. 3.41 przedstawiono odniesienie głosu procesu do głosu klienta.



Rys. 3.41. Schemat odniesienia głosu procesu do głosu klienta (opracowanie własne na podstawie [151])

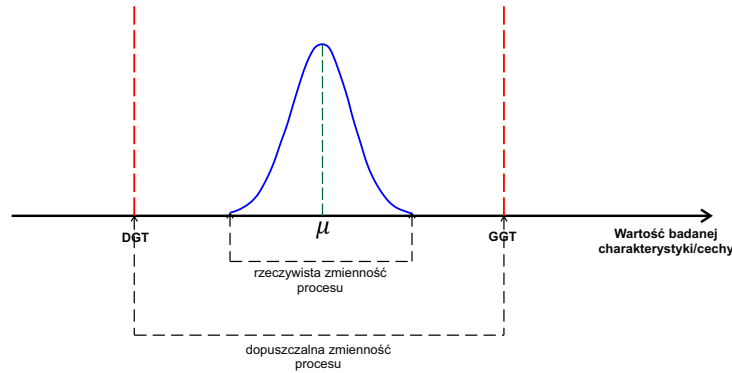
3.7. Zdolność procesu

Podstawową kwestią dla organizacji zorientowanej na jakość jest ocena poziomu spełnienia oczekiwań klientów. Jeśli zdefiniowane są oczekiwania klientów, konieczne jest oszacowanie, w jaki sposób przedsiębiorstwo produkcyjne jest w stanie spełnić te oczekiwania [74]. Wyrób powinien być wytwarzany w stabilnym procesie, co oznacza, że proces powinien być w stanie wyprodukować produkt o akceptowalnej zmienności wymienionych wskaźników jakości pod względem ich zadeklarowanych wartości docelowych lub nominalnych [74]. Według Grebera [83], omówione w rozdz. 3.3.1, 3.3.2 oraz 3.6 karty kontrolne są skutecznym narzędziem oceny statystycznego uregulowania procesu jednakże nie umożliwiają jednoznacznej oceny tego, czy realizowany proces spełnia wymagania klienta (zarówno wewnętrznego jak i zewnętrznego). W tym celu należy wykorzystać tzw. wskaźniki zdolności jakościowej (ang. Process Capability Indices; *PCI*). W tab. 3.16 umieszczono wybrane definicje zdolności jakościowej procesu.

Tabela 3.16. Wybrane definicje zdolności jakościowej procesu (opracowanie własne)

Lp.	Autor/Autorzy	Definicja
1.	Sinha i Willborn (1985)	<i>Zdolność procesu zapewnia określone ilościowe wskaźniki adekwatności i jest poznana pośrednio dzięki kontroli jakości wykonywanej na rzeczywistym produkcie [188].</i>
2.	Juran, Joseph i Gryana (1988)	<i>Zdolność procesu to minimalna zmienność, którą proces może osiągnąć [102].</i>
3.	Wasserman z zespołem (1991)	<i>Zdolność procesu to zdolność procesu produkcyjnego do produkcji przedmiotów w określonych granicach tolerancji [213].</i>
4.	Lester, Enrich i Motley (1992)	<i>Zdolność procesu jako jakość, jaką proces może wytworzyć przy operacjach na normalnym poziomie w praktycznych warunkach przy pomocy ekonomicznych środków firmy [121].</i>
5.	Pyzdek (1992)	<i>Analiza zdolności procesu jest przeprowadzana w celu porównania procesu kontrolowanego z pomiarem. Jest to badanie analityczne, które próbuje oszacować przyszłe zdarzenia [161].</i>
6.	Montgomery (2007)	<i>Zdolność procesu to badanie inżynierskie przeprowadzone w celu oszacowania możliwości procesu. Oszacowanie zdolności procesu może mieć postać rozkładu prawdopodobieństwa o określonym kształcie, środku (średnia) i rozkładzie (odchylenie standardowe) [139].</i>
7.	Sagbas (2009)	<i>Analiza zdolności jakościowej to technika stosowana w wielu etapach cyklu produktu (w tym projekt produktu, planowanie produkcji i proces wytwórczy), ponieważ pomaga określić zdolność do produkcji części w granicach tolerancji i wartości inżynierskich. [177].</i>
8.	Goswami i Dutta (2013)	<i>Zdolność procesu jest stosunkiem odległości od średniej procesowej do najbliższej granicy specyfikacji i miary zmienności procesu.[78].</i>
9.	Evans i Lindsay (2014)	<i>Zdolność procesu to ilościowe wyrażenie do zapewnienia, że wyroby spełniają określone (przez klienta lub projektanta procesu) granice specyfikacji: dolną granicę specyfikacji (ang. Lower Specification Limit; LSL) zwaną również dolną granicą tolerancji DGT oraz górną granicę specyfikacji (ang. Upper Specification Limit; USL) zwaną również górną granicą tolerancji GGT [67].</i>
10.	Hamrol (2017)	<i>Analiza zdolności procesów pozwala ocenić, w jakim stopniu proces może spełniać lub spełnia wymagania jakościowe [87].</i>

Według Arteaga Sierra i zespołu [15] analiza zdolności jakościowej polega na porównaniu rzeczywistej zmienności procesu (wyrażonej jako 6σ) w granicach jej specyfikacji i jej lokalizacji w odniesieniu do wartości nominalnej badanej cechy jakościowej i stanowi tzw. „głos procesu” (rys. 3.42).



Rys. 3.42. Idea analizy zdolności jakościowej (opracowanie własne)

Klasyczne wskaźniki zdolności jakościowej opisane są następującym wyrażeniami [83]:

$$c_p = \frac{GGT - DGT}{6\sigma}, \quad (3.19)$$

$$c_{pk} = \min(c_{pl}, c_{pu}) = \min\left(\frac{\mu - DGT}{3\sigma}, \frac{GGT - \mu}{3\sigma}\right), \quad (3.20)$$

gdzie: μ - średnia procesu, σ - odchylenie standardowe procesu.

Şenvar i Tozan [182] podają następującą zależność, która umożliwia wyznaczenie procentu pasma specjacji wykorzystanego przez proces:

$$P = \left(\frac{1}{c_p}\right) \cdot 100. \quad (3.21)$$

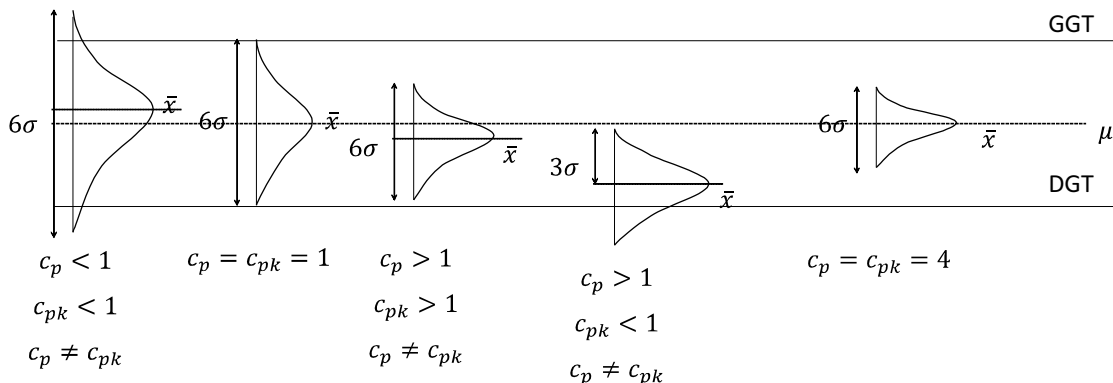
Czarski [53] podaje następujące formuły tzw. wskaźników zdolności jakościowej pierwszej generacji, w przypadku, gdy parametry procesu są nieznanne (przypadek estymacji parametrów procesu):

$$c_p = \frac{GGT - DGT}{6\hat{\sigma}}, \quad (3.22)$$

$$c_{pk} = \min(c_{pl}, c_{pu}) = \min\left(\frac{\bar{x} - DGT}{3\hat{\sigma}}, \frac{GGT - \bar{x}}{3\hat{\sigma}}\right), \quad (3.23)$$

gdzie: \bar{x} - nieobciążony estymator średniej procesu, $\hat{\sigma}$ - nieobciążony estymator odchylenia standardowego procesu.

Ideę wskaźników zdolności jakościowych c_p oraz zależność pomiędzy c_p i c_{pk} przedstawiono na rys. 3.43.



Rys. 3.43. Zależności pomiędzy c_p i c_{pk} (opracowanie własne na podstawie [85])

W przypadku tolerowania jednostronnego (określona dolna lub górna granica tolerancji) wskaźnik zdolności potencjalnej c_p jest nieokreślony. W tej sytuacji wyznaczany jest odpowiednio: c_{pl} bądź c_{pu} , zgodnie z zależnościami 3.20 lub 3.23.

Arteaga Sierra i zespół [15] wskazują trzy podstawowe założenia dla klasycznych wskaźników (3.19 - 3.23) zdolności jakościowej:

- analizowany proces produkcyjny jest kontrolowalny (statystycznie stabilny),
- dane pomiarowe są niezależne i pochodzą z tego samego rozkładu,
- dane pomiarowe wykazują charakter rozkładu normalnego.

W tab. 3.17 i tab. 3.18 zestawiono przykładowe interpretacje *PCI* zaproponowane odpowiednio przez Montgomery [139] oraz Hamrola [85].

Tabela 3.17. Interpretacja *PCI* według Montgomery [139]

Lp.	Wartość wskaźnika c_p	Ocena procesu
1.	$c_p \geq 2$	światowej klasy proces
2.	$1,67 \leq c_p < 2$	doskonały proces
3.	$1,33 \leq c_p < 1,67$	odpowiedni proces
4.	$1,00 \leq c_p < 1,33$	częściowo odpowiedni proces
5.	$0,67 \leq c_p < 1,00$	niewystarczający proces
6.	$c_p < 0,67$	zły proces

Tabela 3.18. Interpretacja *PCI* według Hamrola [85]

Lp.	Wartość wskaźnika zdolności	Ocena procesu
1.	$c_p = c_{pk}$	Proces wycentrowany, czyli wartość średnia procesu ustalona jest dokładnie na środku pola tolerancji.
2.	$c_p \neq c_{pk}$	Proces niewycentrowany, czyli wartość średnia procesu nie jest ustalona dokładnie na środku pola tolerancji. Zalecana korekta ustawień procesu.
3.	$c_p < 1,00 \implies GGT - DGT < 6\sigma$	Niska zdolność jakościowa. Wskazanie doskonalenie procesu bądź rozszerzenie granic tolerancji.
4.	$c_p \approx 1,00 \implies GGT - DGT \approx 6\sigma$	Przeciętna zdolność jakościowa. Możliwe pojawienie się jednostek niezgodnych.
5.	$c_p > 1,33 \implies GGT - DGT > 8\sigma$	Dobra zdolność jakościowa.
6.	$c_p > 1,66 \implies GGT - DGT > 10\sigma$	Bardzo dobra zdolność jakościowa.

Ahmad, Abdollahian i Zeephongseku [3] zauważają, że w praktyce dane gromadzone z pomiarów *KPC* często nie mają charakteru rozkładu normalnego, co w konsekwencji zastosowanie tradycyjnych metod szacowania klasycznych *PCI* może prowadzić do błędnych wyników. Dodatkowo, gromadzone pomiary mogą zostać grupowane w k - elementowe próbki czy też monitoruje się kilka powiązanych ze sobą *KPC* jednocześnie. W związku z powyższym w literaturze przedmiotu pojawiły się modyfikacje klasycznych wskaźników zdolności jakościowej bądź nowe

propozycje ich wyznaczenia.

Chan, Cheng i Spiring [38] zaproponowali wskaźnik zdolności uwzględniający wartość nominalną. Może być on wykorzystywany w sytuacji, gdy granice tolerancji są niesymetryczne [38]. Przy określonym poziomie odchylenia standardowego σ wartość wskaźnika c_{pm} jest tym wyższa im bardziej wartość nominalna T pokrywa się ze średnią procesu μ [83].

$$c_{pm} = \frac{GGT - DGT}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \quad (3.24)$$

gdzie: T - wartość nominalna.

Chan, Cheng i Spiring [37] zaproponowali wykorzystanie niezależnych od rozkładu przedziałów tolerancji do wyznaczenia wskaźników zdolności jakościowej. Propozycja autorów pozwala na złagodzenie ograniczenia związanego z brakiem normalności poprzez dobór odpowiedniego procentu elementów w granicach tolerancji [116].

$$c_p = \frac{GGT - DGT}{\omega} = \frac{GGT - DGT}{\frac{3}{2}\omega_2} = \frac{GGT - DGT}{3\omega_3}, \quad (3.25)$$

$$c_{pk} = \frac{\min(\mu - DGT; GGT - \mu)}{\frac{\omega}{2}}, \quad (3.26)$$

gdzie: ω_i - rozpiętość przedziału tolerancji.

Clements [45] opracował przybliżoną metodę wyznaczania *PCI*, opartą na wartości parametrów kształtu, tj. kurtoza i skośność. W wykorzystaniu metody nie ma konieczności poznania formy rozkładu analizowanego parametru. Metodę Clements'a wykorzystuje się w sytuacji, gdy rozkład badanej charakterystyki/cechy nie jest rozkładem normalnym.

$$c_p = \frac{GGT - DGT}{x_{0,99865} - x_{0,00135}}, \quad (3.27)$$

$$c_{pk} = \min\left(\frac{x_{0,5} - DGT}{x_{0,5} - x_{0,00135}}; \frac{GGT - x_{0,5}}{x_{0,99865} - x_{0,5}}\right), \quad (3.28)$$

gdzie: $x_{0,00135}$, $x_{0,5}$, $x_{0,99865}$ - percentyle oszacowane przy wykorzystaniu metody Clements'a.

Pearn, Kotz i Johnson [155] opracowali wskaźnik uwzględniający zarówno przesunięcie średniej procesu μ względem wartości nominalnej jak i odległość wartości średniej od zadanych granic kontrolnych. Wskaźnik uwzględniający najwięcej czynników wpływających, zarówno na rozrzut jaki i odniesienie do wartości nominalnej procesu [83]. Trudny do interpretacji oraz rzadko wykorzystywany w praktyce [83].

$$c_{pmk} = \min\left(\frac{\mu - DGT}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}; \frac{GGT - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}\right), \quad (3.29)$$

gdzie: T - wartość nominalna.

Rodriguez [172] zaproponował odpornościowe wskaźniki zdolności jakościowej, wyznaczone w oparciu o medianę oraz bezwzględne odchylenie medianowe (ang. Median Absolute Deviation; MAD).

$$c_{pMAD} = \frac{GGT - DGT}{8,9MAD}, \quad (3.30)$$

gdzie: $MAD = b \cdot \text{median}|x_i - MD|$, $i = 1, 2, \dots, n$ - bezwzględne odchylenie medianowe, b - stała i wykorzystywana do tworzenia parametru będącego przedmiotem zainteresowania jako spójnego estymatora, MD - mediana próbkowa.

Pearn i Kotz [154] opracowali metodę dokładną wyznaczania wartości PCI . Metoda ta bazuje na percentylach rozkładu skośnego, dlatego też wymagana jest znajomość funkcji gęstości $f(x)$ poprzez dokładne określenie rozkładu skośnego analizowanego parametru. Metodę percentyli rozkładu skośnego wykorzystuje się w sytuacji, gdy rozkład badanej charakterystyki/cechy nie jest normalny. Metoda nie zapewnia dokładnych wyników dla rozkładów mocno skośnych [107].

$$c_p = \frac{GGT - DGT}{x_{0,99865} - x_{0,00135}}, \quad (3.31)$$

$$c_{pk} = \min \left(\frac{x_{0,5} - DGT}{x_{0,5} - x_{0,00135}}; \frac{GGT - x_{0,5}}{x_{0,99865} - x_{0,5}} \right), \quad (3.32)$$

gdzie: $x_{0,00135}$, $x_{0,5}$, $x_{0,99865}$ - percentyle oszacowane przy wykorzystaniu funkcji gęstości $f(x)$ rozkładu skośnego (np. gamma, Weibulla, Burra).

Z kolei Chang, Choi i Bai [41] opisali metodę ważonego odchylenia standardowego (ang. Weighted Standard Deviation; WSD method), która dedykowana jest dla populacji arbitralnie skośnych.

$$c_p^{WSD} = \min \left(\frac{GGT - DGT}{6 \cdot 2\sigma_D^W}; \frac{GGT - DGT}{6 \cdot 2\sigma_G^W} \right), \quad (3.33)$$

$$c_{pk}^{WSD} = \min (c_{pkl}^{WSD}; c_{pku}^{WSD}) = \min \left(\frac{\bar{x} - DGT}{3 \cdot 2\sigma_D^W}; \frac{GGT - \bar{x}}{3 \cdot 2\sigma_G^W} \right), \quad (3.34)$$

gdzie: σ_D^W , σ_G^W - odchylenie standardowe uwzględniające skośność rozkładu.

Lupo [128] zaproponował dynamiczny wskaźnik zdolności jakościowej (Nino capability index). Bazuje on na realnym poziomie wadliwych elementów procesu wytwórczego i uwzględnia wszystkie aspekty zmienności procesu, a nie tylko stan statystycznej stabilności procesu. Indeks może być użyteczny do przeprowadzania bardziej kompletnej i dokładnej analizy procesu, ponieważ uwzględnia nie tylko chwilową zmienność i poziom wycentrowania procesu, ale również aspekty związane z dynamicznymi cechami procesu w kategoriach wskaźnika wadliwości i oczekiwanej średniej wielkości zmiany, a także skuteczności przyjętego schematu kart kontrolnych [128].

$$c_{pd} = \frac{\text{invnorm} \left(1 - \frac{p_Q}{2} \right)}{3}, \quad (3.35)$$

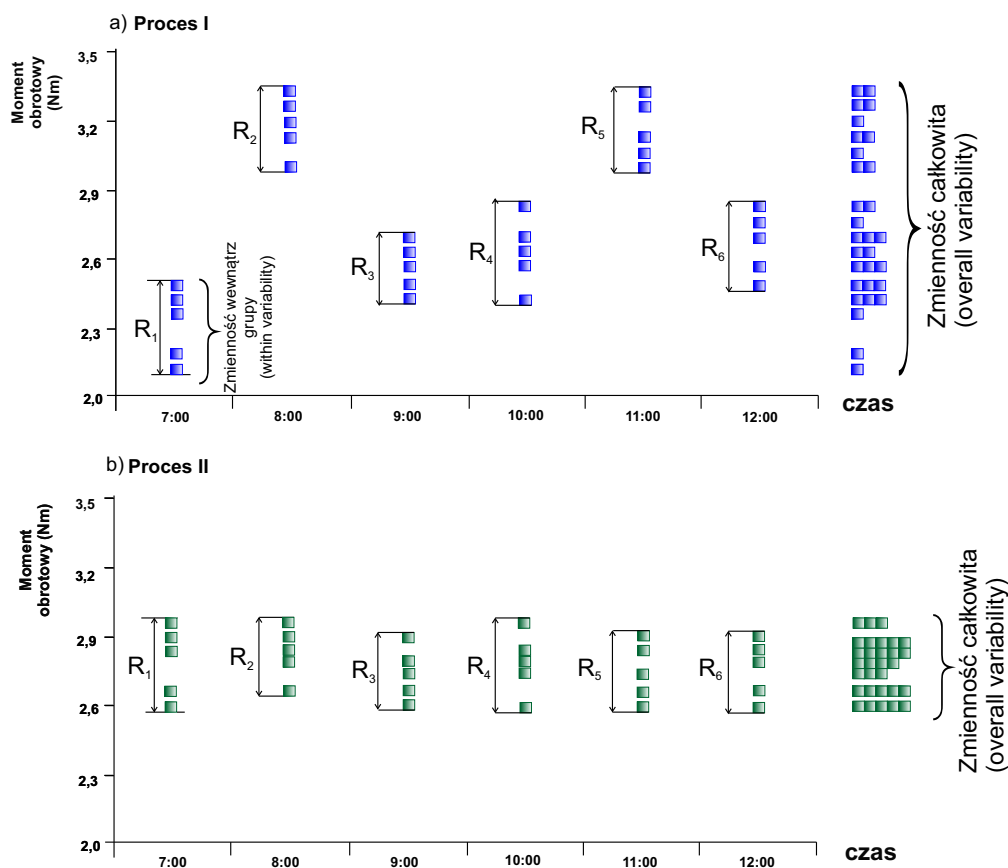
gdzie: invnorm - odwrotność skumulowanej funkcji gęstości standaryzowanego rozkładu normalnego, p_Q - realny poziom wadliwych elementów procesu wytwórczego.

Besseris [22] zaproponował wskaźnik zdolności jakościowy bez założenia o rozkładzie (typu „distribution-free”), wyznaczony w oparciu o medianę i rozstęp międzykwartyłowy. Badania symulacyjne wskazują, że wskaźnik ten jest lepszy od klasycznych PCI [107].

$$c_{piw} = \frac{GGT - DGT}{2 \cdot IQR}, \quad (3.36)$$

gdzie: IQR - rozstęp międzykwartyłowy.

Czarski [54] zwraca uwagę na podejście krótko- (w literaturze określanej również jako ang. within variability PCI) i długoterminowej (w literaturze określanej również jako ang. overall variability PCI) analizy zdolności jakościowej procesu, które umożliwia analizę zmienności procesu, biorąc pod uwagę źródła, mogące być jej przyczyną. Według autora na całkowitą zmienność składa się zmienność niezależna od czasu (możliwa do identyfikacji w kolejnych racjonalnych podgrupach wziętych z procesu) oraz zmienność zależna od czasu (identyfikowalna z próbki do próbki) [54]. Czarski [54] definiuje długoterminowe wskaźniki zdolności jakościowej P_p, P_{pk} jako odniesienie oczekiwań klienta, wyrażonych przy pomocy granic specyfikacji, do całkowitej zmienności procesu, a krótkoterminowe wskaźniki zdolności jakościowej c_p, c_{pk} do zmienności procesu niezależnej od czasu (rys. 3.44).



Rys. 3.44. Idea analizy PCI długo- i krótkoterminowej (opracowanie własne)

Na rys. 3.44 a) można zauważyć, że produkowane jedna po drugiej sztuki wyrobu niewiele różnią się między sobą (rozstępy wewnątrz grupy - within variability), ale w dłuższej perspektywie czasowej w procesie występują znaczące przesunięcia (rozstępu pomiędzy grupami - ang. between variability). Początkowo zmienność między podgrupami (between variability) jest znacznie większa niż zmienność w obrębie podgrup (ang. within). Zjawisko to określa się jako „pływanie procesu” [194]. Następnie (rys. 3.44 b)) zmienność między podgrupami (between variability) jest bardzo mała w stosunku do zmienności w obrębie podgrup (within variability). Zatem zmienność całkowita będzie w przybliżeniu równa zmienności

wewnątrz podgrup, co oznacza, że proces jest stabilny z punktu widzenia położenia.

Przy założeniu, że średni rozstęp w podgrupach \bar{R} jest taki sam dla procesu z rys.3.44 a) oraz rys. 3.44 b) oszacowane wartości odchylenia standardowego (por. zależność 3.37), zarówno dla procesu I jaki i procesu II, będą identyczne. W tej sytuacji dla obu procesów wskaźniki zdolności jakościowej przyjmą tę samą wartość (por. zależność 3.39, 3.40), pomimo faktu, że procesy te są zupełnie różne. Przytoczony przykład wyraźnie pokazuje, że współczynniki zdolności c_p i c_{pk} rozpatrywane w oderwaniu od p_p i p_{pk} mogą powodować mylną ocenę procesu, zwłaszcza jeżeli zachowuje się on tak, jak ten z rys. 3.44 a). W takiej sytuacji może się zdarzyć, że c_p i c_{pk} będą na wystarczającym poziomie, podczas gdy rzeczywista wydajność procesu (a więc p_p i p_{pk}) będzie niezadowalająca [194].

Według Stokłosy [194], aby poznać rzeczywistą zdolność procesu, konieczne jest wyznaczenie z tych samych danych jednocześnie współczynników c_p, c_{pk} oraz p_p, p_{pk} . Z kolei Wooluru wraz z zespołem [220] sugerują, że ocena potencjału procesu, który jest możliwy do osiągnięcia przy założeniu, że proces zostanie ustabilizowany pod względem położenia (czyli zostanie zredukowana zmienność typu wewnątrz m -elementowych próbek - ang. within variability) możliwa jest poprzez ocenę c_p oraz c_{pk} .

Według Czarskiego [54] w przypadku analizy zmienności niezależnej od czasu należy pobrać n - elementowe próbki z procesu. Wówczas mierniki zmienności wykorzystywane do wyznaczania wskaźników zdolności jakościowej wyznaczane są według zależności:

$$\begin{aligned} \hat{\sigma} &= \sqrt{s^2} \\ \text{lub } \hat{\sigma} &= \frac{\bar{R}}{d_2} \\ \text{lub } \hat{\sigma} &= \frac{\bar{s}}{c_4}, \end{aligned} \quad (3.37)$$

Według autora analiza zmienności całkowitej powinna bazować na podstawie wszystkich (m) n - elementowych próbkach, a miernik zmienności wyrażony jest następującą zależnością [54]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3.38)$$

gdzie: σ - odchylenie standardowe, \bar{x} - średnia próbkowa, m - liczba pomiarów.

Hamrol [87] definiuje następujące zależności funkcyjne odpowiednio dla krótko- i długoterminowych wskaźników zdolności jakościowej:

$$c_p = \frac{DGT - GGT}{6\hat{\sigma}}, \quad (3.39)$$

$$c_{pk} = \min \left(\frac{\bar{x} - DGT}{3\hat{\sigma}}; \frac{GGT - \bar{x}}{3\hat{\sigma}} \right), \quad (3.40)$$

$$p_p = \frac{DGT - GGT}{6\sigma}, \quad (3.41)$$

$$p_{pk} = \min \left(\frac{\bar{x} - DGT}{3\sigma}; \frac{GGT - \bar{x}}{3\sigma} \right), \quad (3.42)$$

gdzie: \bar{x} - średnia ze średnich próbkowych.

Czarski [54] wskazuje następujące zależności dla krótko- i długoterminowych wskaźników zdolności jakościowej:

- Jeżeli $\hat{\sigma} = \sigma$, wówczas zmienność procesu jest wynikiem jedynie zmienności niezależnej w czasie, co w konsekwencji oznacza, że krótko- i długoterminowe wskaźniki zdolności jakościowej są sobie równe ($c_p = p_p$ oraz $c_{pk} = p_{pk}$).
- W przypadku procesu wycelowanego (tzn. średnia procesu pokrywa się z środkiem pola tolerancji), wówczas zachodzą następujące równości: $c_p = p_p$ oraz $c_{pk} = p_{pk}$.
- Jeżeli $\hat{\sigma} < \sigma$, to oznacza, że całkowita zmienność procesu jest większa od zmienności niezależnej w czasie, co w konsekwencji sugeruje wykrycie znaczącej różnicy badanego procesu (np. z uwagi na np. okresowe zmiany surowców czy też ustawienia procesu). Dla tej sytuacji zachodzi następująca relacja pomiędzy krótko- i długoterminowymi wskaźnikami zdolności jakościowej: $c_p < p_p$ oraz $c_{pk} < p_{pk}$.
- Zachodzi następująca zależność pomiędzy krótko- i długoterminowymi wskaźnikami zdolności jakościowej: $p_p c_{pk} = p_{pk} c_p$.

Zarówno Czarski [54], jaki i Wooluru, Swamy i Nagesh [220] utożsamiają podejście krótko- i długoterminowej analizy zdolności jakościowej procesu do jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA, jednakże muszą zostać spełnione i zweryfikowane następujące założenia dotyczące analizowanej zależności:

- zgodność z rozkładem normalnym,
- niezależność,
- ta sama wariancja.

Hamrol [87] wskazuje, że dla procesu wycelowanego można w łatwy sposób na podstawie c_p lub c_{pk} (ale także p_p lub p_{pk}) wyliczyć frakcję jednostek niezgodnych z uwagi na badane *KPC*. Własność ta wynika bezpośrednio z definicji *PCI*, z której wynika, że w polu tolerancji znajduje się $6c_p$ (bądź odpowiednio: $6c_{pk}$, $6p_p$ lub $6p_{pk}$). Zatem granice tolerancji odcinają na osi standaryzowanej zmiennej losowej Z rozkładu normalnego wartości $z = \pm 3c_p$ (bądź odpowiednio: $z = \pm 3c_{pk}$, $z = \pm 3p_p$ lub $z = \pm 3p_{pk}$). W tab. 3.19 umieszczono wybrane wartości liczby jednostek wadliwych na milion (*ppm*; ang. parts per million opportunities) wyliczonych na podstawie c_{pk} dla tolerowania jedno- i dwustronnego według zależności odpowiednio:

$$ppm_{jedn} = (1 - \Phi(z)) \cdot 10^6 \quad (3.43)$$

$$ppm_{dwu} = (2 - 2\Phi(z)) \cdot 10^6 \quad (3.44)$$

Bukowski i Lichota [31] wskazują jednakże, że procesy produkcyjne mogą być niesymetryczne względem pola tolerancji. Powodem może być świadome bądź losowe ustawienie procesu. W takiej sytuacji należy określić warunki w których proces pomimo niewycelowania spełnia założone kryteria. W tym celu można

wyznaczyć wartość ppm dla procesów niewycentrowanych z następujących zależności:

$$Z_1 = 3 \cdot (c_{pk} - 2c_p), Z_2 = 3 \cdot c_{pk} \quad (3.45)$$

$$ppm = [\Phi(Z_1) + (1 - \Phi(Z_2))] \cdot 10^6 \quad (3.46)$$

gdzie: $\Phi(Z_i)$, $i = 1, 2$ - dystrybuanta standaryzowanego rozkładu normalnego w punkcie Z_i .

Tabela 3.19. ppm wyznaczone w oparciu o c_{pk} - przypadek tolerowania jedno- i dwustronnego (opracowanie własne)

Wartość wskaźnika c_{pk}	Tol. jednostronne	Tol. dwustronne
0,2	274 253	548 506
0,4	115 070	230 139
0,6	35 930	71 861
0,8	8 198	16 395
1,0	1 350	2 700
1,2	159	318
1,4	13	27
1,6	0,79	1,59
1,8	0,03	0,07
2,0	0,00098	0,001973

W tab. 3.20 wybrane wartości pp w zależności od różnicy $c_p - c_{pk}$ wyznaczone w oparciu o zależności 3.45 i 3.46.

Tabela 3.20. ppm wyznaczone w oparciu o różnicę $c_p - c_{pk}$ dla procesu niewycentrowanego (opracowanie własne)

c_p	$c_p - c_{pk}$				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1,0	8 357	35 944	115 070	274 253	50 000
1,33	352	2 636	14 262	55 917	161 087
1,67	5	69	664	4 527	22 216
2,00	0	1	13	159	1 350

3.8. Analiza systemu pomiarowego

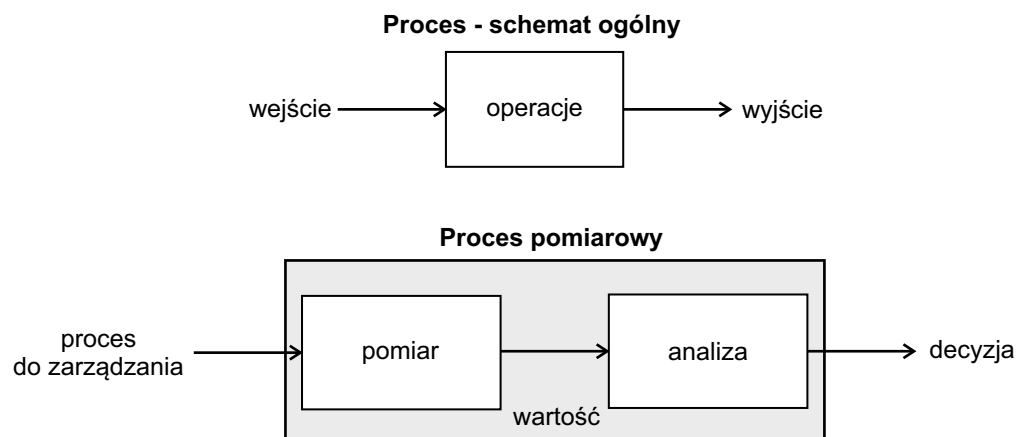
Knowles, Vickers i Antony [110] zwracają uwagę na fakt, że ocena każdego procesu związana jest ściśle z pomiarem kluczowych cech związanych z tym procesem. Według opinii autorów zebrane dane pomiarowe wykorzystywane są do wyciągania wniosków na temat wyrobów, ale również przebiegu procesów [110]. Z kolei informacje dostarczane przy wykorzystaniu danych pomiarowych są na tyle wiarygodne na ile wiarygodne są zebrane dane. Knowles, Vickers i Antony [110] sugerują następujący podział danych:

- **enumeratywne**, dla których pomiary wykorzystywane do charakterystyki wyrobów, które nie zostały zmierzone,

- **analityczne**, dla których pomiary są wykorzystywane do charakterystyki leżącego u podstaw procesu produkcyjnego,
- **opisowe**, w przypadku których pomiary są wykorzystywane do scharakteryzowania mierzonych wyrobów.

Można zatem stwierdzić, że w środowisku produkcyjnym wyróżnia się procesy pomiarowe, które mają duże znaczenie z punktu widzenia oceny jakościowej i podejmowanych działań korygujących/doskonających, zarówno procesów jak i wyrobów (rys. 3.45). W takim ujęciu według Grebera [81] system pomiarowy cechuje się:

- dokładnością, czyli odniesieniem rzeczywistych wartości danych pomiarowych do wartości nominalnej,
- zmiennością, czyli rozpiętością danych pomiarowych.



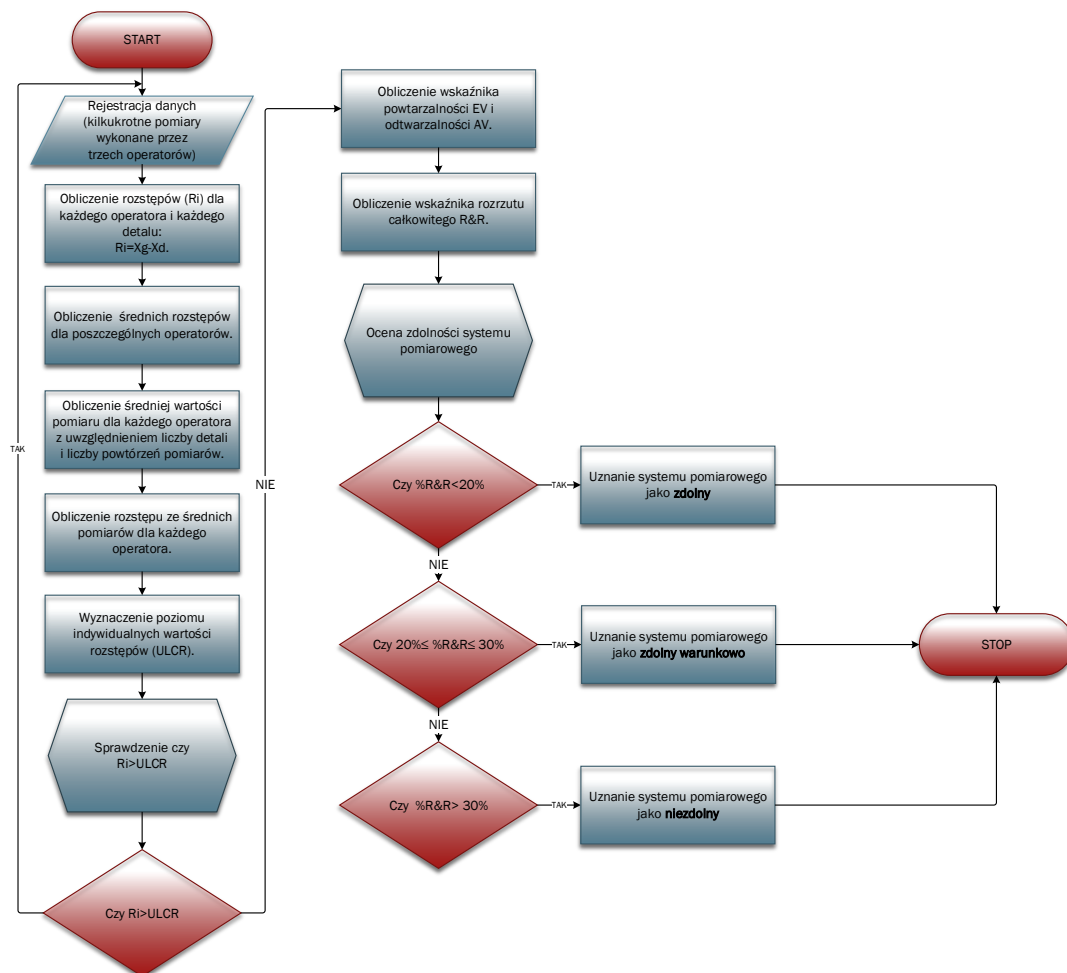
Rys. 3.45. Idea systemu pomiarowego w ujęciu procesowym [5]

Aby wiarygodność danych pomiarowych została potwierdzona, powinno dokonać się analizy zdolności systemów pomiarowych *MSA*. Według Sałacińskiego [180] analiza ta opiera się na trzech procedurach:

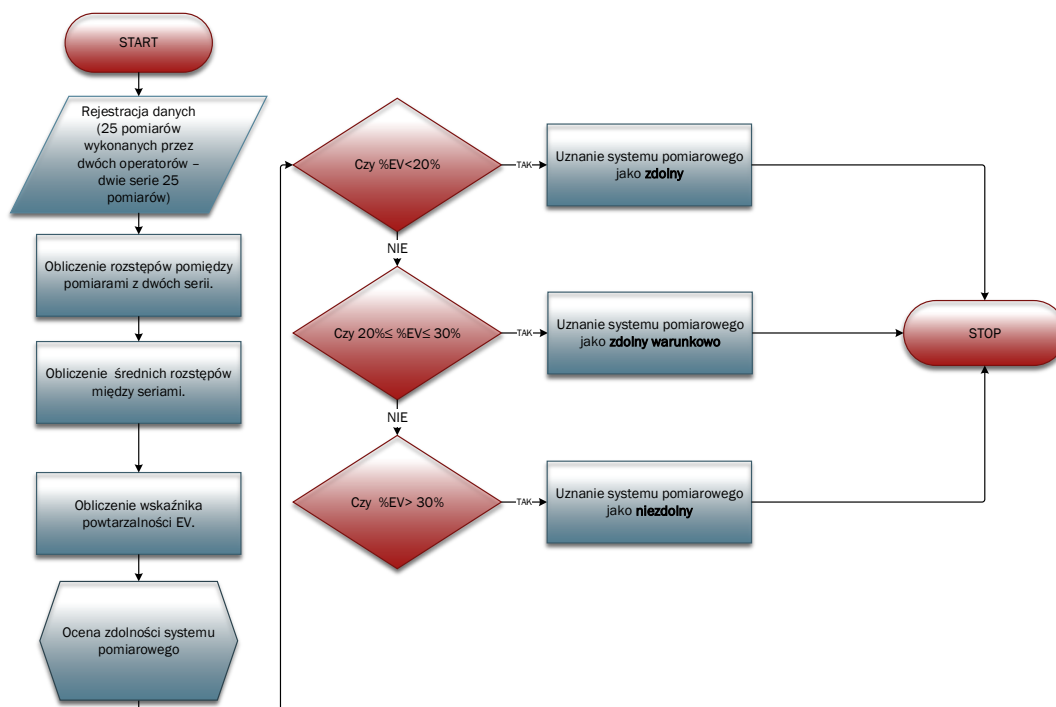
- **Procedura 1.** - niepewność pomiarów u_c oraz wskaźnikach zdolności jakościowej. Procedurę tą najczęściej wykorzystuje się w celu uzasadnienia klientowi przydatności urządzeń bądź całych systemów pomiarowych.
- **Procedura 2.** - powtarzalność, odtwarzalność i rozrzut całkowity (zwany metodą *R&R*) z uwzględnieniem wpływu operatora (rys. 3.46). Wykorzystywana w analizie systemów pomiarowych stosowanych w procesach produkcyjnych lub w kontroli jakości.
- **Procedura 3.** - powtarzalność i rozrzut całkowity z nieuwzględnieniem wpływu operatora (rys. 3.47). Wykorzystywana, tak jak procedura 2, w analizie systemów pomiarowych stosowanych w procesach produkcyjnych lub w kontroli jakości.

Z uwagi na charakter pracy, a także wykorzystanie analizy zdolności systemów produkcyjnych w metodzie będącej przedmiotem niniejszej rozprawy doktorskiej omówione zostaną procedury 2 i 3.

Według Antosz [14] w analizie z wykorzystaniem procedury 2 najczęściej uczestniczy trzech operatorów, którzy dokonują kilkukrotnie (2-3) po kilka niezależnych od siebie pomiarów. Antosz [14] sugeruje, że procedura 3 powinna być wykorzystywana doraźnie z uwagi na to, że nie gwarantuje ona pełnej niezależności (losowości) wyników pomiarowych. Według autorki w analizie bierze udział najczęściej dwóch operatorów, którzy wykonują pomiary niezależnie [14].



Rys. 3.46. Schemat blokowy analizy MSA z uwzględnieniem wpływu operatora (opracowanie własne na podstawie [14])



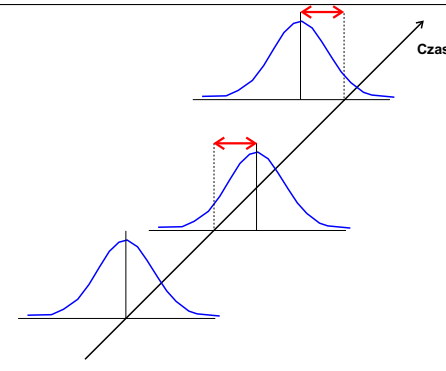
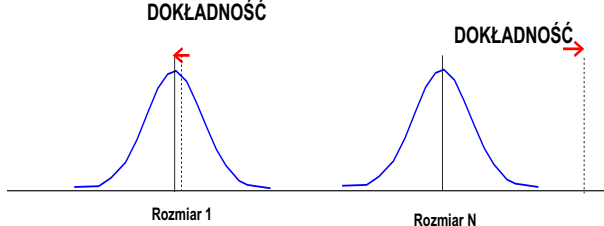
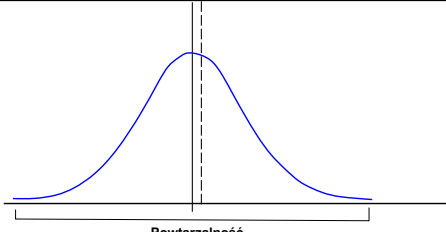
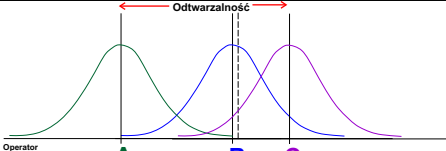
Rys. 3.47. Schemat blokowy analizy MSA bez uwzględnienia wpływu operatora (opracowanie własne na podstawie [179])

W tab. 3.21 zestawiono definicje i graficzną interpretację błędów systemu pomiarowego zdefiniowanych przez Automotive Industry Action Group (AIAG) [5].

Tabela 3.21. Definicje i graficzny schemat błędów systemu pomiarowego (opracowanie własne na podstawie [5])

Typ błędu	Schemat i opis błędu
1	2
Dokładność (ang. bias)	<p>Systematyczny składnik błędu systemu pomiarowego, stanowiący różnicę między obserwowaną średnią pomiarów, a wartością odniesienia.</p>

Kontynuacja na kolejnej stronie

1	2
<p>Stabilność (ang. stability)</p>	 <p>Określa zmianę dokładności w czasie.</p>
<p>Liniowość (ang. linearity)</p>	 <p>Systematyczny składnik błędu systemu pomiarowego. Zmiana dokładności w normalnym zakresie działania.</p>
<p>Powtarzalność (ang. repeatability)</p>	 <p>Wariancja wewnątrz systemu stanowiąca zmienność urządzenia użytego kilkakrotnie przez tego samego pracownika, podczas pomiaru określonej charakterystyki tego samego detalu (ang. Equipment Variation; <i>EV</i>). Zmienność ta w kolejnych (krótkotrwałych) próbach jest nieodwracalnie ustalona i definiuje warunki pomiaru.</p>
<p>Odtwarzalność (ang. reproducibility)</p>	 <p>Wariancja pomiędzy systemami stanowiąca zmienność operatorów (ang. Appraiser Variation; <i>AV</i>), będąca odniesieniem zmiany średniej z pomiarów wykonanych przez różnych operatorów przy użyciu tego samego przyrządu pomiarowego na tym samym detalu.</p>

W celu przeprowadzenia analizy *MSA* (rys. 3.46) należy wykorzystać następujące zależności [14]:

$$UCL_R = \bar{R} \cdot D_4, \quad (3.47)$$

gdzie: UCL_R - poziom indywidualnych wartości rozstępów, D_4 - stabilizowana stała zależna od liczby powtórzeń pomiarów r .

$$EV = K_1 \cdot \bar{R}, \quad (3.48)$$

gdzie: EV - wskaźnik powtarzalności, K_1 - stabilizowana stała zależna od liczby: powtórzeń pomiarów r i detali n .

$$AV = \sqrt{(R_{\bar{X}} \cdot K_2)^2 - \frac{EV^2}{n \cdot r}} \quad (3.49)$$

gdzie: AV - wskaźnik odtwarzalności, K_2 - stabilizowana stała zależna od liczby: operatorów N , pomiarów r i detali n .

$$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}, \quad (3.50)$$

gdzie: $R\&R$ - wskaźnik rozrzutu całkowitego (powtarzalność i odtwarzalność).

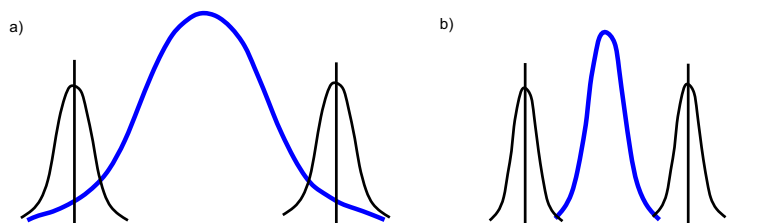
W analizie MSA wykorzystuje się również mierniki względnej (procentowej) powtarzalności $\%EV$, odtwarzalności $\%AV$ i rozrzutu całkowitego $\%R\&R$ w odniesieniu do zakresu pola tolerancji mierzonej wielkości, z wykorzystaniem zależności [180]:

$$\%EV = \left[\frac{EV^2}{R\&R \cdot T} \right] \cdot 100, \quad (3.51)$$

$$\%AV = \left[\frac{AV^2}{R\&R \cdot T} \right] \cdot 100, \quad (3.52)$$

$$\%R\&R = \%EV + \%AV. \quad (3.53)$$

Mottonen wraz z zespołem [143] twierdzi, że analiza systemu pomiarowego ma szczególne znaczenie w przypadku procesów o wysokiej zdolności jakościowej (rys. 3.48). Autorzy zwracają uwagę, że zmienność systemu pomiarowego powinna być znacznie mniejsza niż zmienność procesu i granic tolerancji.



Rys. 3.48. Zmienność procesu i niedokładność pomiarowa: a) tradycyjnego procesu, b) procesu o wysokiej zdolności jakościowej [143]

Szczegółowy opis poprawnego przebiegu analizy MSA można znaleźć w pracy Matuszak-Flejszman i Łuczak [133].

Prezentowany w tym rozdziale krytyczny przegląd literatury pokazuje, że w zakresie sterowania jakością opracowano wiele pojedynczych rozwiązań, które uwzględniają szereg możliwych sytuacji produkcyjnych. Widać również, że istnieją też rozbieżności tj. definiowanie pojęć w obszarze metod, koncepcji, technik i narzędzi zarządzania (w tym również sterowania) jakością czy określenia stanu statystycznej stabilności procesu - niektórzy autorzy sugerują, że rozkład normalny danych pomiarowych stanowi determinantę tego stanu, jednakże badania innych autorów wskazują, że nie zawsze jest to prawdą (w rzeczywistości dane procesu statystycznie stabilnego mogą mieć charakter rozkładu skośnego z uwagi na naturę jego przebiegu bądź w przypadku tolerowania jednostronnego). Komplikacja przebiegów produkcyjnych prowadzi również do utrudnień w ich opanowaniu. Nie

znaleziono w literaturze opracowania, które uwzględniałyby wieloasortymentowość procesów produkcyjnych, chociaż można by wskazać karty standaryzowane jako rozwiązanie tego problemu. Jednakże nie znaleziono pracy w której analizowano by wpływ standaryzacji na właściwości kart kontrolnych.

Dodatkowo doświadczenia autorki, wynikające ze współpracy z przedsiębiorstwami produkcyjnymi, wskazują że eliminacja niektórych, niewielkich i w ograniczonym zakresie, błędów może być z ekonomicznego punktu widzenia bądź innej przyczyny (np. konieczność poboru komponentów od dostawcy z oddziału zagranicznego, które nie cechują się jednorodnością) nieopłacalna do wyeliminowania. W konsekwencji pojawia się problem w obszarze monitorowania procesu - w jaki sposób rozróżnić sygnały na karcie wynikające z tego typu błędów od tych powodowanych poważnymi błędami w procesie.

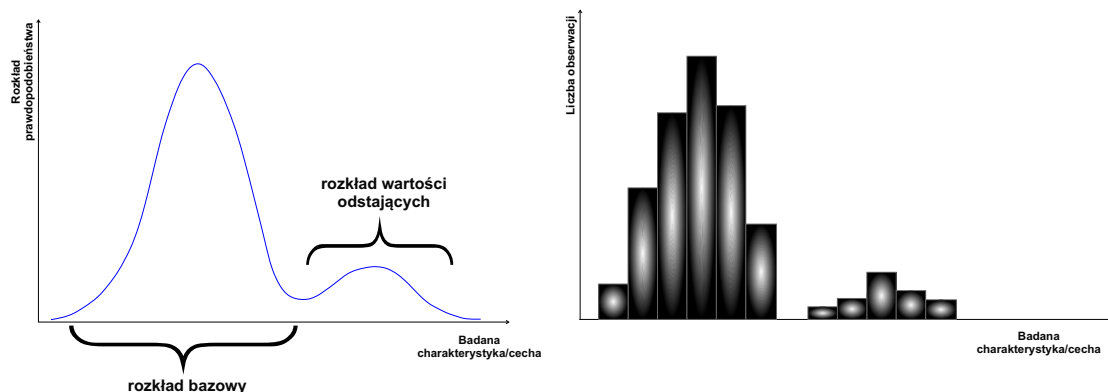
W związku z powyższym autorka zdecydowała się na podjęcie pracy badawczej w omawianej problematyce.

4. Propozycja modyfikacji kart kontrolnych i badania symulacyjne odpornościowych i klasycznych estymatorów oraz kart kontrolnych

4.1. Syntetyczna charakterystyka M -estymatorów

Kosiorowski [115] zwraca uwagę na fakt, że wszelkie procedury statystyczne bazują na pewnych warunkach formalnych dotyczących mechanizmu losowego, który generuje dane. Tak jak wspomniano w rozdz. 3.3.1 w przypadku analizy statystycznej z wykorzystaniem klasycznych kart kontrolnych zakłada się, że pobierane dane KPC mają charakter rozkładu normalnego, a elementy próby pobierane są niezależnie, w sposób losowy. Niemniej jednak przeprowadzony krytyczny przegląd literatury w rozdz. 3 wyraźnie wskazuje, że w praktyce założenia te bardzo często mogą zostać niespełnione, co w konsekwencji może prowadzić do niewłaściwej oceny badanego przebiegu procesu. Kosiorowski [115] podaje przykład próby, w której kilka elementów w znaczący sposób odstaje od dominującej części danych, które z założenia mogą przyjmować charakter rozkładu normalnego, a które powodują odstępstwo całej próby od rozkładu normalnego (wykazanego np. z wykorzystaniem testu statystycznego czy oceny wizualnej na podstawie histogramu). Saghir i Faraz [178] podkreślają fakt, że w przypadku, gdy rozkład procesu odbiega od założenia o normalności lub wartości odstające i/lub występuje zanieczyszczenie danych, klasyczne karty kontrolne tracą swoją efektywność. Autorzy sygnalizują, że wyjściem z tej sytuacji może być wykorzystanie odpornościowej karty kontrolnej (ang. robust control chart) [178].

Według Maronna i zespołu [131] analiza odpornościowa umożliwia budowę metod statystycznych i estymatorów, dzięki którym można uzyskać wiarygodne oszacowania parametrów i które są mniej wrażliwe na odstające próbki. Główna idea statystyk odpornościowych wynika właśnie z faktu, że rozkład bazowy nie zawsze może być poprawnie określony, z uwagi na istnienie wartości odstających czy innych typów zanieczyszczenia (rys. 4.1). Formalnie, wykorzystanie statystyki odpornościowej, polega na analizie procedury statystycznej w pewnym otoczeniu, które dopuszcza odstępstwa od przyjmowanych założeń i które konstruowane są przy wykorzystaniu odpowiednich odległości pomiędzy rozkładami [115]. Pojęcie odporności rozumiane jest jako niewielki skutek na wyniki działania procedury poprzez wpływ niewielkiej zmiany danych (małe zmiany wartości obserwacji bądź duże zmiany wartości niewielkiej frakcji danych) [115].



Rys. 4.1. Wpływ wartości odstających na rozkład bazowy (opracowanie własne)

Jeng [96] dowodzi, że średnia próbkowa może zostać znacząco zmieniona przez wartości odstające (ang. outliers). Dodatkowo wykazał on, że skośność rozkładu może zaostrzyć ten problem z uwagi na to, że wartości odstające mogą znajdować się daleko w prawym ogonie [96]. Z kolei w przypadku małych próbek potencjalny wpływ wartości odstających na średnią próbkową okazuje się bardziej znaczący niż w przypadku dużych próbek, ponieważ waga każdej obserwacji jest większa [96]. W związku z powyższym autorka sugeruje wykorzystanie zmodyfikowanych kart kontrolnych położenia i zmienności z jednoczesnym zastosowaniem M -estymacji $\bar{X}_R - R_R$ i $\bar{X}_{RSC} - R_{RSC}$, będących odpowiednikami odpowiednio kart: $\bar{X} - R$ i $\bar{X}_{SC} - R_{SC}$.

Autorka zdecydowała się na wykorzystanie M -estymatorów z uwagi na fakt, że względu na swoje właściwości, m.in. wysoki punkt załamania (ang. breakdown value), własności funkcji wpływu (ang. influence function), estymatory te są bardzo wydajne i w przeciwieństwie do innych technik odrzucania wartości odstających nie powodują efektu maskowania. Ich efektywność wynika przede wszystkim z tego, że całkowicie odrzucają nierzeczywiste wartości odstające i nie ignorują umiarkowanie dużych wartości odstających (takich jak mediana) [217].

M -estymatory stanowią szeroką klasę estymatorów największej wiarygodności (ang. maximum-likelihood estimator; MLE), dla których funkcją celu stanowi średnia próbkowa [217]:

$$\sum_{i=1}^n \rho(x_i) \rightarrow \min, \quad (4.1)$$

gdzie: ρ - pewna funkcja o określonych własnościach.

Poszukiwanie M -estymatora sprowadza się więc do rozwiązania równania [131]:

$$\hat{\theta} = \arg \min_{\theta} \left(\sum_{i=1}^n \rho(X_i, \theta) \right). \quad (4.2)$$

W celu rozwiązania równania 4.2 możliwe jest wykorzystanie trzech różnych podejść: algorytmu Newton-Raphson, iteracji ponownego ważenia (ang. iterative reweighing) czy też iteracji pseudoobserwacji (ang. iterative pseudo-observations) [131]. Do konstrukcji proponowanych kart kontrolnych wykorzystano **iterację ponownego ważenia** z uwagi na prostotę, a także gwarancję uzyskania rozwiązania.

Bardziej ogólnie, M -estymatory można zdefiniować, jako zero funkcji szacującej, która z kolei określana jest przeważnie z wykorzystaniem pochodnej innej funkcji statystycznej (np. estymator maksymalnej wiarygodności jest punktem,

w którym pochodna funkcji wiarygodności w odniesieniu do parametru wynosi zero) [217]:

$$\sum_{i=1}^n \psi(x_i) = 0, \quad (4.3)$$

gdzie: $\psi(x_i) = \frac{d\rho(x)}{dx}$ pod warunkiem różniczkowalności ρ . Przegląd wybranych funkcji ρ i odpowiadającym mu ψ można znaleźć np. w pracy Wilcox [217]). Więcej na temat statystyk odpornościowych, ich własności i idei ich wykorzystania można znaleźć w pracy Maronna i zespołu [131] czy też Wilcox [217].

Autorka, niniejszej rozprawy, zdecydowała się jednakże na wykorzystanie szczególnych postaci funkcji ψ i ρ , które zostały zaproponowane przez Rousseeuw i Verboven [175] do estymacji miar położenia i zmienności, w przypadku bardzo małej próby. Autorzy wykazali, że proponowana przez nich postać funkcji (odpowiednio ψ i ρ), nie tylko gwarantują osiągnięcie pożądanych własności poszukiwanych estymatorów (tj. maksymalny punkt załamania na poziomie 0,5), ale również zapewnia uzyskanie poszukiwanego estymatora. Przy czym prezentowane M -estymatory zmienności są skuteczne dla $n \geq 3$ [175].

4.1.1. Algorytm wyznaczania M -estymatora położenia

Poszukiwanie M -estymatora położenia z wykorzystaniem metody iteracyjnej ponownego ważenia sprowadza się do rozwiązania zależności:

$$\sum_{i=1}^n \psi\left(\frac{X_i - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}_0}\right) = 0, \quad (4.4)$$

gdzie: $\psi = \psi_{\log}(x) = \frac{e^x - 1}{e^x + 1}$ - stale rosnąca i ciągła funkcja.

Aby wyznaczyć M -estymator położenia należy postępować zgodnie z poniższym algorytmem [131],[175],[184]:

1. Wyznaczenie początkowych estymatorów położenia i zmienności odpowiednio z zależności:

$$\hat{\mu}_0 = Me(X), \quad (4.5)$$

$$\hat{\sigma} = MADN(X) = \frac{Me(|x - Me(x)|)}{0,6745}. \quad (4.6)$$

2. Wyznaczenie wartości funkcji ważącej dla każdej $i = 1, 2, \dots, m$ -tej obserwacji i k -tej iteracji według zależności:

$$w_{k,i} = W\left(\frac{X_i - \hat{\mu}_k}{\hat{\sigma}}\right), \quad (4.7)$$

gdzie:

$$W(x) = \begin{cases} \frac{\psi(x)}{\psi'(x)} & , \text{ gdy } x \neq 0 \\ x & , \text{ gdy } x = 0 \end{cases}. \quad (4.8)$$

3. Wyznaczenie nowego estymatora położenia zgodnie z równaniem:

$$\hat{\mu}_{k+1} = \frac{\sum_{i=1}^n w_{k,i} X_i}{\sum_{i=1}^n w_{k,i}}. \quad (4.9)$$

4. Powtórzenie kroków 1-3 do momentu spełnienia nierówności:

$$|\hat{\mu}_{k+1} - \hat{\mu}_k| < \varepsilon \hat{\sigma}. \quad (4.10)$$

gdzie: ε - arbitralny parametr tolerancji.

4.1.2. Algorytm wyznaczania M -estymatora zmienności

Poszukiwanie M -estymatora zmienności z wykorzystaniem metody iteracyjnej ponownego ważenia sprowadza się do rozwiązania zależności:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_{skali} \left(\frac{X_i - \hat{\mu}_0}{\hat{\sigma}} \right) = 0,5, \quad (4.11)$$

gdzie: $\rho_{skali} = \rho_{log}(x) = \psi_{log}^2 \left(\frac{x}{0,3739} \right)$ - stale rosnąca i ciągła funkcja, $\rho(\infty) = 1$.

Aby wyznaczyć M -estymator zmienności należy postępować zgodnie z poniższym algorytmem [131],[175],[184]:

1. Wyznaczenie początkowych estymatorów położenia i zmienności odpowiednio z zależności:

$$\hat{\mu} = Me(X), \quad (4.12)$$

$$\hat{\sigma}_0 = MADN(X) = \frac{Me(|x - Me(x)|)}{0,6745}. \quad (4.13)$$

2. Wyznaczenie wartości funkcji ważącej dla każdej $i = 1, 2, \dots, m$ -tej obserwacji i k -tej iteracji według zależności:

$$w_{k,i} = W \left(\frac{x_i - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}_k} \right), \quad (4.14)$$

gdzie:

$$W(X) = \begin{cases} \frac{\rho(x)}{x^2} & , \text{gdy } x \neq 0 \\ \rho''(0) & , \text{gdy } x = 0 \end{cases}. \quad (4.15)$$

3. Wyznaczenie nowego estymatora zmienności zgodnie z równaniem:

$$\hat{\sigma}_{k+1} = \hat{\sigma}_k \sqrt{\frac{1}{\delta n} \sum_{i=1}^n w_{k,i} \left(\frac{x_i - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}_k} \right)^2} \quad (4.16)$$

4. Powtórzenie kroków 1-3 do momentu spełnienia nierówności:

$$|\hat{\sigma}_{k+1}/\hat{\sigma}_k - 1| < \varepsilon. \quad (4.17)$$

gdzie: ε - arbitralny parametr tolerancji.

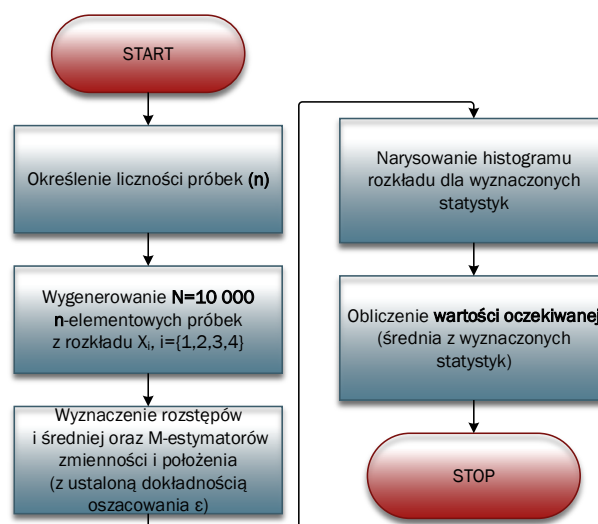
4.2. Badania symulacyjne

4.2.1. Przebieg badania symulacyjnego

Skuteczność proponowanych rozwiązań zweryfikowano na podstawie badań symulacyjnych przeprowadzonych za pomocą autorskiego oprogramowania napisanego w środowisku MATLAB. Badanie symulacyjne podzielono na następujące części i segmenty:

- **Część 1 - porównanie rozkładu średniej i rozstępu z odpornościami M -estymatorami.**

W części tej zweryfikowano zachowanie rozkładów M -estymatorów położenia i zmienności w odniesieniu odpowiednio do rozkładu średniej i rozstępu. Badanie symulacyjne miało na celu wykazanie trafności odpornościowych estymatorów, na podstawie oceny wartości oczekiwanej i histogramów, z uwagi na różne rozkłady teoretyczne. Schemat analizy przedstawiono na rysunku 4.2. Więcej szczegółów odnośnie przebiegu tej części badania symulacyjnego opisano w dalszej części pracy.



Rys. 4.2. Schemat blokowy dla pojedynczego eksperymentu - część 1 (opracowanie własne)

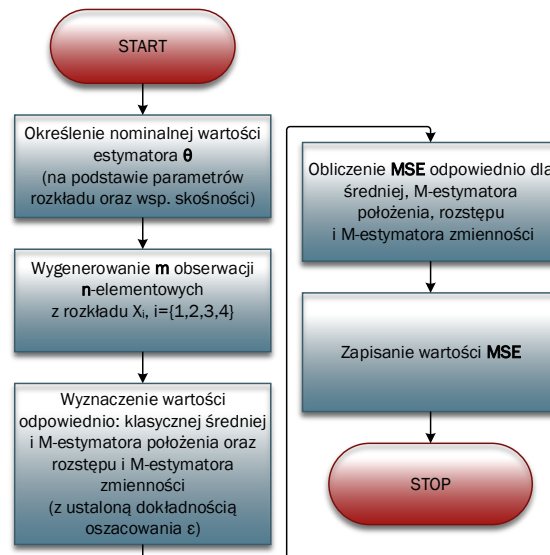
- **Część 2 - porównanie skuteczności klasycznych i odpornościowych estymatorów.**

W części tej przeprowadzono analizę zachowania się rozkładów klasycznych (średniej i rozstępu) i odpornościowych M -estymatorów, a następnie dokonano oceny ich skuteczności z wykorzystaniem błędu średniokwadratowego MSE (ang. Mean Squared Error). Z uwagi na ocenę skuteczności estymatorów część 1 podzielono na segmenty, stanowiące różne warianty generowania danych do analizy:

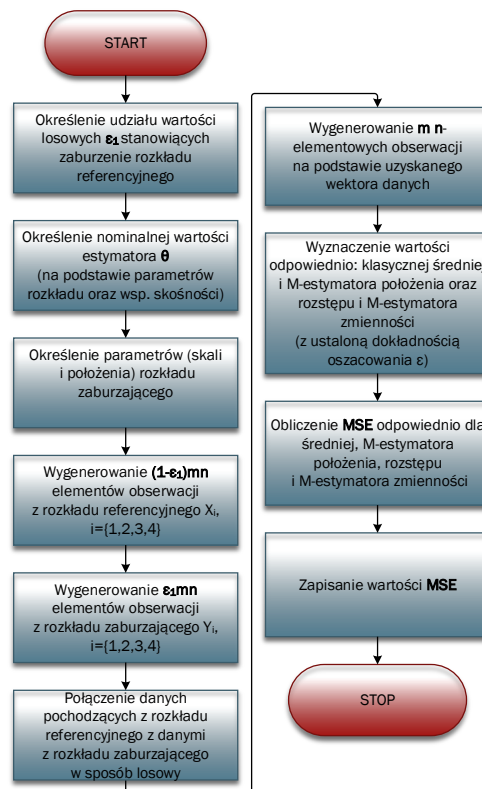
1. **Segment I** - generowane dane do analizy pozbawione są zaburzeń, dzięki czemu możliwa była ocena skuteczności oszacowania analizowanych parametrów rozkładu. W badaniu symulacyjnym wykorzystano rozkłady: normalny, gamma, Weibulla i log-normalny.

2. **Segment II** - generowane dane do analizy obarczone są zaburzeniami o udziale $l = \varepsilon_1 \cdot 100\%$ wartości losowych, wprowadzonych do rozkładu referencyjnego w losowych pozycjach. Podejście to umożliwia określenie skuteczności szacowania parametrów procesu, w przypadku, gdy badany rozkład jest rozkładem mieszanym, dla którego prawdopodobieństwo, że dane pochodzą z rozkładu referencyjnego wynosi $(1 - \varepsilon_1)100\%$, natomiast prawdopodobieństwo tego, że dane pochodzą z rozkładu zaburzającego $\varepsilon_1 \cdot 100\%$.
3. **Segment III** - analogicznie do segmentu II, z tą różnicą, że losowe wartości wprowadzone zostały jako ciąg początkowych obserwacji.
4. **Segment IV, segment V** - analogicznie do segmentów odpowiednio II i III, z tą różnicą, że rozkład zaburzający został zastąpiony konkretną wartością odstającą.

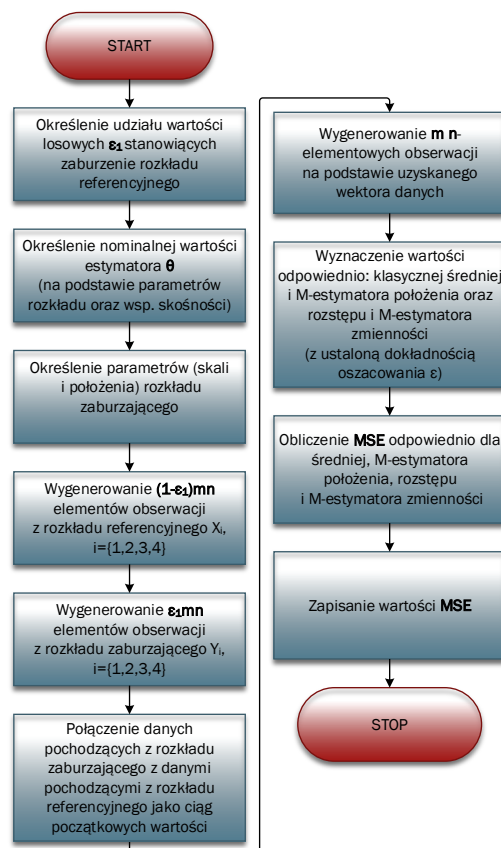
Bardziej szczegółowy opis przebiegu poszczególnych symulacji dla segmentów opisano w dalszej części pracy. Schematy pojedynczego eksperymentu dla poszczególnych segmentów przedstawiono na rys. 4.3 - 4.7 .



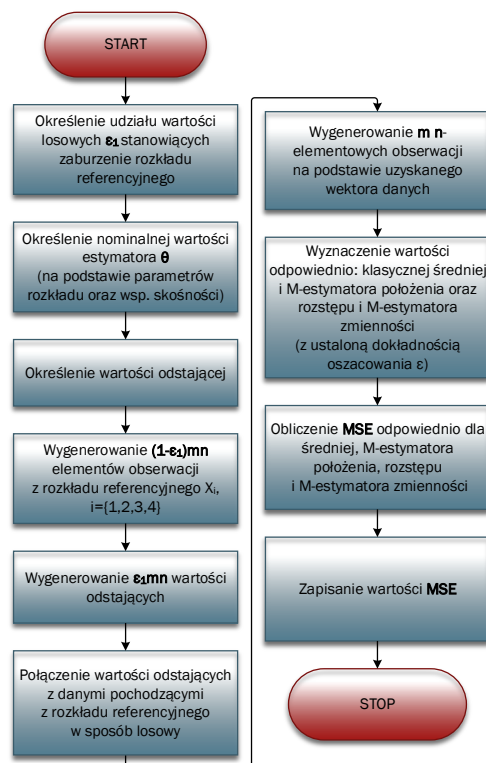
Rys. 4.3. Schemat blokowy dla pojedynczego eksperymentu eksperymentu - część 1 segment I (opracowanie własne)



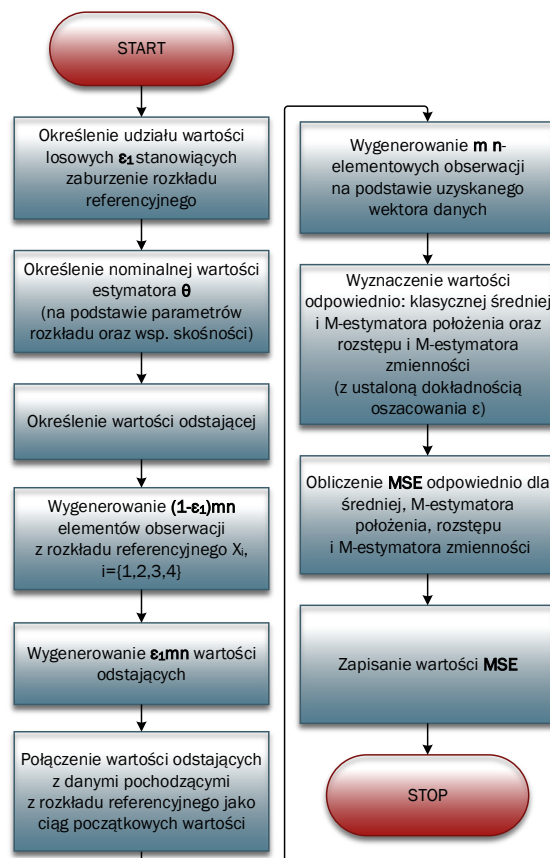
Rys. 4.4. Schemat blokowy dla pojedynczego eksperymentu - część 1 segment II (opracowanie własne)



Rys. 4.5. Schemat blokowy dla pojedynczego eksperymentu - część 1 segment III (opracowanie własne)



Rys. 4.6. Schemat blokowy dla pojedynczego eksperymentu - część 1 segment IV (opracowanie własne)



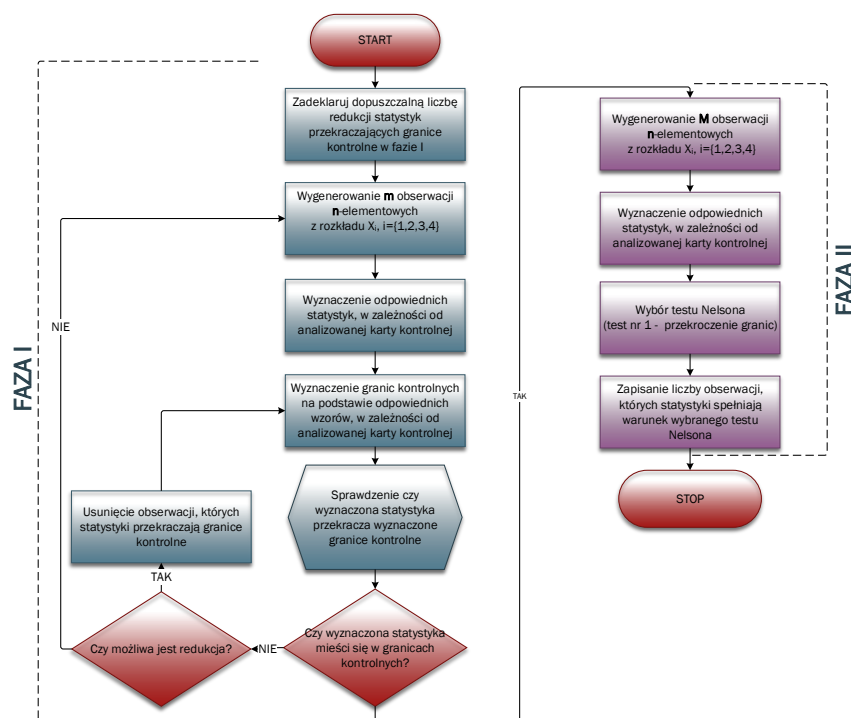
Rys. 4.7. Schemat blokowy dla pojedynczego eksperymentu - część 1 segment V (opracowanie własne)

• **Część 3 - porównanie klasycznych i odpornościowych kart kontrolnych.**

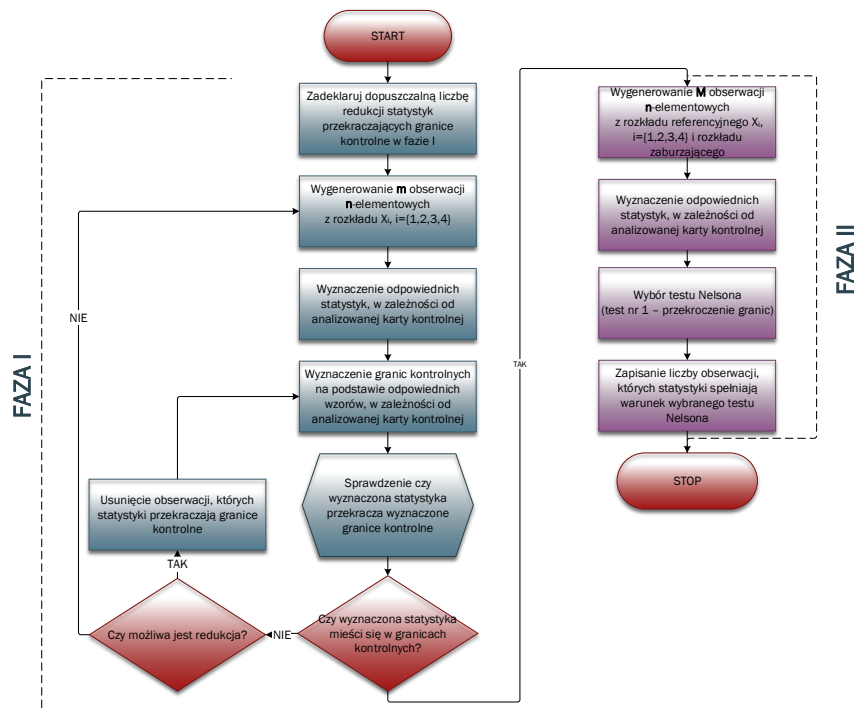
W tej części badania symulacyjnego przeprowadzono serię doświadczeń, mających na celu określenie skuteczności proponowanych kart kontrolnych, w odniesieniu do klasycznych (por. rozdz. 3.3.2 i 4.3). Skuteczność tę określono na podstawie prawdopodobieństwa wystąpienia fałszywego sygnału α i czasu pomiędzy pojawieniem się fałszywych sygnałów ARL_{0A} oraz prawdopodobieństwa wykrycia przez kartę kontrolną przesunięcia procesu β i czasu pomiędzy pojawieniem się sygnałów o deregulacji procesu ARL_1 .

1. **Segment I** - obejmujący określenie prawdopodobieństwa α i ARL_{0A} dla kart: klasycznych Shewharta, metody korekcji asymetrii oraz proponowanych odpornościowych kart kontrolnych. Segment I obejmuje sytuację, w której proces, opisany wybranym rozkładem referencyjnym, przebiega bez zaburzeń (tzn. jest kontrolowalny w fazie I i II).
2. **Segment II** - analogicznie do segmentu I, z tym, że określane jest prawdopodobieństwo β i ARL_1 . Segment II obejmuje sytuację, w której wybrany rozkład referencyjny jest zaburzony w fazie II. Odzworowuje to przypadek, w którym proces jest niekontrolowalny w tej fazie. Schemat zaburzenia rozkładu referencyjnego jest analogiczny do tych, z segmentów II-V z części 2 badania symulacyjnego.

Szczegółowy opis przebiegu poszczególnych symulacji dla poszczególnych segmentów opisano w dalszej części pracy, natomiast schematy przebiegu pojedynczego eksperymentu przedstawiono na rys. 4.8 - 4.9.



Rys. 4.8. Schemat blokowy dla pojedynczego eksperymentu - wyznaczenie α (opracowanie własne)



Rys. 4.9. Schemat blokowy dla pojedynczego eksperymentu - wyznaczenie β (opracowanie własne)

W badaniach symulacyjnych wykorzystano Metodę Monte Carlo, która obejmowała $N = 10\ 000$ powtórzeń eksperymentu, zarówno dla części 1, 2, jak i części 3.

Dla **części 2** badania symulacyjnego określono następujące założenia:

- $m \in \{50\}$ - liczba n -elementowych podgrup,
- $n \in \{3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ - licznosc podgrup,
- $\kappa_3 \in \{0, 0, 25; 0, 5; 0, 75; 1, 0; 1, 25; 1, 5; 1, 75; 2, 0\}$ - współczynnik skośności,
- udział zanieczyszczonych danych $\varepsilon_1 \in \{5\%, 10\%, 20\%\}$.

Natomiast dla **części 3** badania symulacyjnego określono następujące założenia:

- $m \in \{15, 20, 25, 30\}$ - liczba obserwacji w fazie I (wdrażanie karty kontrolnej),
- $n \in \{3, 4, 5\}$ - licznosc obserwacji,
- $M \in \{200\}$ - liczba obserwacji w fazie II (monitorowanie procesu),
- $\kappa_3 \in \{0, 0, 25; 0, 5; 0, 75; 1, 0; 1, 25; 1, 5; 1, 75; 2, 0\}$ - współczynnik skośności,
- $k \in \{50\}$ - maksymalna możliwa liczba obserwacji, które zostaną pobrane z procesu produkcyjnego,
- dopuszczalny udział błędów operatora $\varepsilon \in \{10\%, 20\%\}$.

W symulacjach wykorzystano rozkłady:

1. normalny $N(1, 1)$,

2. gamma $Gamm(p_k, p_s = 1)$,
3. Weibulla $Weib(p_s = 1, p_k)$,
4. log-normalny $LogNorm(1, \sigma)$,

ponieważ reprezentują one szeroką gamę rozkładów teoretycznych o różnych kształtach - od symetrycznego do silnie skośnego. Parametry kształtu dla rozkładów gamma i Weibulla oraz σ dla rozkładu log-normalnego zostały wyznaczone w oparciu o współczynnik skośności (por. tab. 4.3, 4.5, 4.7). Poniżej scharakteryzowano, w sposób syntetyczny, wykorzystywane w symulacjach rozkłady teoretyczne.

Rozkład normalny

Funkcja gęstości prawdopodobieństwa rozkładu normalnego (zwanego również rozkładem Gaussa) jest zdefiniowana jako [17]:

$$f(x|\sigma, \mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4.18)$$

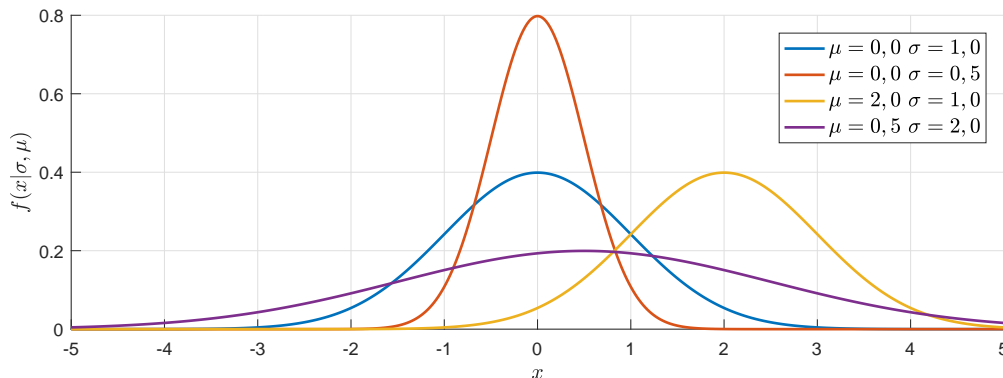
gdzie: $\mu \in \mathbb{R}$ - parametr przesunięcia, $\sigma > 0$ - parametr skali, $x > 0$.

W tab.4.1 zestawiono wybrane opisy rozkładu normalnego, które zostały wykorzystane do generowania niezależnych zmiennych losowych o jednakowym rozkładzie w symulacji Monte Carlo.

Tabela 4.1. Wybrane opisy rozkładu normalnego [17]

Parametr	Ogólna zależność	Zależność dla rozkładu normalnego
Wart. oczekiwana	$E(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x)dx$	$E(X) = \mu \quad (4.19)$
Wariancja	$V(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} [x - E(X)]^2 f(x)dx$	$V(X) = \sigma^2 \quad (4.20)$
Wsp. skośności	$\kappa_3 = \int_{-\infty}^{+\infty} [x - E(X)]^3 f(x)dx$	$\kappa_3 = 0 \quad (4.21)$

Na rys. 4.10 przedstawiono wybrane wykresy funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu normalnego.



Rys. 4.10. Wybrane wykresy funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu normalnego (opracowanie własne)

Rozkład gamma

Funkcja gęstości prawdopodobieństwa rozkładu gamma jest zdefiniowana jako [8]:

$$f(x|p_k, p_s) = \frac{x^{p_k-1}}{p_s^{p_k} \Gamma(p_k)} e^{-\frac{x}{p_s}}, \quad (4.22)$$

gdzie: $\Gamma(x) = \int_0^{+\infty} t^{x-1} e^{-t} dt$ - funkcja gamma, $x > 0$, $p_s, p_k > 0$.

W tab. 4.2 zestawiono wybrane opisy rozkładu gamma, które zostały wykorzystane do generowania niezależnych zmiennych losowych o jednakowym rozkładzie w symulacji Monte Carlo.

Tabela 4.2. Wybrane opisy rozkładu gamma [8], [95]

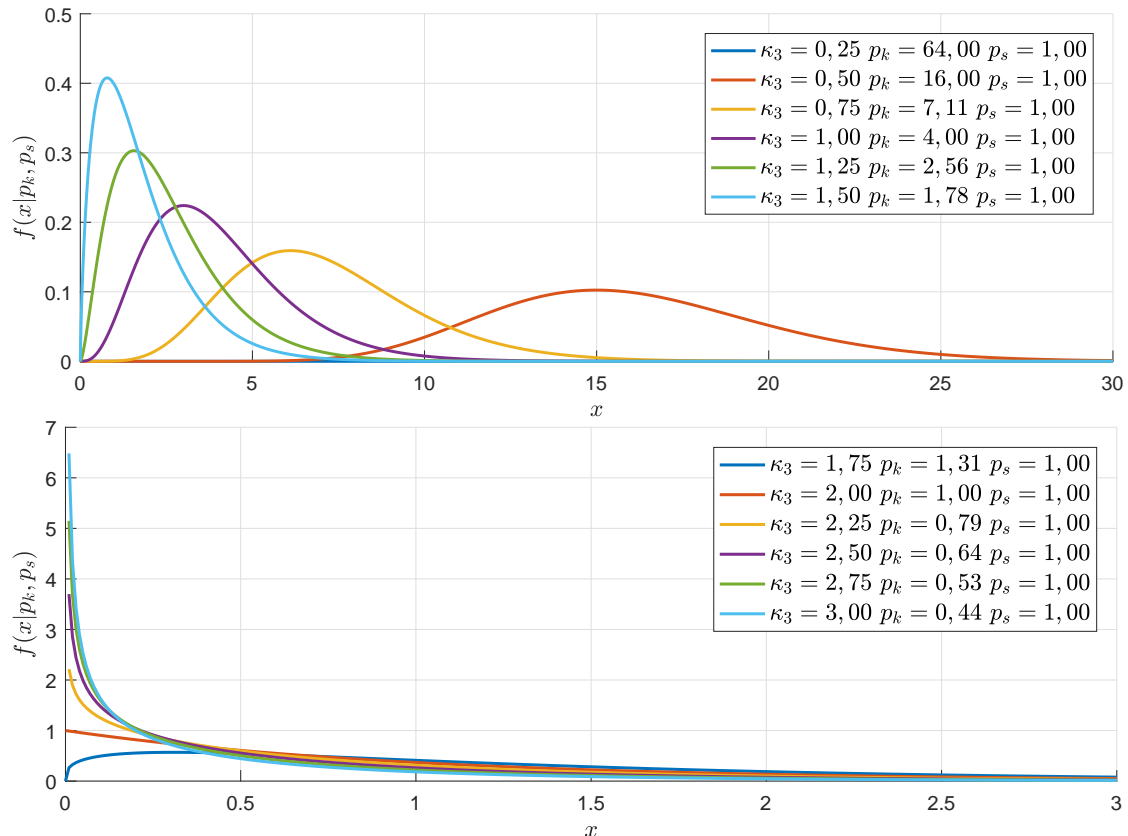
Parametr	Ogólna zależność	Zależność dla rozkładu gamma
Wart. oczekiwana	$E(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx$	$E(X) = p_s p_k \quad (4.23)$
Wariancja	$V(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} [x - E(X)]^2 f(x) dx$	$V(X) = p_s^2 p_k \quad (4.24)$
Wsp. skośności	$\kappa_3 = \int_{-\infty}^{+\infty} [x - E(X)]^3 f(x) dx$	$\kappa_3 = \frac{2}{\sqrt{p_k}} \quad (4.25)$

W tab. 4.3 zestawiono wartości parametru kształtu p_k w zależności od wartości współczynnika skośności κ_3 .

Tabela 4.3. Wartość parametru kształtu p_k w zależności od wsp. skośności κ_3 dla rozkładu gamma (opracowanie własne)

Współczynnik skośności κ_3	Parametr kształtu p_k
0,25	64,0
0,50	16,0
0,75	7,11
1,00	4,00
1,25	2,56
1,50	1,78
1,75	1,31
2,00	1,00
2,25	0,79
2,50	0,64
2,75	0,53
3,00	0,44

Na rys. 4.11 przedstawiono wykresy funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu gamma wykorzystywanych w badaniach symulacyjnych.



Rys. 4.11. Wykresy funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu gamma (opracowanie własne)

Rozkład Weibulla

Funkcja gęstości prawdopodobieństwa dwuparametrowego rozkładu Weibulla jest zdefiniowana jako [170]:

$$f(x|p_k, p_s) = \frac{p_k}{p_s} \left(\frac{x}{p_s} \right)^{p_k-1} e^{-\left(\frac{x}{p_s}\right)^{p_k}}, \quad (4.26)$$

gdzie: $p_s, p_k > 0$ $x \geq 0$.

W tab. 4.4 zestawiono wybrane opisy dwuparametrowego rozkładu Weibulla, które zostały wykorzystane do generowania niezależnych zmiennych losowych o jednakowym rozkładzie w symulacji Monte Carlo.

Tabela 4.4. Wybrane opisy rozkładu Weibulla [95], [170]

Parametr	Ogólna zależność	Zależność dla rozkładu Weibulla
Wart. oczekiwana	$E(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx$	$E(X) = p_s \Gamma_1$ (4.27)
Wariancja	$V(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} [x - E(X)]^2 f(x) dx$	$V(X) = p_s^2 (\Gamma_2 - \Gamma_1^2)$ (4.28)

Kontynuacja na kolejnej stronie

Tabela 4.4. Wybrane opisy rozkładu Weibulla [95], [170](kontynuacja)

Parametr	Ogólna zależność	Zależność dla rozkładu Weibulla
Wsp. skośności	$\kappa_3 = \int_{-\infty}^{+\infty} [x - E(X)]^3 f(x) dx$	$\kappa_3 = \frac{\Gamma_3 - 3\Gamma_2\Gamma_1 + 2\Gamma_1^3}{(\Gamma_2 - \Gamma_1^2)^{\frac{3}{2}}}$ (4.29)

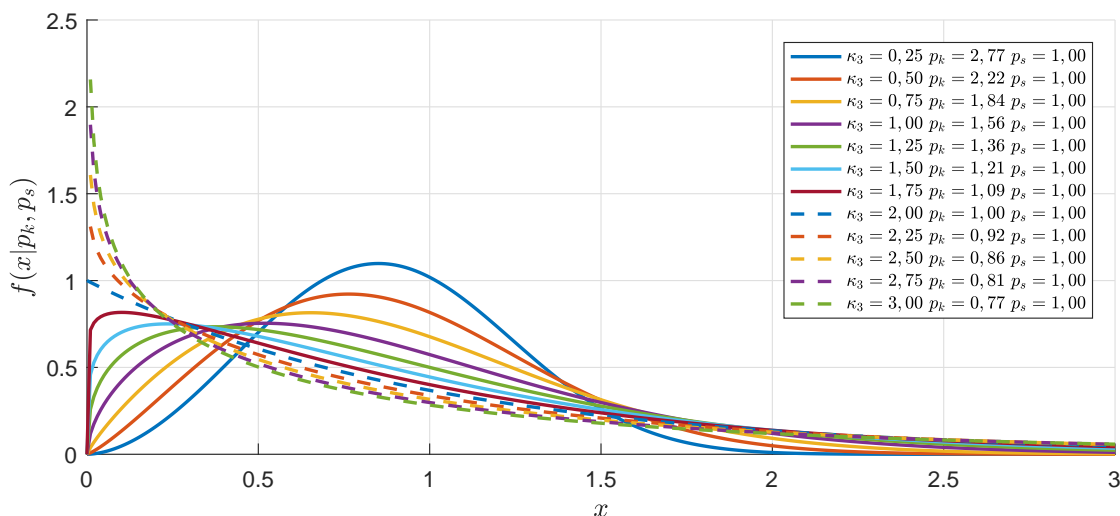
gdzie: $\Gamma(x) = \int_0^{+\infty} t^{x-1} e^{-t} dt$ - funkcja gamma, $\Gamma_i = \Gamma\left(1 + \frac{i}{p_k}\right)$.

W tab. 4.5 zestawiono wartości parametru kształtu p_k w zależności od wartości współczynnika skośności κ_3 .

Tabela 4.5. Wartość parametru kształtu p_k w zależności od wsp. skośności κ_3 dla rozkładu Weibulla (opracowanie własne)

Współczynnik skośności κ_3	Parametr kształtu p_k
0,25	2,77
0,50	2,22
0,75	1,84
1,00	1,56
1,25	1,36
1,50	1,21
1,75	1,09
2,00	1,00
2,25	0,92
2,50	0,86
2,75	0,81
3,00	0,77

Na rys. 4.12 przedstawiono wykresy funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu Weibulla wykorzystywanych w badaniach symulacyjnych.

**Rys. 4.12.** Wykresy funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu Weibulla (opracowanie własne)

Rozkład log-normalny

Funkcja gęstości prawdopodobieństwa rozkładu log-normalnego jest zdefiniowana jako [49]:

$$f(x|\sigma, \mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4.30)$$

gdzie: $0 \leq \mu < \infty$ - parametr przesunięcia, $\sigma > 0$ - parametr skali, $x > 0$.

W tab. 4.6 zestawiono wybrane opisy rozkładu log-normalnego, które zostały wykorzystane do generowania niezależnych zmiennych losowych o jednakowym rozkładzie w symulacji Monte Carlo.

Tabela 4.6. Wybrane opisy rozkładu log-normalnego [49]

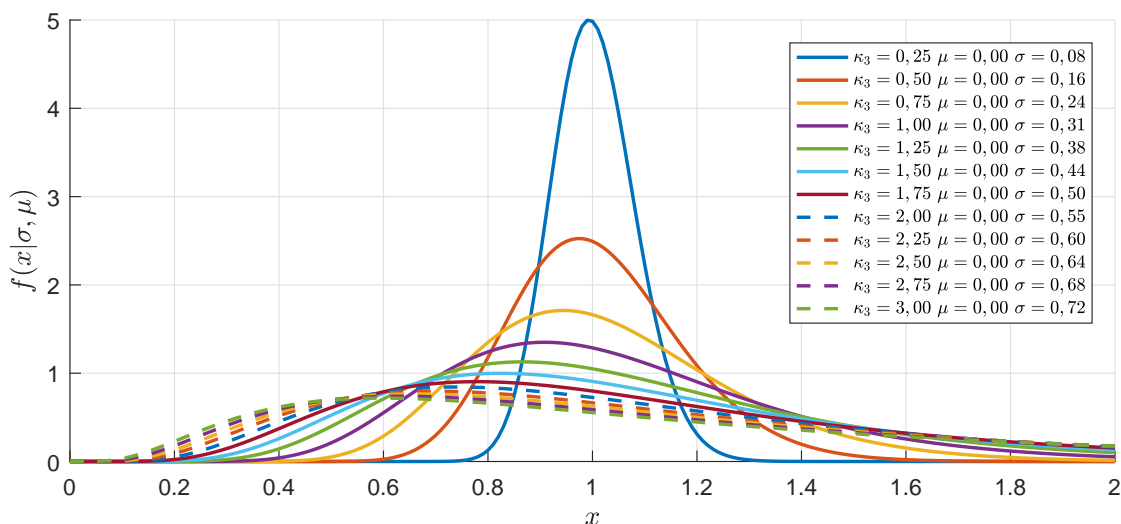
Parametr	Ogólna zależność	Zależność dla rozkładu log-normalnego
Wart. oczekiwana	$E(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx$	$E(X) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} \quad (4.31)$
Wariancja	$V(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} [x - E(X)]^2 f(x) dx$	$V(X) = (e^{\sigma^2} - 1) e^{2\mu + \sigma^2} \quad (4.32)$
Wsp. skośności	$\kappa_3 = \int_{-\infty}^{+\infty} [x - E(X)]^3 f(x) dx$	$\kappa_3 = (e^{\sigma^2} + 2) \sqrt{e^{\sigma^2} - 1} \quad (4.33)$

W tab. 4.7 zestawiono wartości parametry skali σ w zależności od wartości współczynnika skośności κ_3 .

Tabela 4.7. Wartość parametry skali σ w zależności od wsp. skośności κ_3 dla rozkładu log-normalnego (opracowanie własne)

Współczynnik skośności κ_3	Parametr kształtu p_k
0,25	0,08
0,50	0,16
0,75	0,24
1,00	0,31
1,25	0,38
1,50	0,44
1,75	0,50
2,00	0,55
2,25	0,60
2,50	0,64
2,75	0,68
3,00	0,72

Na rys. 4.13 przedstawiono wykresy funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu log-normalnego wykorzystywanych w badaniach symulacyjnych.



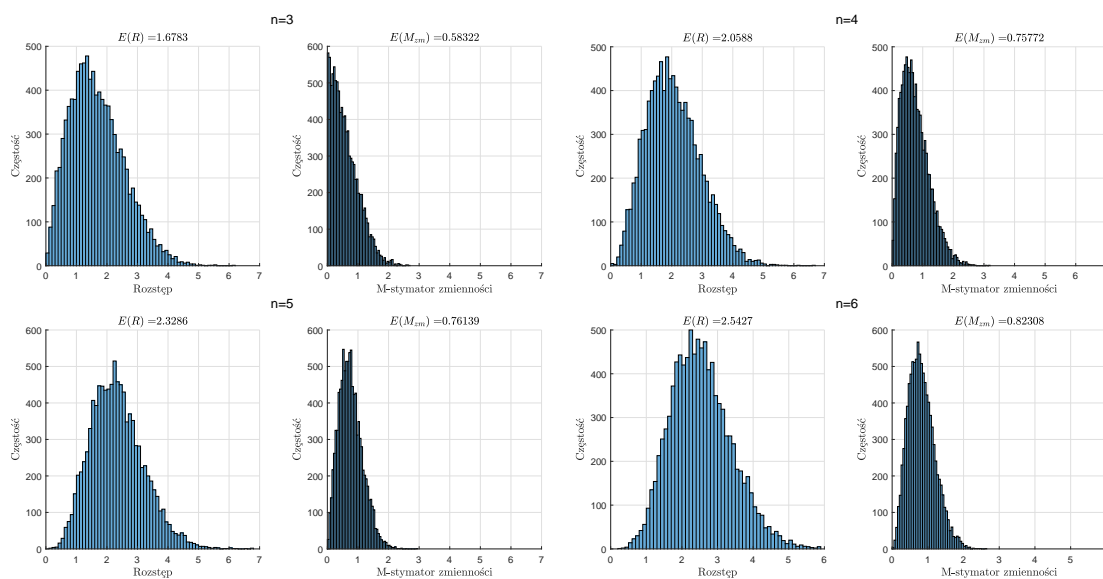
Rys. 4.13. Wykresy funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu log-normalnego (opracowanie własne)

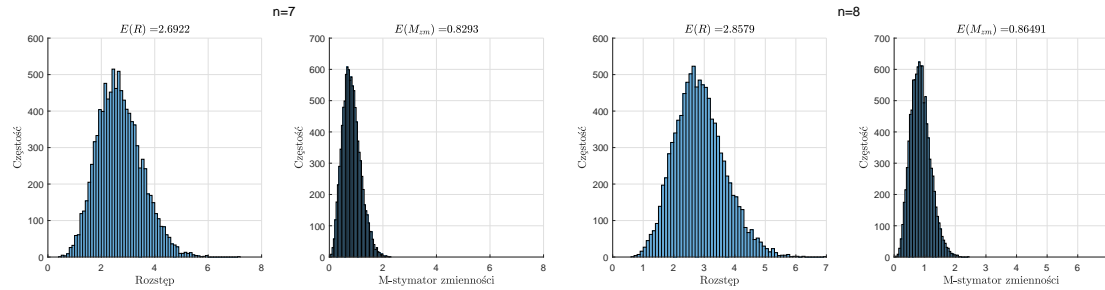
4.2.2. Porównanie klasycznych i odpornościowych estymatorów

Badanie zależności pomiędzy klasycznymi, a odpornościowymi statystykami

Niech $M_{po1}, M_{po2}, \dots, M_{pom}$ i $M_{zm1}, M_{zm2}, \dots, M_{zmm}$ stanowią odpowiednio odpornościowe miary położenia wyznaczone na podstawie algorytmu iteracyjnego opisanego w rozdz. 4.1.1 oraz odpornościowe miary zmienności, wyznaczone na podstawie algorytmu iteracyjnego opisanego w rozdz. 4.1.2.

W celu testowania hipotezy, że M -estymator ($\varepsilon = 0,00001$) zmienności przybliży wartość rozstępu, autorka opracowała odpowiednie histogramy dla $n = \{3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ elementowych obserwacji, które zostały wygenerowane $N = 10\,000$ razy z rozkładu rozkładu $N(1, 1)$ (rys. 4.15).





Rys. 4.15. Histogramy rozkładów rozstępu i M -estymatora zmienności (opracowanie własne)

Analizując histogramy z rys. 4.15 można zauważyć, że testowana hipoteza nie jest prawdziwa z uwagi na fakt, że wartości oczekiwane analizowanych wielkości wyraźnie różnią się między sobą (określona za pomocą błędu względnego) dla $n = \{3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ stanowi kolejno: 65%, 63%, 67%, 68%, 69% i 70%. Zatem, aby znaleźć odpornością miarę zmienności, istnieje konieczność uzależnienia rozstępu od M -estymatora, gdyż wielkości te mają odmienną interpretację.

Ponieważ, w ujęciu klasycznym, estymator odchylenia standardowego $\hat{\sigma}$ wyrażony jest zależnością:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}, \quad (4.34)$$

zatem, nieobciążonym estymatorem odpornościowym odchylenia standardowego, jest zależność:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{M}_{zm}}{d_2^M}, \quad (4.35)$$

gdzie: d_2^M - stała zależna od liczności próbki (n) wyznaczona na podstawie średnich M -estymatorów zmienności dla rozkładu normalnego (tab. 4.8).

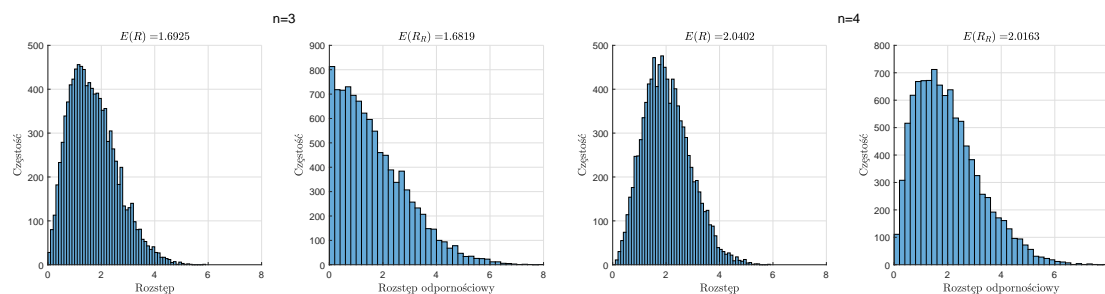
Biorąc pod uwagę zal. 4.34 i 4.35, średni rozstęp w odniesieniu do M -estymatora można wyrazić za pomocą równania:

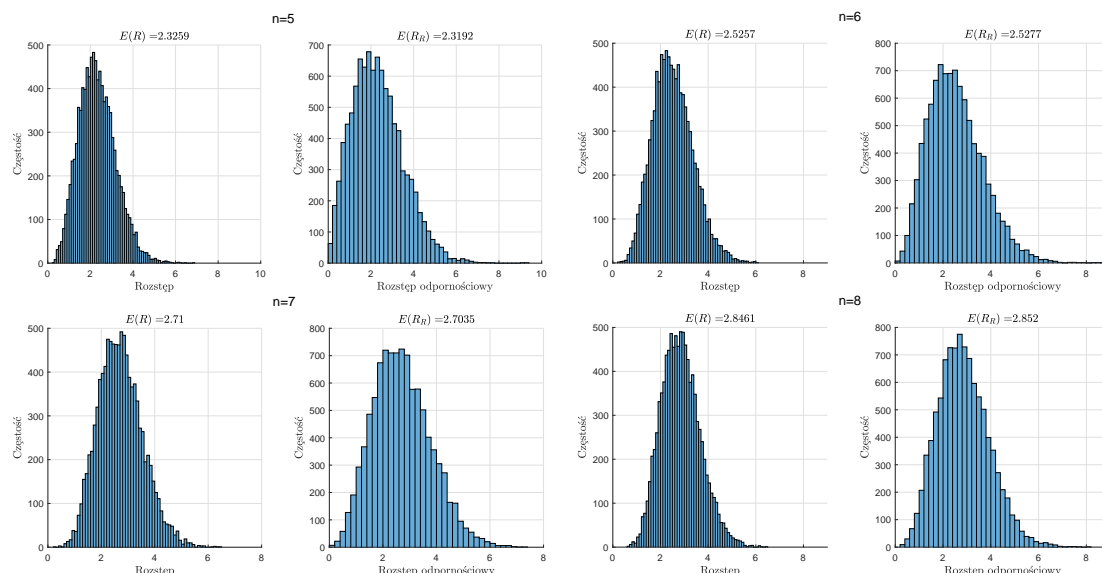
$$\bar{R} = \frac{d_2}{d_2^M} \bar{M}_{zm}. \quad (4.36)$$

Stąd:

$$R = R_R = \frac{d_2}{d_2^M} M_{zm}. \quad (4.37)$$

Zależność 4.37 została określona przez autorkę, jako **rozstęp odpornościowy** (ang. robust range) dla rozkładu normalnego, którego zachowanie przeanalizowano z wykorzystaniem histogramów i analizy wartości oczekiwanej dla rozkładu $N(1, 1)$ (rys. 4.17).





Rys. 4.17. Histogramy rozkładów rozstępu i rozstępu odpornościowego (opracowanie własne)

Analizując histogramy z rys. 4.17 można zauważyć, że zakres zmienności rozstępu odpornościowego jest nieco szerszy, niż w przypadku klasycznego, co oznacza mniejszą wiarygodność wyniku, co wydaje się być zrozumiałe. Natomiast różnica wartości oczekiwanych analizowanych wielkości, jest nieznaczna (błąd względny dla $n = \{3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ stanowi co najwyżej 1%). Stąd można uznać, że w przypadku danych z rozkładu $N(1, 1)$ (bez zaburzeń) obie statystyki zachowują się bardzo podobnie.

Ponieważ zdefiniowany rozstęp odpornościowy w zal. 4.37, stanowi tak naprawdę oszacowanie rozstępu, to dla **rozkładów skośnych** należy zdefiniować **rozstęp odpornościowy** za pomocą wyrażenia:

$$R^* = R_R^* = \frac{d_2^*}{d_2^{M*}} M_{zm}. \quad (4.38)$$

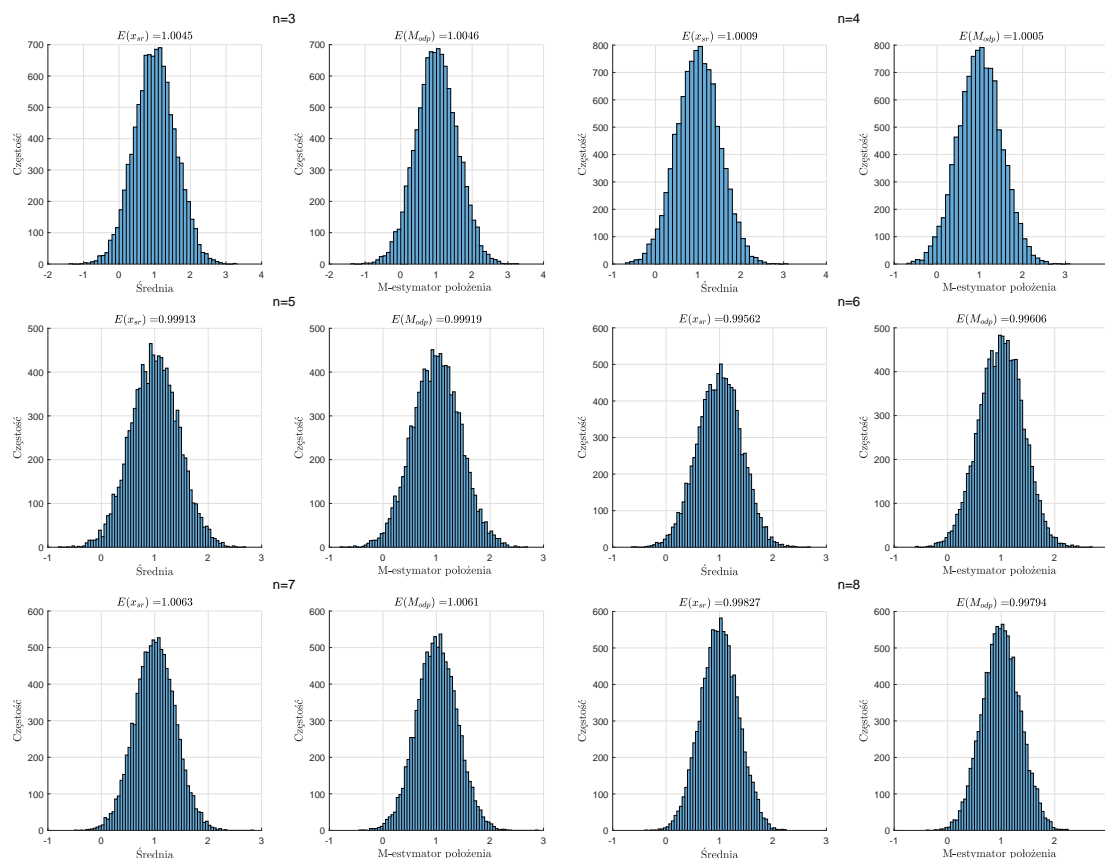
Zachowanie zdefiniowanych rozstępów odpornościowych (zal. 4.37 i 4.38) względem rozstępu klasycznego przeanalizowano przy wykorzystaniu histogramów w dalszej części pracy.

W tab. 4.8 zestawiono wybrane wartości stałej d_2^M dla dla $n = \{3, 4, 5, 6, 7, 8\}$, które autorka wyznaczyła w oparciu o rozkład normalny, z wykorzystaniem metody symulacji Monte Carlo.

Tabela 4.8. Wybrane wartości stałej d_2^M dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ i rozkładu normalnego (opracowanie własne)

n					
3	4	5	6	7	8
d_2^M	d_2^M	d_2^M	d_2^M	d_2^M	d_2^M
0,586	0,763	0,759	0,823	0,832	0,861

W dalszej części analizy symulacyjnej, autorka narysowała histogramy średniej i M -estymatora położenia ($\varepsilon = 0, 00001$) dla $n = \{3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ elementowych próbek, które zostały wygenerowane $N = 10\ 000$ razy z rozkładu $N(1, 1)$, w celu określenia zależności pomiędzy tymi statystykami (rys. 4.18).



Rys. 4.18. Histogramy rozkładów średniej i M -estymatora położenia (opracowanie własne)

Widać wyraźnie, że niezależnie od liczby n -elementów, zarówno kształty, jak i zakresy zmienności średniej oraz M -estymatora położenia są podobne. Dodatkowo, różnica wartości oczekiwanych dla tych statystyk jest bliska 0% (określona jako błąd względny). Można zatem stwierdzić, że w przypadku niezaburzonego rozkładu, analizowane statystyki zachowują się identycznie. W związku powyższym, prawdziwe jest równanie:

$$\bar{x} = M_{po} = \bar{x}_R = \bar{x}_R^*, \quad (4.39)$$

gdzie: \bar{x}_R^* - średnia odpornościowa dla rozkładów skośnych.

Zależność 4.39 została określona, jako **średnia odpornościowa** (ang. robust mean). Porównanie średnich odpornościowych względem klasycznych, przeprowadzono w dalszej części pracy.

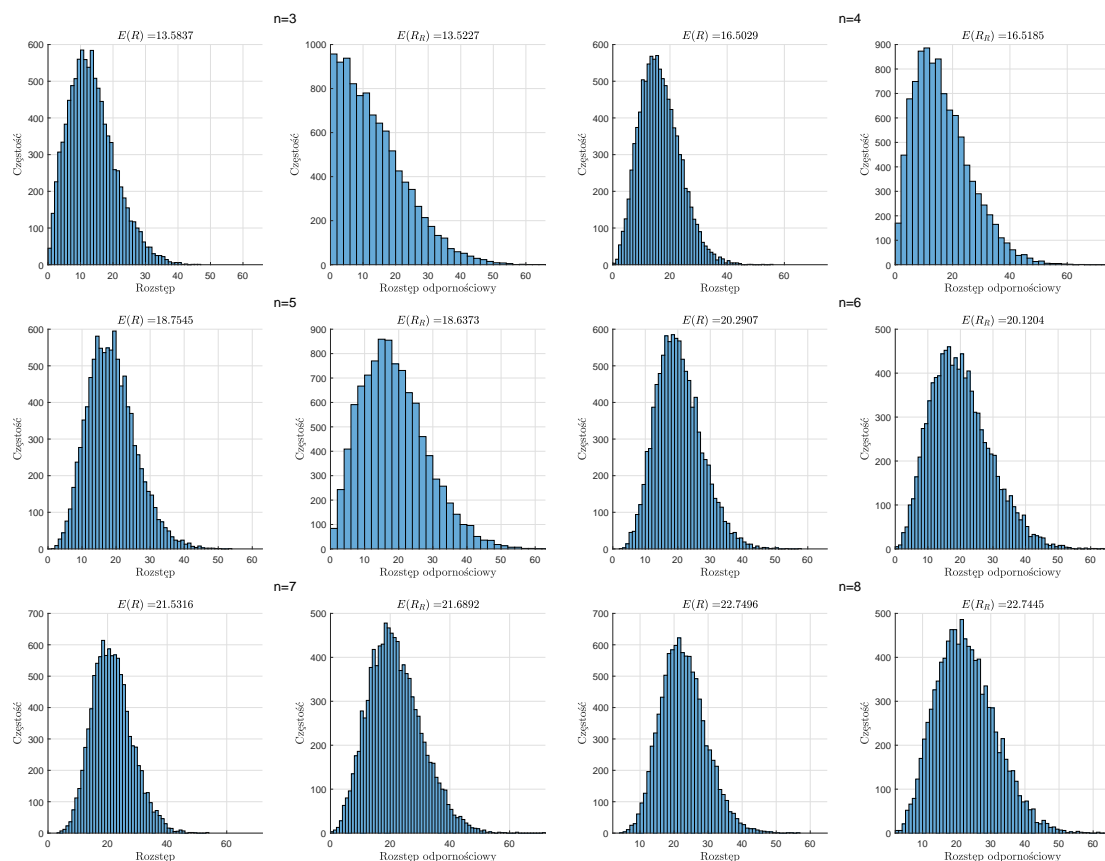
Badanie symulacyjne część 1

Zgodnie z opisem przebiegu symulacji (por. rozdz.4.2.1, część I badania symulacyjnego) w pierwszej kolejności przeanalizowano histogramy i wartości oczekiwane rozstępu i rozstępu odpornościowego (rys. 4.19 - 4.24) oraz średniej i średniej odpornościowej (rys. 4.25 - 4.30), kolejno dla rozkładów: $Gamm(p_k, 1)$, $Weib(1, p_k)$ i $LogNorm(1, \sigma)$. Parametry p_k i σ zostały wyznaczone na podstawie wsp. skośności κ_3 zgodnie z zal. 4.25, 4.29 oraz 4.33. W pracy zamieszczono wyniki analiz dla $\kappa_3 = 0,25$ i $\kappa_3 = 2,00$, aby sprawdzić zachowanie analizowanych statystyk w przypadku rozkładów w przybliżeniu symetrycznych i mocno skośnych.

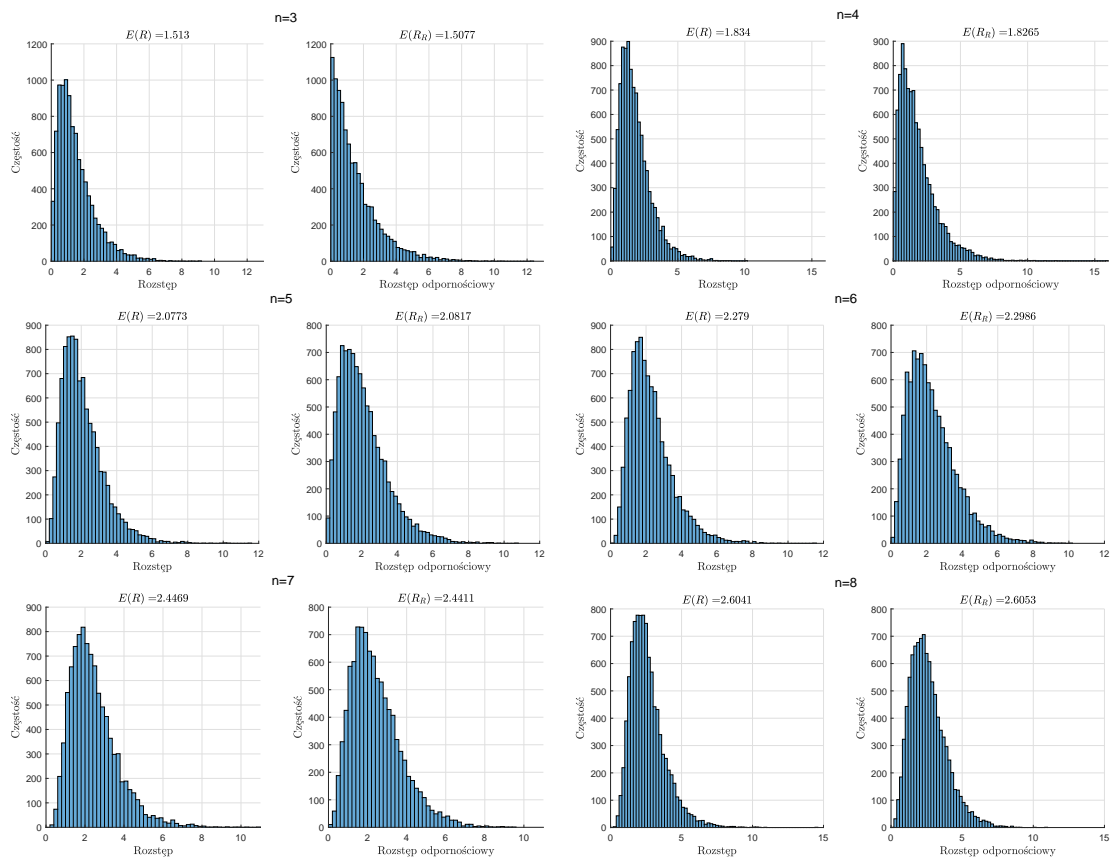
Analiza histogramów i wartości oczekiwanych rozstępu i rozstępu odpornościowego z rys. 4.19 - 4.24, pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

- Dla wszystkich badanych rozkładów, w przypadku niewielkiej skośności ($\kappa_3 = 0,25$) zakres zmienności rozstępu odpornościowego, jest nieznacznie szerszy niż w przypadku klasycznego rozstępu. Przy czym, wraz ze wzrostem liczności próbki n , różnica ta zmniejsza się.
- Dla wszystkich badanych rozkładów i dużej skośności ($\kappa_3 = 2,00$) zakres zmienności i kształty histogramów dla badanych statystyk są zbliżone.
- Dla wszystkich badanych rozkładów, niezależnie od skośności, różnica wartości oczekiwanych dla tych statystyk jest niewielka (błąd względny wynosi co najwyżej 1%).
- Można stwierdzić, że $d_2^R \approx d_2$ i $d_2^{R*} \approx d_2^*$, $d_3^R > d_3$ i $d_3^{R*} > d_3^*$ oraz $d_4^{R*} > d_4^*$, co zostało potwierdzone przy pomocy metody symulacji Monte Carlo (por. zał. A.1, A.2 i A.3, A.4).

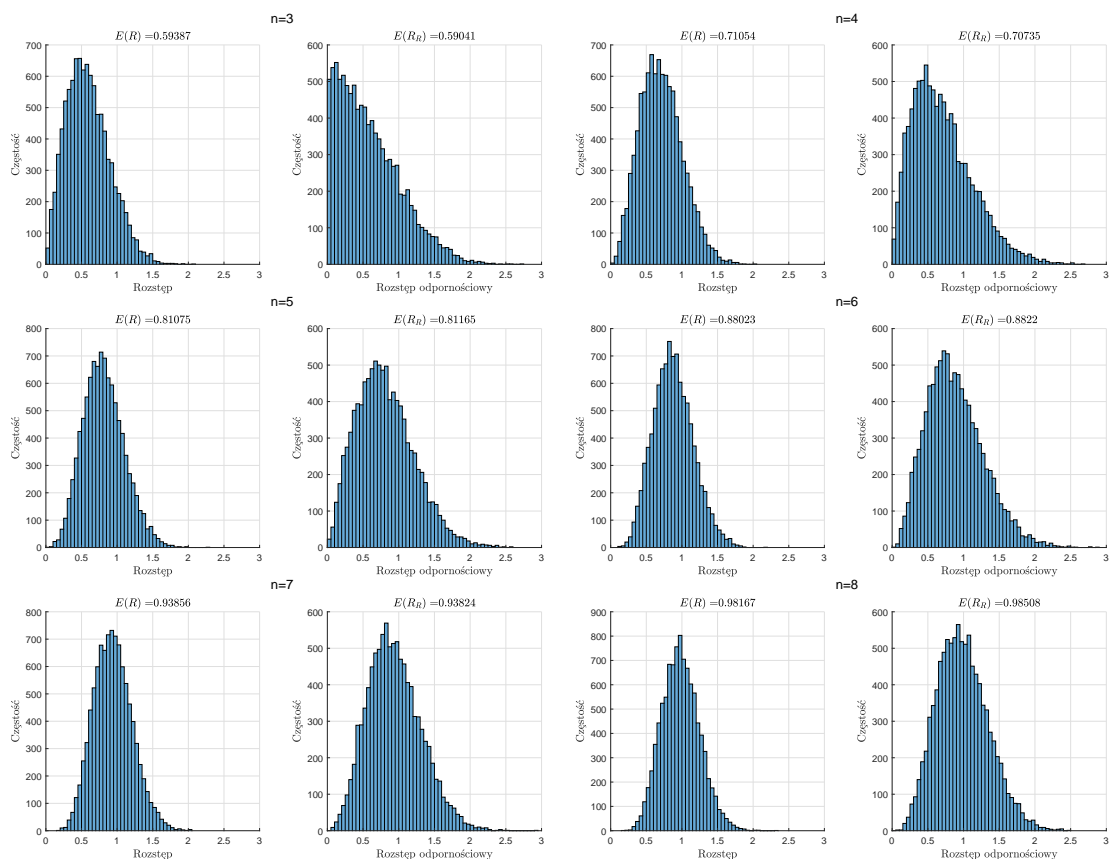
Zatem można stwierdzić, że w przypadku danych niezanieczyszczonych, niezależnie od rozkładu i skośności, zarówno rozstęp klasyczny, jak i rozstęp odpornościowy zachowują się bardzo podobnie.



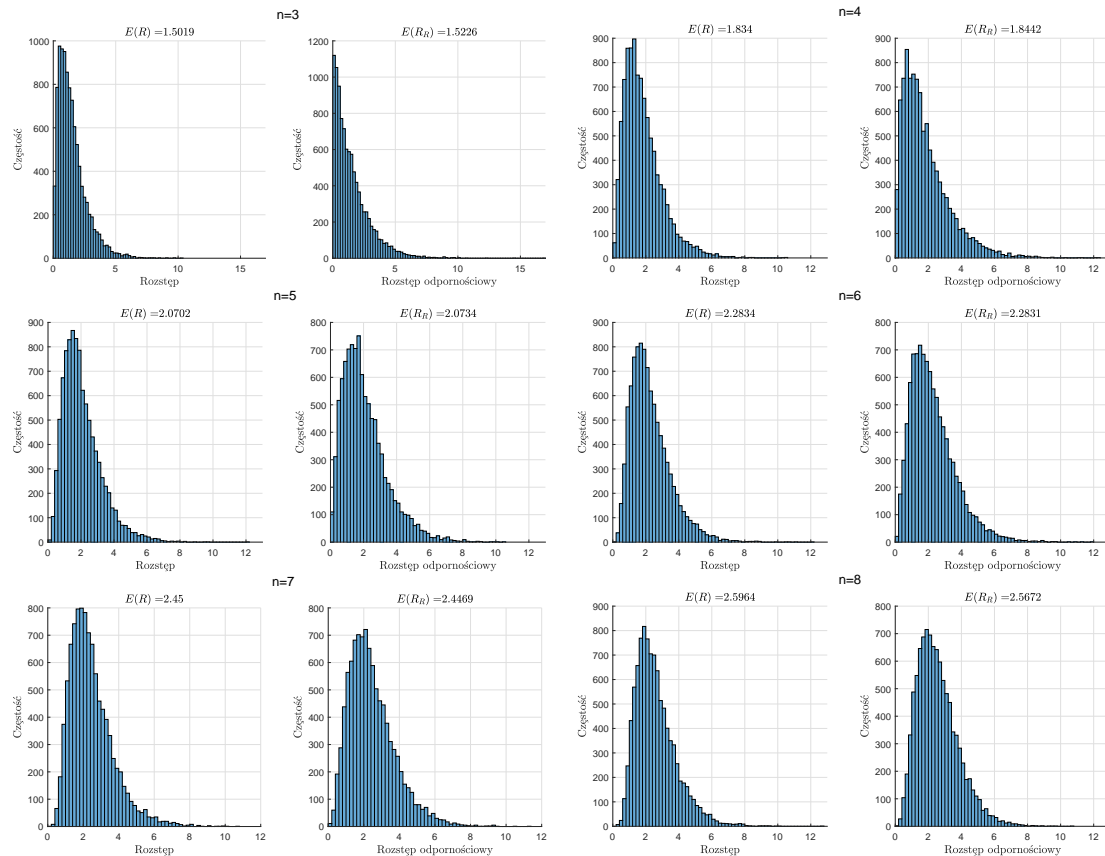
Rys. 4.19. Histogramy rozkładów rozstępu i rozstępu odpornościowego dla rozkładu gamma i $\kappa_3 = 0,25$ (opracowanie własne)



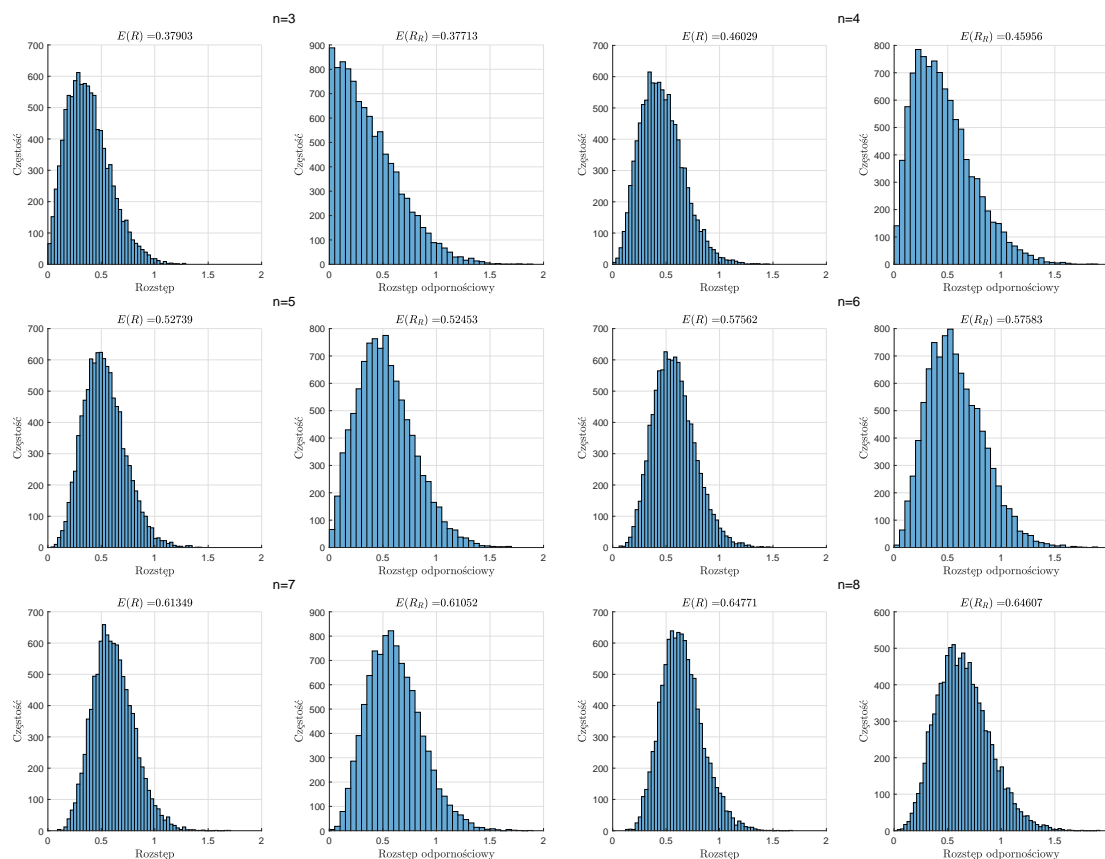
Rys. 4.20. Histogramy rozkładów rozstępu i rozstępu odpornościowego dla rozkładu gamma i $\kappa_3 = 2,00$ (opracowanie własne)



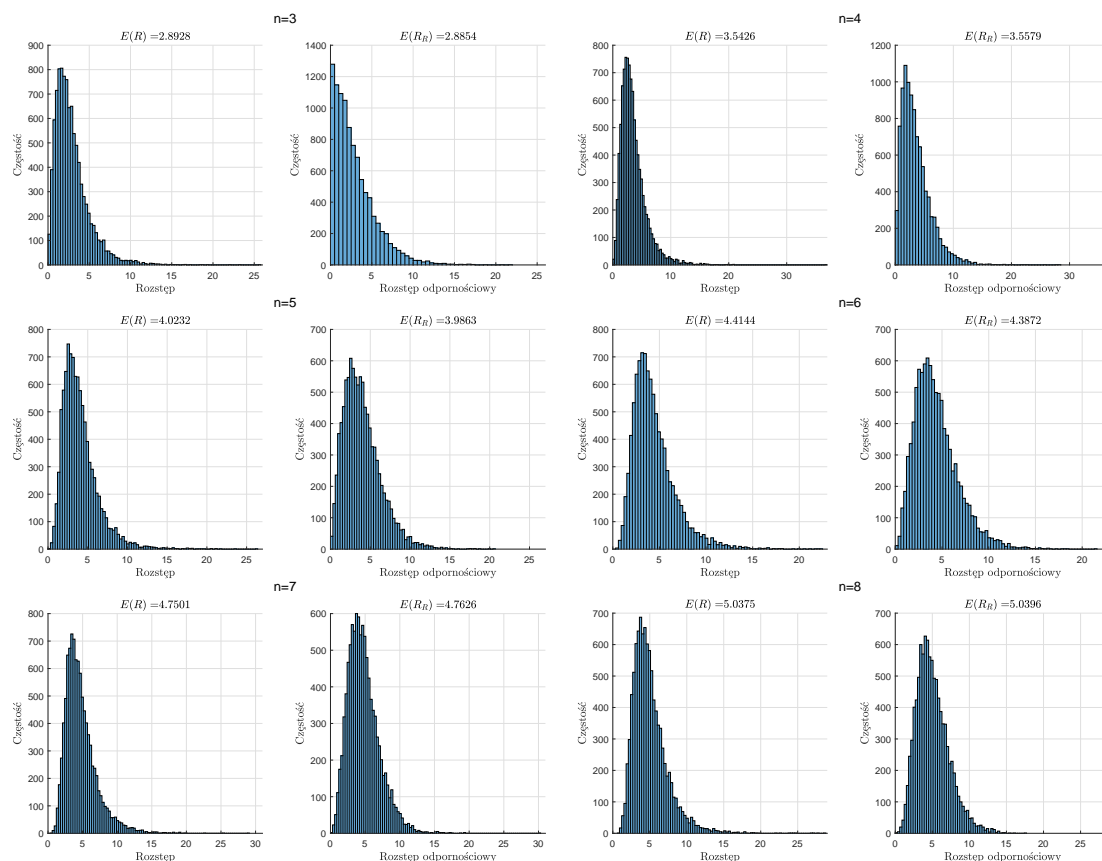
Rys. 4.21. Histogramy rozkładów rozstępu i rozstępu odpornościowego dla rozkładu Weibulla i $\kappa_3 = 0,25$ (opracowanie własne)



Rys. 4.22. Histogramy rozkładów rozstępu i rozstępu odpornościowego dla rozkładu Weibulla i $\kappa_3 = 2,00$ (opracowanie własne)



Rys. 4.23. Histogramy rozkładów rozstępu i rozstępu odpornościowego dla rozkładu log-normalnego i $\kappa_3 = 0,25$ (opracowanie własne)

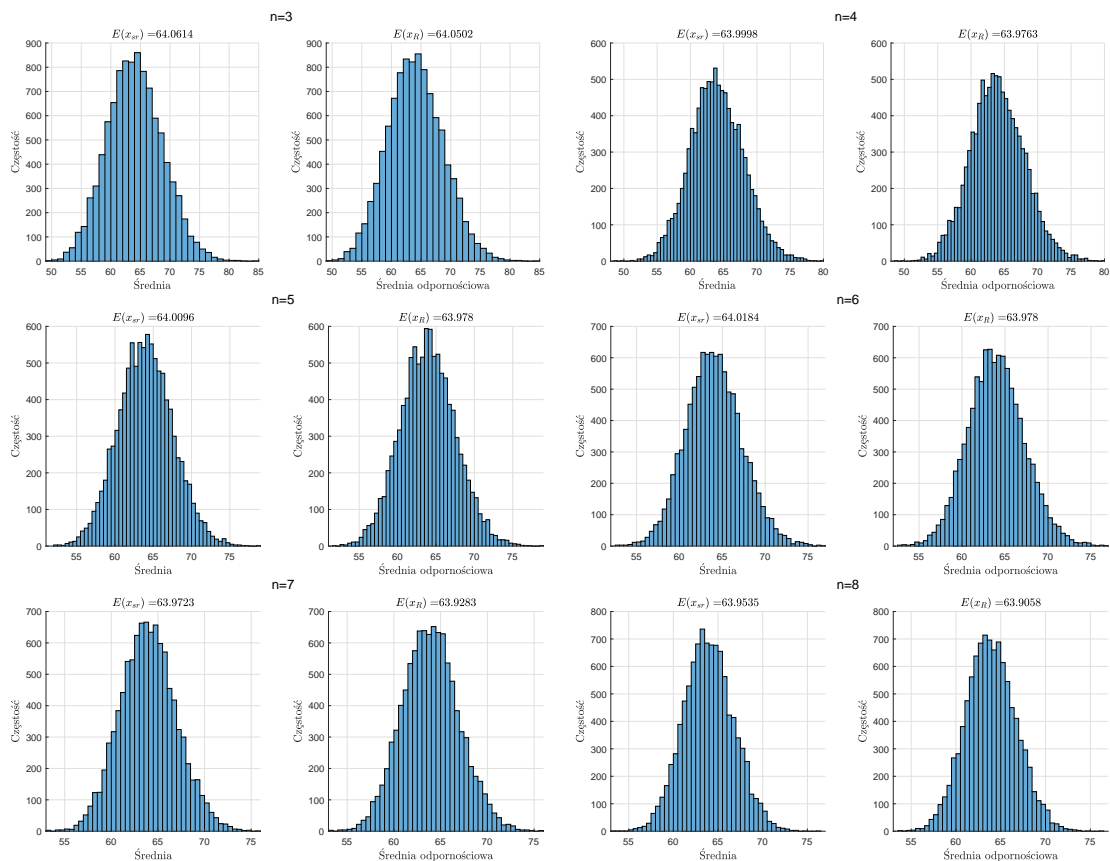


Rys. 4.24. Histogramy estymatorów rozstępu i rozstępu odpornościowego dla rozkładu log-normalnego i $\kappa_3 = 2,00$ (opracowanie własne)

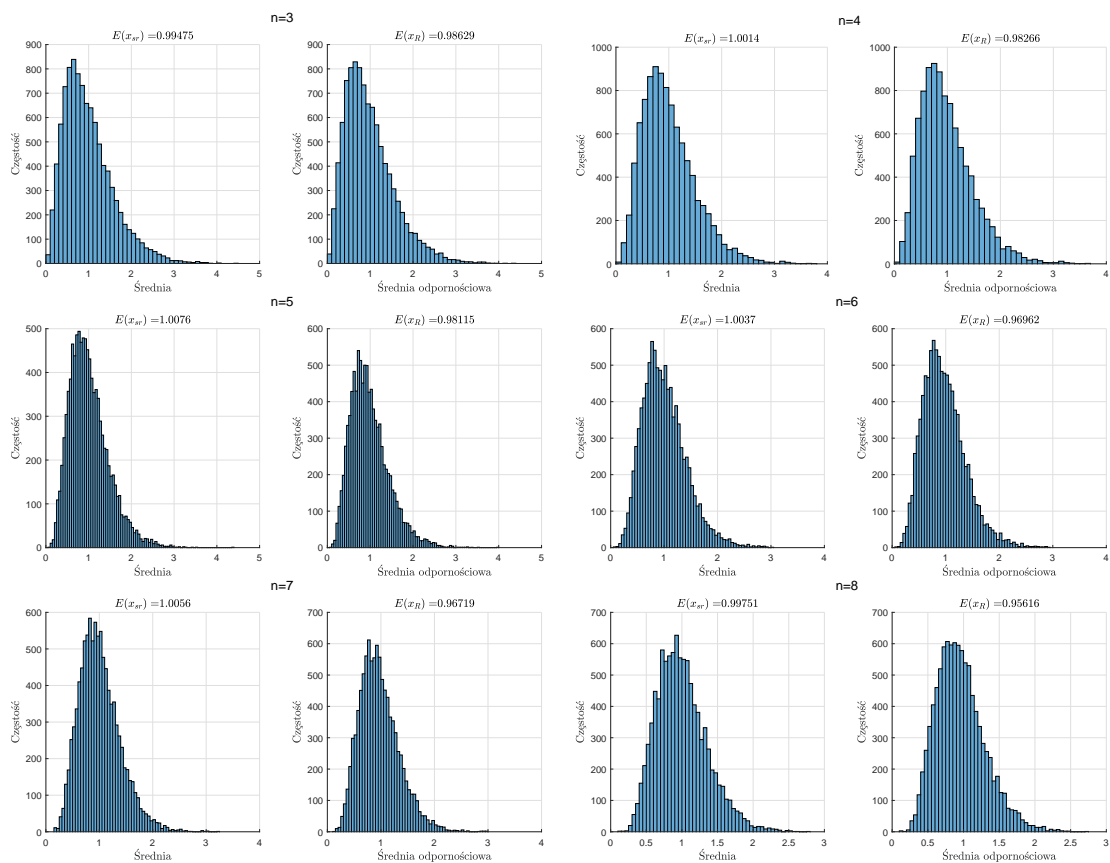
Z kolei, analiza histogramów i wartości oczekiwanych średniej oraz średniej odpornościowej z rys. 4.25 - 4.30, pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

- Niezależnie od rozkładu i jego skośności, zakres zmienności oraz kształty histogramów dla badanych statystyk są niemalże identyczne.
- Dla wszystkich badanych rozkładów i niewielkiej skośności ($\kappa_3 = 0,25$) wartości oczekiwane dla klasycznej średniej i średniej odpornościowej są praktycznie takie same (błąd względny bliski 0%).
- W przypadku wszystkich badanych rozkładów i dużej skośności ($\kappa_3 = 2,00$), wartości oczekiwane badanych statystyk są podobne (błąd względny dla rozkładu gamma i Weibulla w granicach 1% - 4%, dla rozkładu log-normalnego w zakresie 0% - 2%).
- Można stwierdzić, że $c_4^{R*} \approx c_4^*$, co zostało potwierdzone przy pomocy metody symulacji Monte Carlo (por. zał. A.2 i A.4).

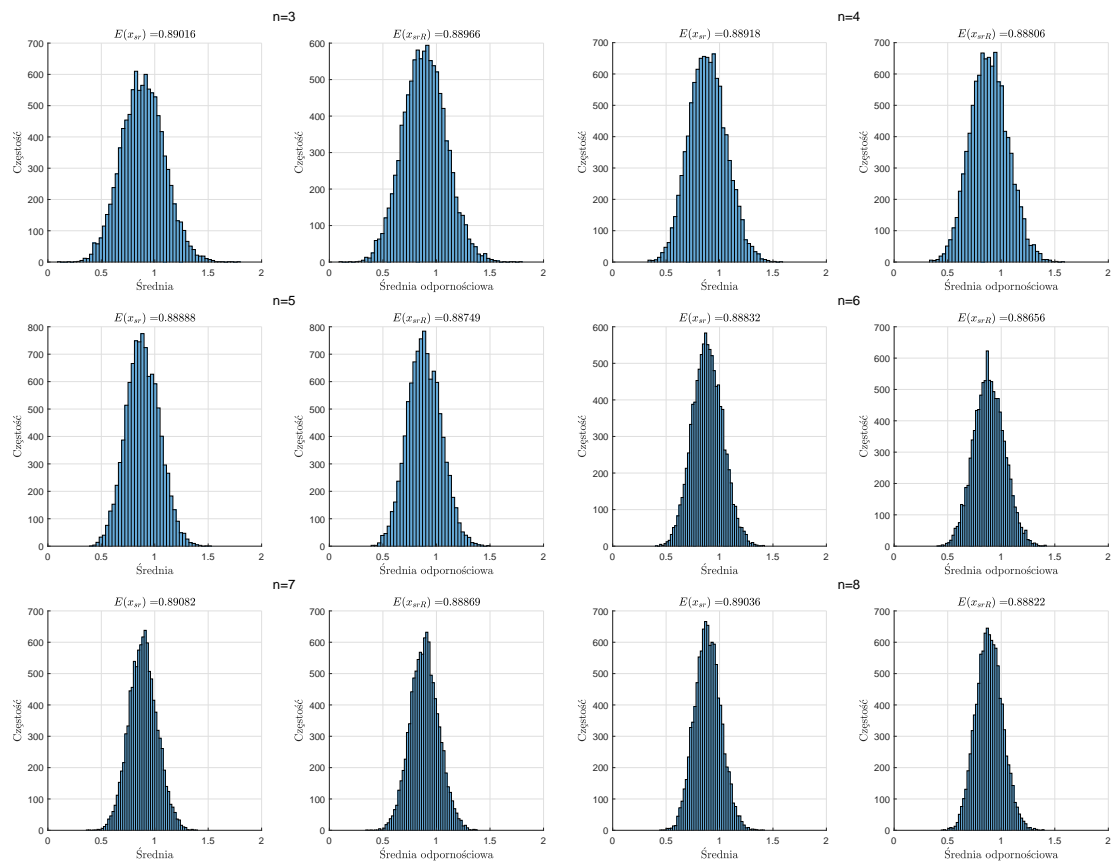
Stąd, analogicznie, można stwierdzić, że w przypadku danych niezanieczyszczonych, niezależnie od rozkładu i skośności, zarówno klasyczna średnia, jak i średnia odpornościowa zachowują się podobnie.



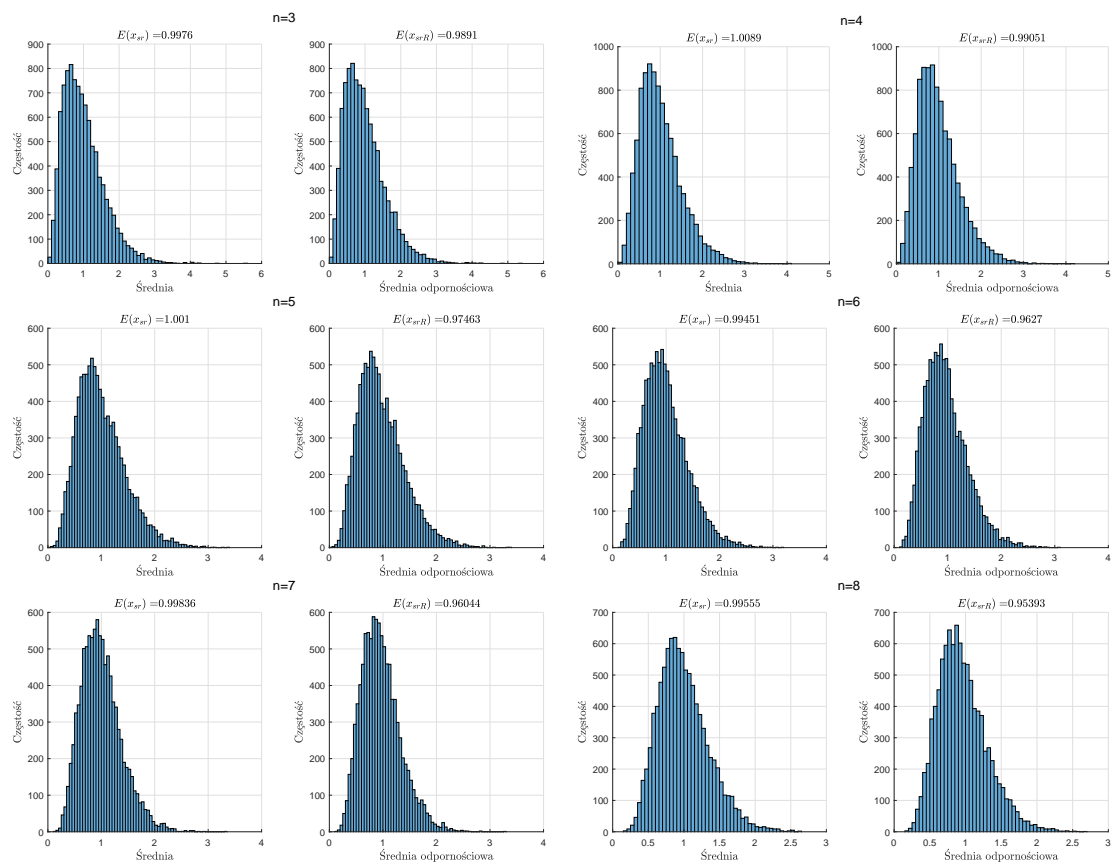
Rys. 4.25. Histogramy rozkładów średniej i średniej odpornościowej dla rozkładu gamma i $\kappa_3 = 0,25$ (opracowanie własne)



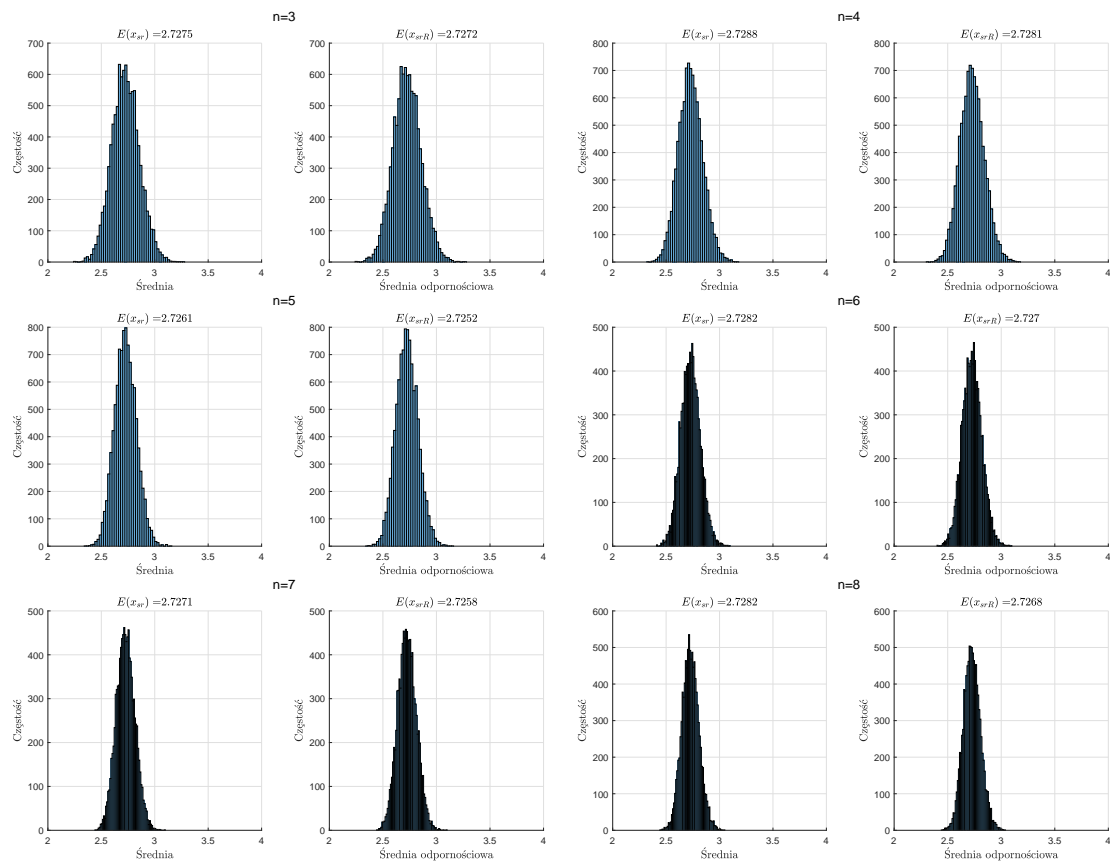
Rys. 4.26. Histogramy rozkładów średniej i średniej odpornościowej dla rozkładu gamma i $\kappa_3 = 2,00$ (opracowanie własne)



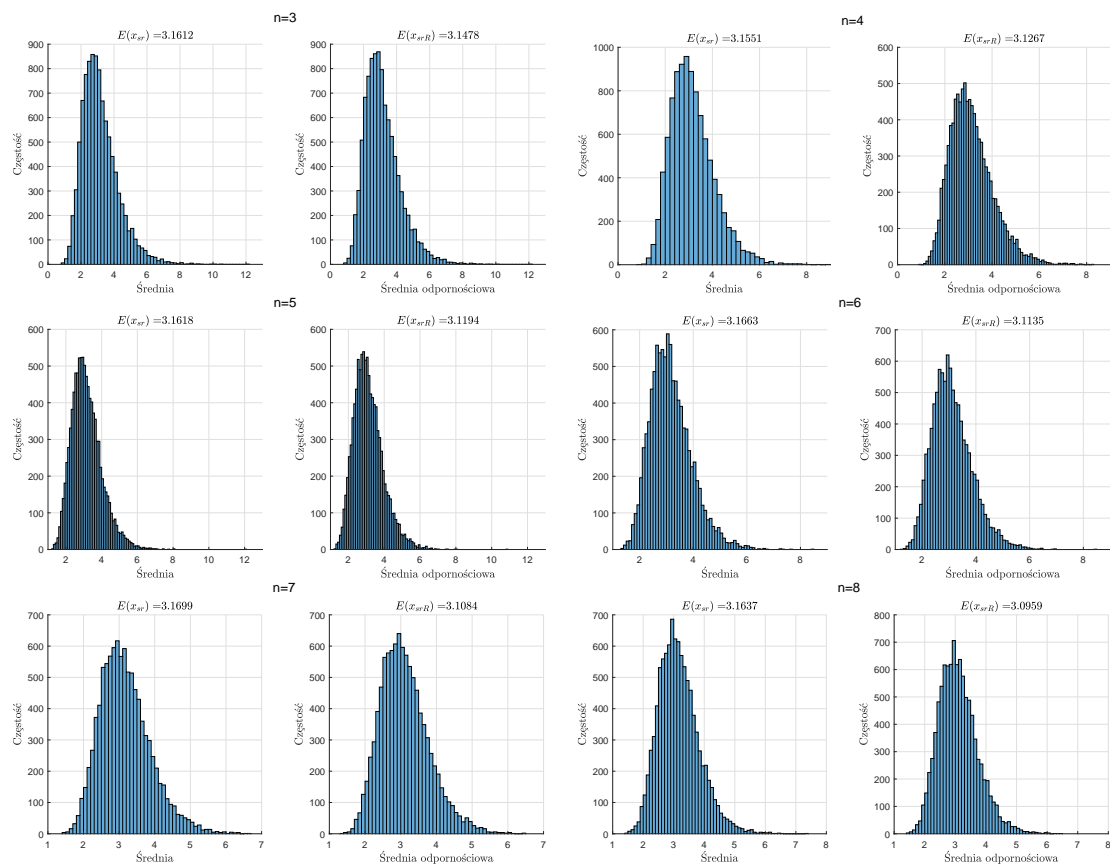
Rys. 4.27. Histogramy rozkładów średniej i średniej odpornościowej dla rozkładu Weibulla i $\kappa_3 = 0,25$ (opracowanie własne)



Rys. 4.28. Histogramy rozkładów średniej i średniej odpornościowej dla rozkładu Weibulla i $\kappa_3 = 2,00$ (opracowanie własne)



Rys. 4.29. Histogramy rozkładów średniej i średniej odpornościowej dla rozkładu log-normalnego i $\kappa_3 = 0,25$ (opracowanie własne)



Rys. 4.30. Histogramy rozkładów średniej i średniej odpornościowej dla rozkładu log-normalnego i $\kappa_3 = 2,00$ (opracowanie własne)

Badanie symulacyjne część 2

Jak już wcześniej wspomniano (por. rozdz.4.2.1, część II badania symulacyjnego), skuteczność estymatorów, zarówno klasycznych, jak i odpornościowych oceniono na podstawie MSE , zgodnie z podejściem zaproponowanym przez Tatum [205]:

$$MSE = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\hat{\theta}_i - \theta)^2, \quad (4.40)$$

gdzie: θ - wartość badanego parametru, $\hat{\theta}$ - jego estymator, wyznaczony na podstawie k symulacji. Mniejsza wartość MSE badanej metody estymacji świadczy o bardziej precyzyjnym oszacowaniu parametru θ [205].

Poniżej umieszczono dokładny opis przebiegu przeprowadzonych symulacji Monte Carlo dla poszczególnych segmentów. Wyniki symulacji zamieszczono w zał. B.

Badanie symulacyjne część 2 - segment I

Badanie symulacyjne przeprowadzono dla rozkładów: $N(1, 1)$, $Gamm(p_k, p_s)$, $Weib(p_s, p_k)$ i $LogNorm(1, 25; 1)$. Parametry rozkładów (p_k i p_s) wyznaczono w oparciu o następujące założenia:

- $\mu = 1, 25$ dla rozkładu log-normalnego i $\mu = 1$ dla pozostałych rozkładów - dla analizy średniej i średniej odpornościowej,
- $\sigma = 1$ - dla analizy rozstępu i rozstępu odpornościowego.

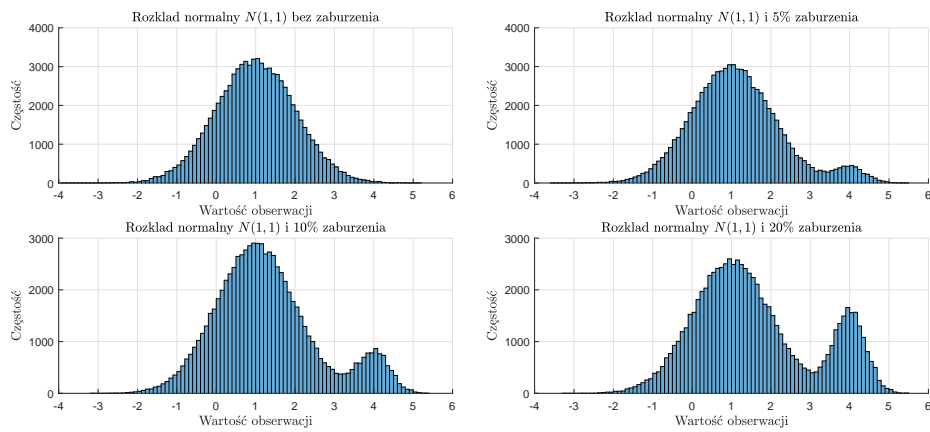
Badanie symulacyjne część 2 - segment II

W badaniu symulacyjnym wykorzystano rozkłady mieszane: $N(1, 1) + N(a, b)$, $Gamm(p_k, p_s) + Gamm(p_{k1}, p_{s1})$, $Weib(p_s, p_k) + Weib(p_{s1}, p_{k1})$ i $LogNorm(1, 1) + LogNorm(a, b)$. Parametry rozkładów (p_k i p_s) wyznaczono analogicznie, jak w poprzednim segmencie. Przyjęto również, że: $p_{k1} = a \cdot p_k$ i $p_{s1} = b \cdot p_s$, gdzie:

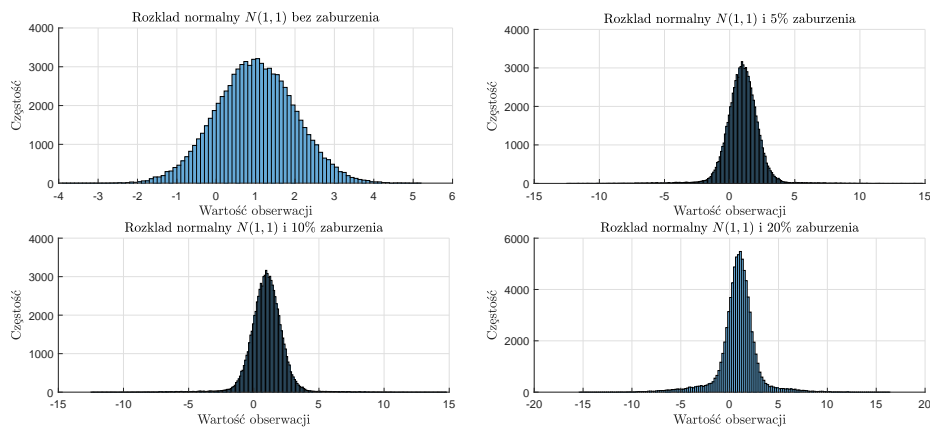
- wersja A:
 - * $a = 0, 4$,
 - * $b = 4, 0$,
 oraz
- wersja B:
 - * $a = 4, 0$,
 - * $b = 0, 4$.

Dodatkowo rozważono następujący udział rozkładu zaburzającego: $\varepsilon_1 = \{0, 05; 0, 1; 0, 2\}$.

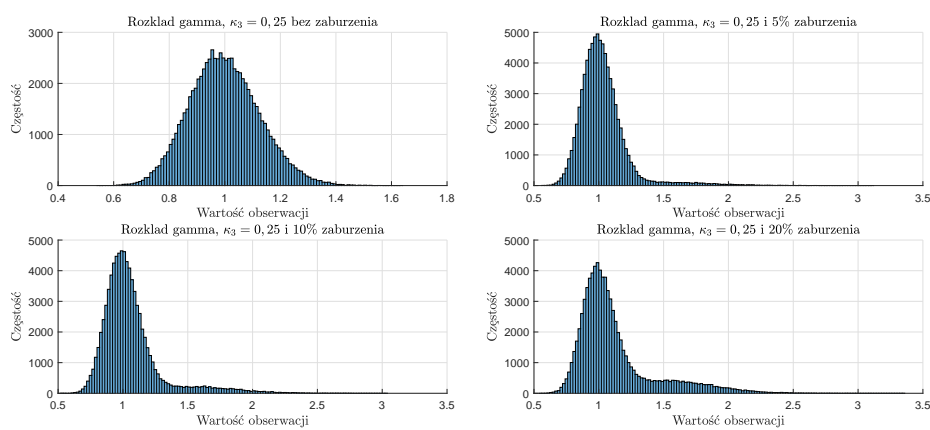
Na rys. 4.31 - 4.38 umieszczono histogramy obrazujące opisane powyżej wersje generowania danych do analizy dla poszczególnych rozkładów.



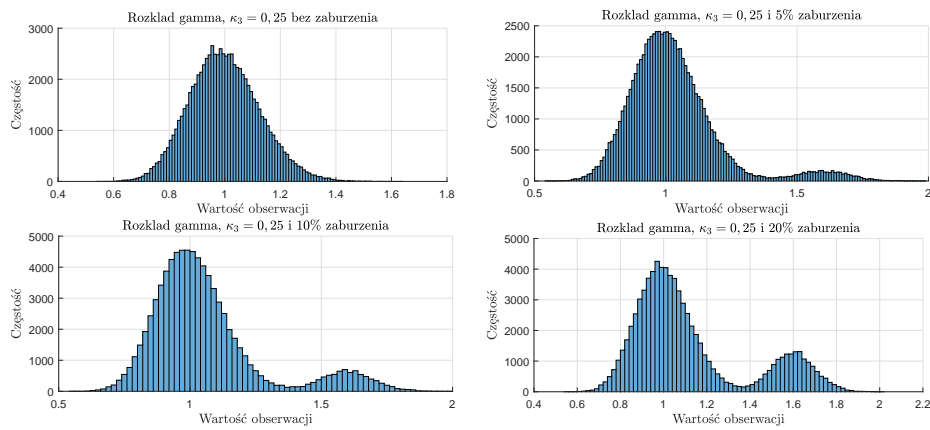
Rys. 4.31. Histogramy dla rozkładu normalnego $N(1,1)$ wersja A (opracowanie własne)



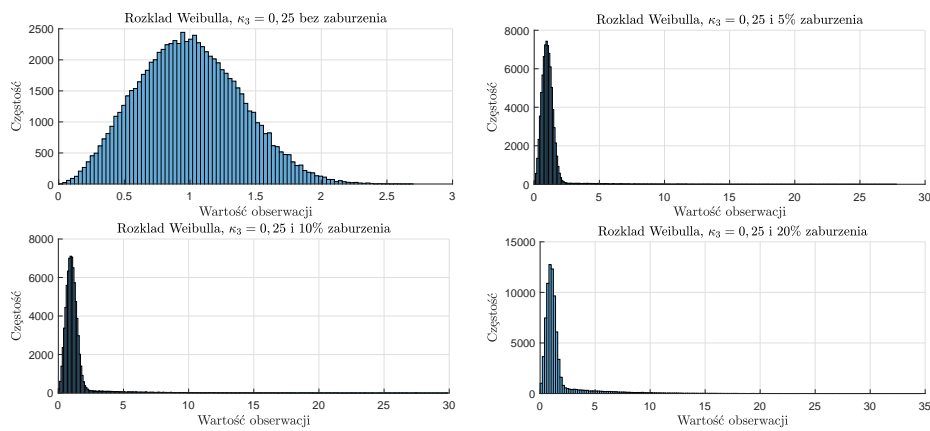
Rys. 4.32. Histogramy dla rozkładu normalnego $N(1,1)$ wersja B (opracowanie własne)



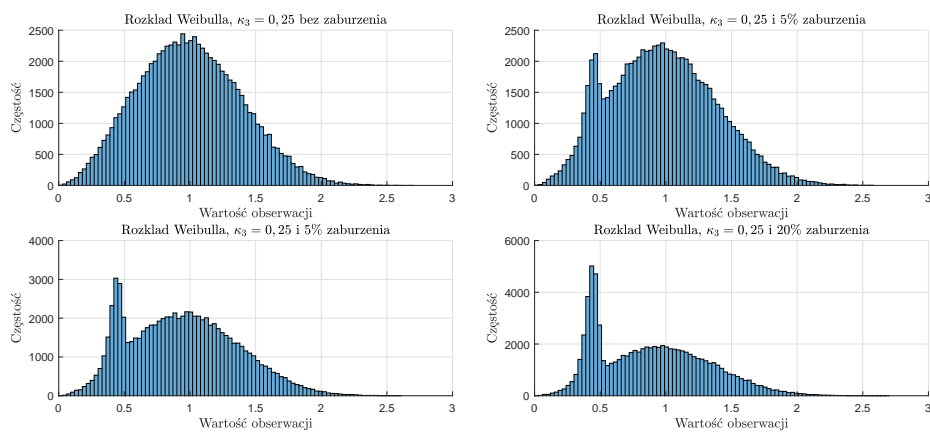
Rys. 4.33. Histogramy dla rozkładu gamma wersja A (opracowanie własne)



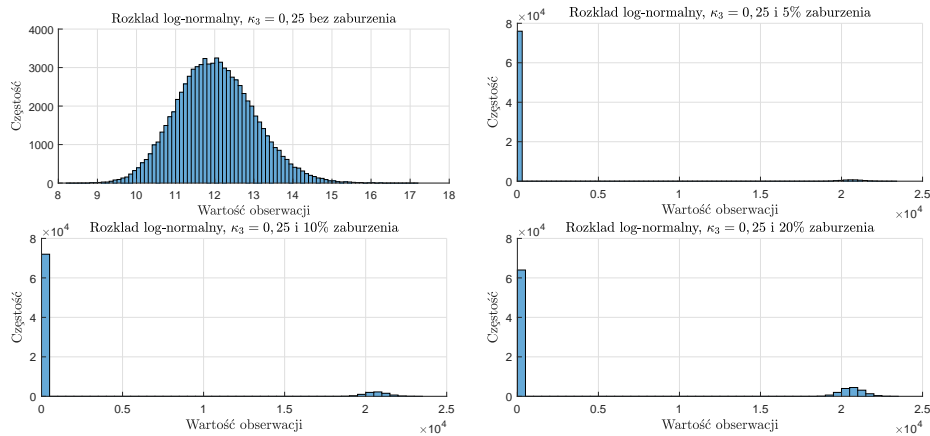
Rys. 4.34. Histogramy dla rozkładu gamma wersja B (opracowanie własne)



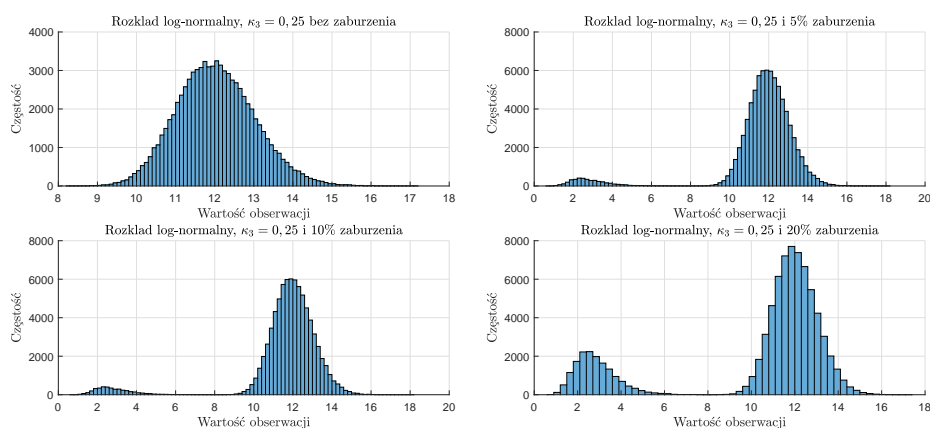
Rys. 4.35. Histogramy dla rozkładu Weibulla wersja A (opracowanie własne)



Rys. 4.36. Histogramy dla rozkładu Weibulla wersja B (opracowanie własne)



Rys. 4.37. Histogramy dla rozkładu log-normalnego wersja A (opracowanie własne)



Rys. 4.38. Histogramy dla rozkładu log-normalnego wersja B (opracowanie własne)

Badanie symulacyjne część 2 - segment III

Badanie symulacyjne przeprowadzono analogicznie, jak w poprzednim segmencie, z tym, że wartości z rozkładu zaburzającego zostały wprowadzone jako ciąg początkowych obserwacji.

Badanie symulacyjne część 2 - segment IV

Badanie symulacyjne przebiegało analogicznie, jak w segmencie II, z tym, że wartości z rozkładu zaburzającego, zostały zastąpione wartością odstającą równą 50.

Badanie symulacyjne część 2 - segment V

Badanie symulacyjne przeprowadzono analogicznie, jak w segmencie III, z tym, że wartości z rozkładu zaburzającego, zostały zastąpione wartością odstającą równą 50.

Wyniki, opisanych powyżej, badań symulacyjnych (por. zał. B) niestety nie umożliwiają jednoznacznej oceny skuteczności proponowanych estymatorów. W przypadku danych bez jakichkolwiek zaburzeń, zarówno klasyczne jak i odpornościowe, estymatory zachowują się podobnie. Natomiast w sytuacji wprowadzenia zaburzeń niemieszanych proponowane estymatory zachowują się nieznacznie lepiej.

Aby określić siłę skuteczności tych estymatorów, wprowadzono relatywne błędy średniokwadratowe, wyrażone następującymi zależnościami:

$$RMSE_1 = \frac{MSE_{II}}{MSE_{III}}, \quad (4.41)$$

$$RMSE_2 = \frac{MSE_{IV}}{MSE_V}, \quad (4.42)$$

gdzie: MSE_i - błąd średniokwadratowy wyznaczony odpowiednio w segmencie II, III, IV i V.

Wartości relatywnych błędów średniokwadratowych zestawiono w tab. C.1-C.18 i umieszczono w załączniku C. Im mniejsza wartość współczynników z równ. 4.41 i 4.42, tym estymator wykazuje **wyższą selektywność**. Sелеktywność estymatora rozumiana jest tutaj jako zwiększenie jego czułości na sekwencje (ciągi) zaburzeń i osłabienie czułości na pojedyncze zaburzenia.

Wartości $RMSE_1$ (wersja A zaburzenia danych; por. zał. C.1) z tab. C.1-C.3 pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- Dla wszystkich rozkładów wartość $RMSE_1$ jest mniejsza dla proponowanych odpornościowych estymatorów położenia.
- Dla wszystkich rozkładów zwiększa się różnica wartości $RMSE_1$ dla klasycznych i odpornościowych estymatorów wraz ze wzrostem liczności obserwacji n .
- Wraz ze wzrostem skośności κ_3 (rozkład gamma, log-normalny i Weibulla) wzrasta wartość $RMSE_1$.
- Wzrost % udziału rozkładu zaburzającego powoduje zmniejszenie skuteczności zarówno klasycznych, jak i odpornościowych estymatorów.
- Zaskakująco niskie wartości $RMSE_1$, zarówno dla klasycznych jak i odpornościowych estymatorów, odnotowano dla rozkładu gamma i Weibulla.

Z kolei analiza wartości $RMSE_1$ (wersja B zaburzenia danych; ; por. zał. C.2) z tab. C.4 - C.6 pozwala na wyciągnięcie analogicznych wniosków jak wcześniej, z tym, że niskie wartości $RMSE_1$ można zaobserwować dla wszystkich rozkładów.

Wartości $RMSE_2$ z tab. C.7 - C.9 pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- Dla wszystkich rozkładów wartość $RMSE_2$ jest mniejsza dla proponowanych odpornościowych estymatorów położenia.
- Dla wszystkich rozkładów zwiększa się różnica wartości $RMSE_2$ dla klasycznych i odpornościowych estymatorów wraz ze wzrostem liczności obserwacji n .
- Wzrost skośności κ_3 (rozkład gamma, log-normalny i Weibulla) nie powoduje istotnego wzrostu wartości $RMSE_2$.
- Wzrost % udziału rozkładu zaburzającego powoduje zmniejszenie skuteczności zarówno klasycznych, jak i odpornościowych estymatorów.

Podobne wnioski można wyciągnąć dla estymatorów zmienności (tab. C.10 - C.18) z tym, że z uwagi na definicję odchylenia standardowego wartości $RMSE_1$ i $RMSE_2$ będą dużo wyższe, a omówione wcześniej różnice będą bardziej wyraźne.

Ostatecznie można zatem stwierdzić, że klasyczne estymatory (położenia i zmienności) reagują na wszystkie pojawiające się zaburzenia - pojedyncze, jak i sekwencje (ciągi) wartości zaburzających. Z kolei proponowane odpornościowe estymatory ignorują pojedyncze zaburzenia i są czułe na zaburzenia w postaci sekwencji. W przypadku danych niezaburzonych klasyczne i odpornościowe estymatory zachowują się podobnie. Zatem autorka stawia hipotezę (która zostanie zweryfikowana w części 3 badania symulacyjnego), że estymatory odpornościowe umożliwią opracowanie narzędzia, w postaci nowych kart kontrolnych, które umożliwią bardziej skuteczne sterowanie procesem.

Przy czym, w niniejszej pracy pojęcie rozkładu zaburzającego reprezentuje sytuację, w której podczas przebiegu procesu produkcyjnego powstają błędy. W tym miejscu należy wyróżnić **dwa typy pojawiających się błędów**, określanych w *SPC* jako specjalne przyczyny zmienności: **nieopłacalne** i **opłacalne** z ekonomicznego punktu widzenia do wyeliminowania. Nieopłacalne do wyeliminowania przyczyny stanowią **pojedyncze sygnały** wynikające m.in. z pojedynczych błędów operatora (np. niewielkie błędy pomiarowe) czy też innych, niewielkich błędów, których całkowita eliminacja, z praktycznego punktu widzenia, jest niemalże niemożliwa czy też ekonomicznie nieuzasadniona. Opłacalne do wyeliminowania przyczyny zmienności natomiast będą stanowiły **ciąg obserwacji wyróżniających się od pozostałych**, które wyraźnie będą wskazywały na deregulację procesu (stan niekontrolowalny). Podejście to jest zgodne z ideą koncepcji Six Sigma, w której dopuszcza się niewielkie perturbacje procesu (por. rozdz. 3.2). W przeprowadzonych badaniach symulacyjnych odwzorowaniem sygnałów **nieopłacalnych do wyeliminowania** stanowią segmenty **II** i **IV**. Z kolei **opłacalne do wyeliminowania** reprezentowane są przez schematy generowania danych jak w segmencie **III** i **V**.

Proponowane w rozdz.4.3 odpornościowe karty kontrolne będą wskazywały wyraźnie zmiany procesu (sygnały opłacalne do wyeliminowania), natomiast będą ignorowały niewielkie, nieopłacalne do wyeliminowania sygnały. Dzięki temu podejściu **zmniejszy się prawdopodobieństwo niepotrzebnego podejmowania działań korygujących i/lub doskonalących**, a więc zbędnej ingerencji w przebieg procesu. W konsekwencji **zwiększy się prawdopodobieństwo podejmowania właściwych działań mających na celu stabilizację przebiegu procesu**.

4.3. Propozycja odpornościowych kart kontrolnych - wzory na granice kontrolne

Do konstrukcji proponowanych, odpornościowych kart kontrolnych przyjęto następujące założenia:

- Dane pomiarowe stanowią zbiór obserwacji n -elementowych, pochodzących z referencyjnego rozkładu o funkcji gęstości prawdopodobieństwa $f(x)$ i dystrybucji $F(x)$ i są wzajemnie niezależne - **próbki proste** (ang. simple random sampling; *SRS*).
- W fazie I (wdrażanie kart kontrolnych) zapewniono idealne warunki prze-

biegu procesu - wpływ specjalnych przyczyn zmienności został maksymalnie zminimalizowany.

- Dane pomiarowe mają charakter idealnie modelowy, zgodny z rozkładem odpowiednio: normalnym, gamma, Weibulla i log-normalnym.
- Przebrojenie maszyn nie zaburza idealnie modelowego przebiegu procesu (w pełni opanowane).
- Nie są znane parametry procesu μ i σ (wariant estymacji).
- Znana jest skośność rozkładu κ_3 .
- Pomiary są niezależne.

Autorka jest świadoma, że w rzeczywistych realiach produkcyjnych dane pomiarowe niekoniecznie muszą mieć charakter modelowego rozkładu normalnego, gamma, Weibulla czy log-normalnego. Bowiem, zgodnie z własnymi doświadczeniami, a także przeglądem literatury (por. rozdz. 3.3.2) natura procesu może odbiegać od modelowych rozkładów. Dodatkowo należy uwzględnić fakt, że zarówno w fazie I i fazie II mogą pojawiać się również błędy pomiarowe, które będą miały wpływ na postać rozkładu. Problem ten jednakże nie jest przedmiotem niniejszej rozprawy doktorskiej i stanowi dalszy kierunek badań autorki. Warto również dokonać analizy zachowania proponowanych kart kontrolnych w przypadku innych modeli doboru próby np. próbkowanie rangowe (ang. ranked set sampling; *RSS*), wykorzystywanego w przypadku dużych kosztów dokładnego pomiaru.

Odpornościowa karta średniej i rozstępu $X_R - R_R$

Niech $\bar{x}_{R1}, \bar{x}_{R2}, \dots, \bar{x}_{Rm}$ stanowią średnie odpornościowe wyznaczone na podstawie algorytmu iteracyjnego opisanego w rozdz. 4.1.1 i zal. 4.39. Niech $R_{R1}, R_{R2}, \dots, R_{Rm}$ i $R_{R1}^*, R_{R2}^*, \dots, R_{Rm}^*$ stanowią rozstępy odpornościowe odpowiednio dla rozkładu normalnego i rozkładów skośnych, wyznaczone na podstawie algorytmu iteracyjnego opisanego w rozdz. 4.1.2 i zal. 4.37. Zatem nieobciążonym estymatorem odchylenia standardowego procesu σ , w tym przypadku stanowi zależność:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}_R}{d_2^R}. \quad (4.43)$$

Ponieważ badania symulacyjne w rozdz. 4.2.2 wskazują, że $d_2^R \approx d_2$, zatem prawdą jest, że:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{M}_{zm}}{d_2^M}. \quad (4.44)$$

Wówczas granice kontrolne dla odpornościowej karty średniej X_R przyjmują postać:

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{\bar{x}}_R + \frac{3\bar{M}_{zm}}{d_2^M \sqrt{n}}, \\ CL &= \bar{\bar{x}}_R, \\ LCL &= \bar{\bar{x}}_R - \frac{3\bar{M}_{zm}}{d_2^M \sqrt{n}}. \end{aligned} \quad (4.45)$$

Nieobciążony estymator rozstępu odpornościowego σ_{R_R} można wyrazić przy pomocy zależności:

$$\hat{\sigma}_{R_R} = \frac{d_3^R \bar{M}_{zm}}{d_2^M}. \quad (4.46)$$

Zatem granice kontrolne dla proponowanej karty zmienności R_R wyrażone są następującymi równaniami:

$$\begin{aligned} UCL &= \left[1 + 3 \frac{d_3^R}{d_2^R} \right] \bar{R}_R = \left[1 + 3 \frac{d_3^R}{d_2^R} \right] \frac{d_2 \bar{M}_{zm}}{d_2^M}, \\ CL &= \bar{R}_R = \frac{d_2 \bar{M}_{zm}}{d_2^M}, \\ LCL &= \left[1 - 3 \frac{d_3^R}{d_2^R} \right]^+ \bar{R}_R = \left[1 - 3 \frac{d_3^R}{d_2^R} \right]^+ \frac{d_2 \bar{M}_{zm}}{d_2^M}, \end{aligned} \quad (4.47)$$

gdzie: $[a]^+ = \begin{cases} a & \text{gdy } a \geq 0 \\ 0 & \text{gdy } a < 0 \end{cases}$.

Odpornościowa karta położenia i zmienności z wykorzystaniem metody korekcji asymetrii $\bar{X}_{RSC} - R_{RSC}$

Analogicznie, wzory na granice kontrolne odpornościowych kart kontrolnych z wykorzystaniem metody korekcji skośności, przyjmują postać odpowiednio:

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{x}_R + (3 + c_4^{R*}) \frac{\bar{M}_{zm}}{d_2^{M*} \sqrt{n}}, \\ CL &= \bar{x}_R, \\ LCL &= \bar{x}_R + (-3 + c_4^{R*}) \frac{\bar{M}_{zm}}{d_2^{M*} \sqrt{n}}, \end{aligned} \quad (4.48)$$

$$\begin{aligned} UCL &= \left[1 + (3 + d_4^{R*}) \frac{d_3^{R*}}{d_2^{R*}} \right] \bar{R}_R^* = \left[1 + (3 + d_4^{R*}) \frac{d_3^{R*}}{d_2^{R*}} \right] \frac{d_2^* \bar{M}_{zm}}{d_2^{M*}}, \\ CL &= \bar{R}_R^* = \frac{d_2^* \bar{M}_{zm}}{d_2^{M*}}, \\ LCL &= \left[1 + (-3 + d_4^{R*}) \frac{d_3^{R*}}{d_2^{R*}} \right]^+ \bar{R}_R^* = \left[1 + (-3 + d_4^{R*}) \frac{d_3^{R*}}{d_2^{R*}} \right]^+ \frac{d_2^* \bar{M}_{zm}}{d_2^{M*}}. \end{aligned} \quad (4.49)$$

Stałe c_4^{R*} i d_4^{R*} wyznaczono, analogicznie jak w przypadku klasycznego podejścia, w oparciu o rozwinięcie Cornisha-Fishera (por. rozdz.3.3.2):

$$\begin{cases} c_4^{R*} = \frac{\frac{4}{3} \kappa_3(\bar{x}_R)}{1 + 0, 2 \kappa_3^2(\bar{x}_R)}, \\ d_4^{R*} = \frac{\frac{4}{3} \kappa_3(R_R^*)}{1 + 0, 2 \kappa_3^2(R_R^*)}. \end{cases} \quad (4.50)$$

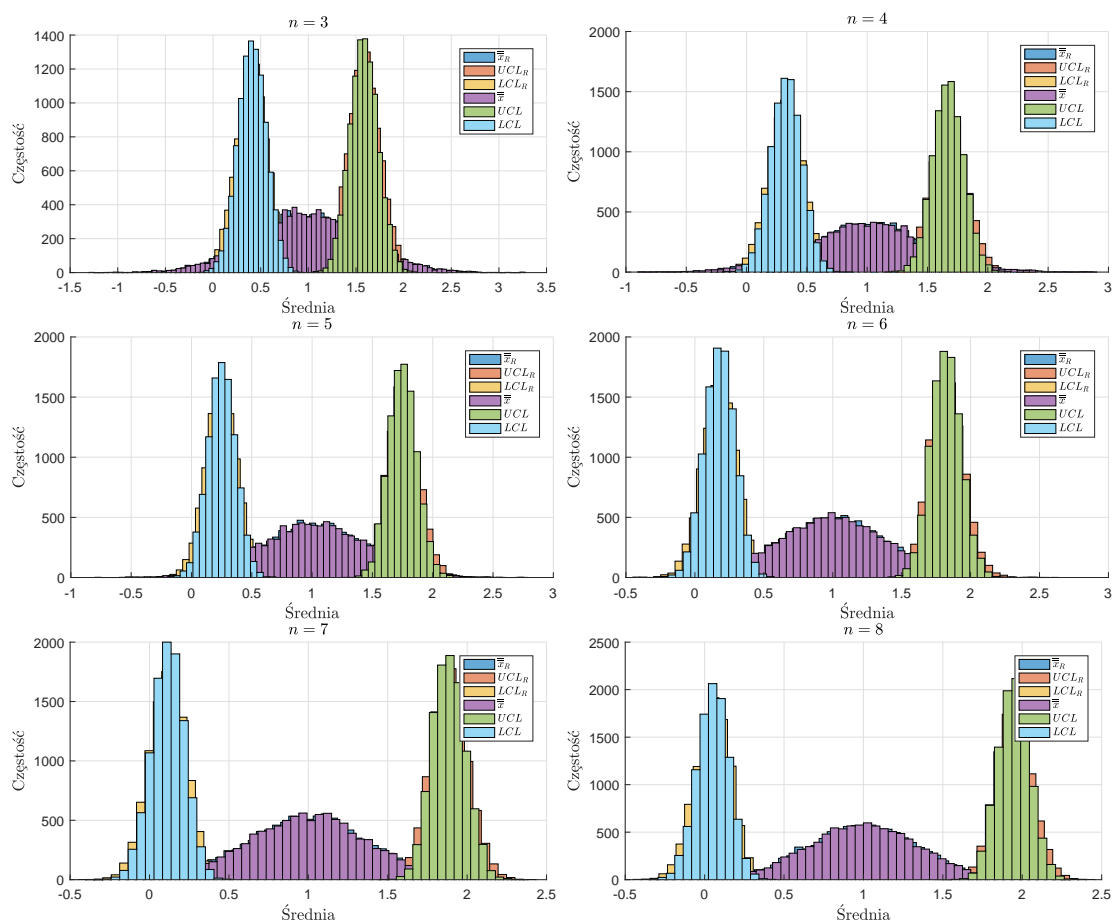
Dla rozkładu symetrycznego, reprezentowanego przez rozkład normalny, skośność rozkładu jest zerowa ($\kappa_3 = 0$), zatem $c_4^{R*} = 0$, $d_4^{R*} = 0$ (zal. 4.48 i 4.49).

W konsekwencji uzyskuje się kartę $\bar{X}_R - R_R$ ze stałymi $d_2^{R*} = d_2^R, d_3^{R*} = d_3^R$ i $d_2^{M*} = d_2^M, d_3^{M*} = d_3^M$.

Wszystkie stałe, niezbędne do wyznaczenia granic kontrolnych przedstawionych powyżej dla $n = \{3, 4, \dots, 8\}$ i $\kappa_3 = \{0, 00; 0, 25; \dots; 3, 00\}$, wyznaczono z wykorzystaniem metody symulacji Monte Carlo analogicznie jak wcześniej i zestawiono w zał. A.3.

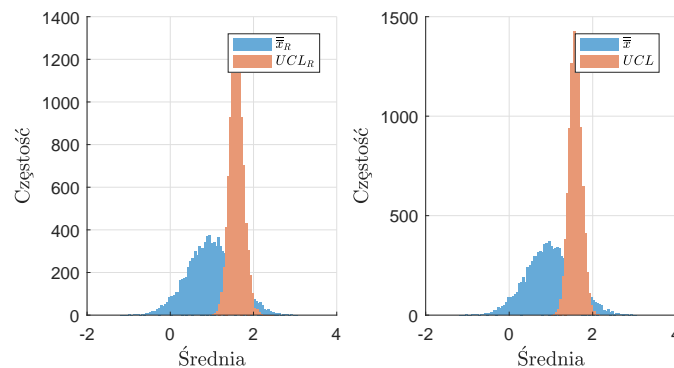
Wstępne badania symulacyjne (wyniki nie zostały opublikowane w niniejszej rozprawie), przeprowadzone w celu porównania proponowanych powyżej odpornościowych i klasycznych kart kontrolnych, dla przyjętych na początku rozdziału założeń, wykazały przynajmniej dwukrotnie większe prawdopodobieństwo pojawienia się fałszywych sygnałów α . W tej postaci granic, proponowane karty kontrolne mogą pokazać swoją skuteczność w sytuacji, gdy dane pomiarowe nie mają modelowego charakteru, bądź pojawiają się zaburzenia w fazie I i II, analogicznie jak karty odpornościowe proponowane przez innych autorów. Jednakże **hipoteza ta wymaga weryfikacji** przy wykorzystaniu badań symulacyjnych, a także porównania ich skuteczności z innymi odpornościowymi kartami kontrolnymi tj. średniej odciętej (ang. trimmed mean) i rozstępu międzykwartylowego (ang. interquartile range), **co będzie stanowiło przedmiot dalszych badań autorki**.

W związku z powyższym przeprowadzono dodatkowe analizy rozkładów granic kontrolnych odpornościowych i klasycznych, z wykorzystaniem histogramów (przyjęto $m = 20$, $n = \{3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ i $N = 10\ 000$). Najpierw przeanalizowano zakresy zmienności dla statystyk testowych karty średniej (średnia klasyczna i odpornościowa), a także odpowiadające im granice kontrolne (rys. 4.39 - 4.41).

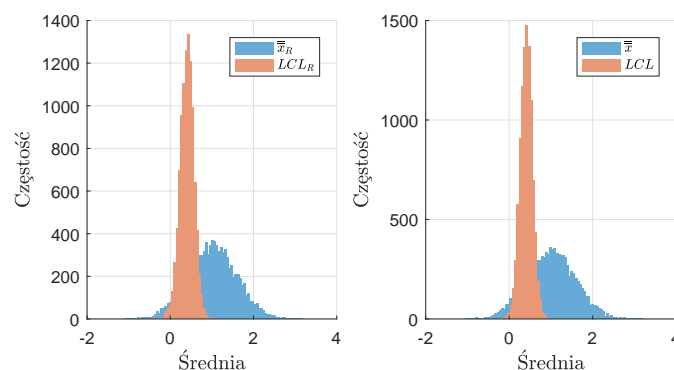


Rys. 4.39. Histogramy dla granic kontrolnych karty średnich - rozkład normalny $N(1, 1)$ (opracowanie własne)

Widać wyraźnie, że zarówno średnia klasyczna, jak i odpornościowa zachowują się podobnie, na co również wskazują wyniki badań symulacyjnych, prezentowanych w rozdz. 4.2.2 (por. rys. 4.18 i 4.25 - 4.30). Natomiast w przypadku analizy granic kontrolnych można zauważyć, że zakres zmienności jest nieco szerszy dla granic odpornościowych. Aby uwidocznić poruszony problem, dokonano analizy dodatkowych histogramów, odpowiednio dla górnych i dolnych granic kontrolnych (rys. 4.40 - 4.45), wykazując, że różnica jest bardziej wyraźna.

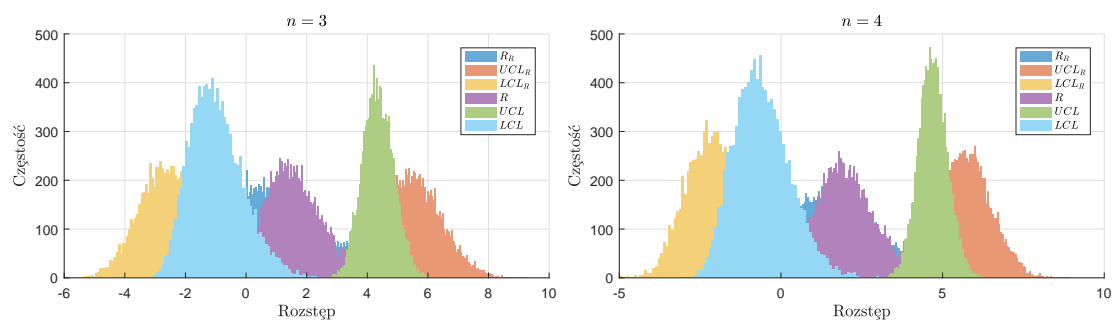


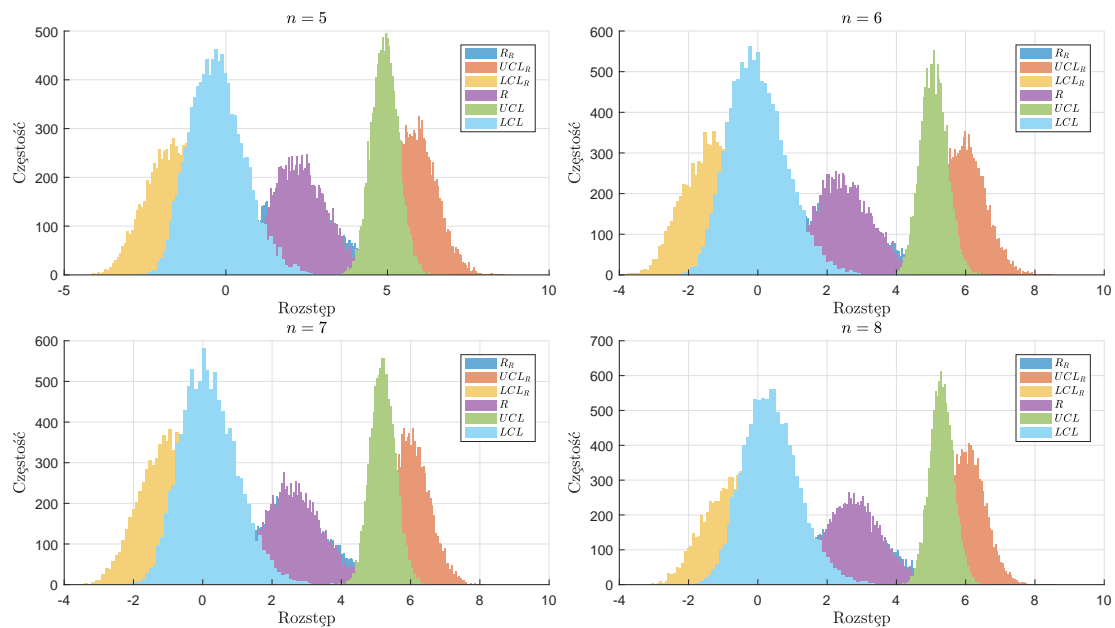
Rys. 4.40. Histogramy dla górnych granic kontrolnych karty średnich - rozkład normalny $N(1, 1)$ i $n = 3$ (opracowanie własne)



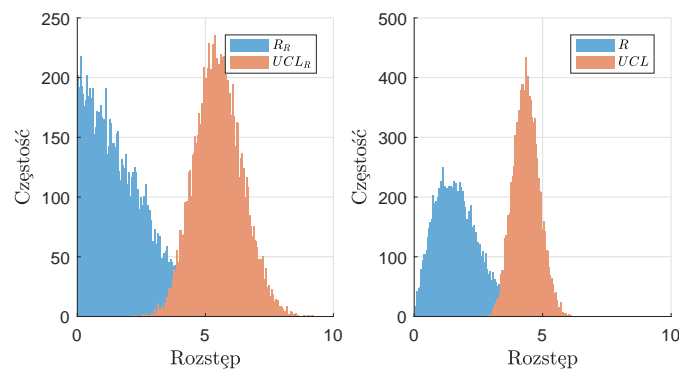
Rys. 4.41. Histogramy dla dolnych granic kontrolnych karty średnich - rozkład normalny $N(1, 1)$ i $n = 3$ (opracowanie własne)

Analogiczne podejście zastosowano w przypadku kart rozstępów (rys. 4.43).

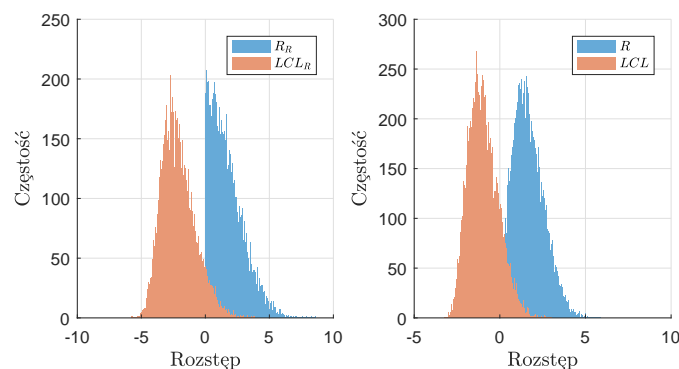




Rys. 4.43. Histogramy dla granic kontrolnych karty rozstępów - rozkład normalny $N(1,1)$ (opracowanie własne)



Rys. 4.44. Histogramy dla górnych granic kontrolnych karty rozstępów - rozkład normalny $N(1,1)$ i $n = 3$ (opracowanie własne)



Rys. 4.45. Histogramy dla dolnych granic kontrolnych karty rozstępów - rozkład normalny $N(1,1)$ i $n = 3$ (opracowanie własne)

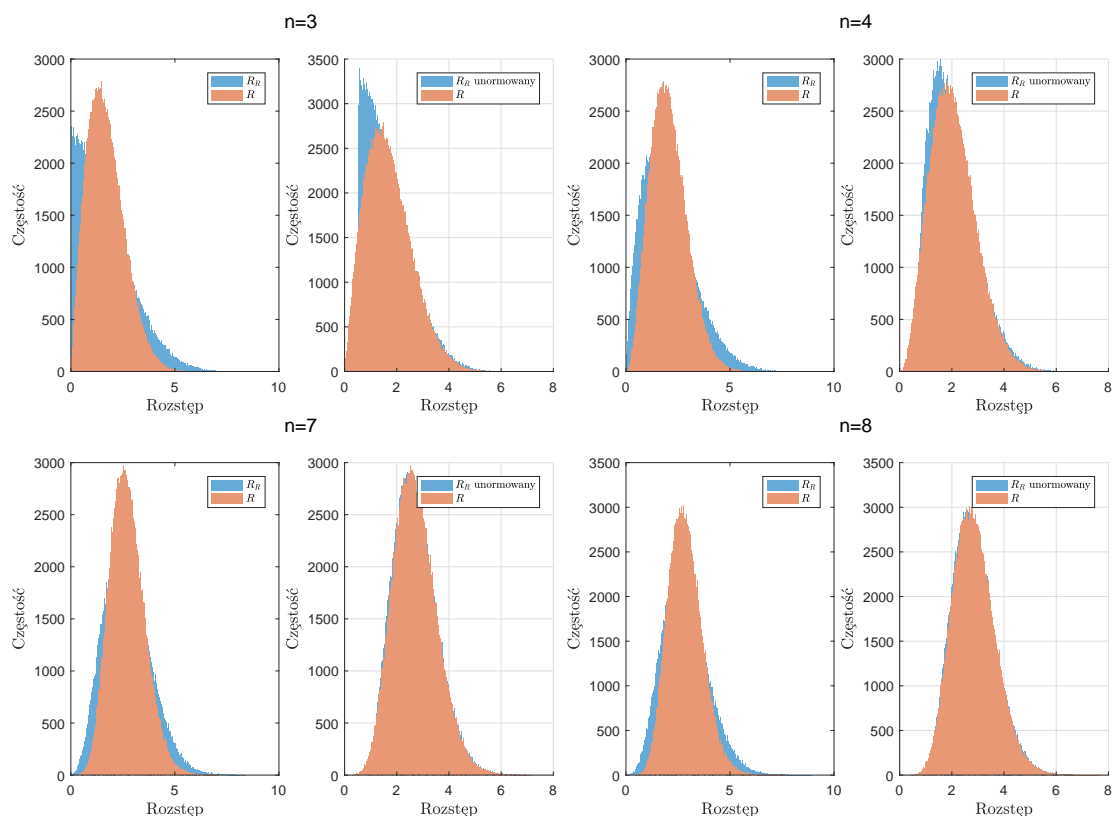
W przypadku kart rozstępów granice odpornościowe mają znacznie większy rozrzut niż granice klasyczne. W konsekwencji granice kontrolne wyznaczone są z większą niepewnością, co również udowodniono przy pomocy odpowiednich symulacji (por. rozdz.4.2.2). Przyczyną może być fakt, że rozstęp odpornościowy

stanowi przybliżenie klasycznego rozstępu, o rozkładzie z tą samą wartością oczekiwaną, ale większym rozrzucie. Rozwiązaniem tego problemu może być zmiana zakresu 3σ granic. Podejście to jednak, bez dodatkowych analiz (w celu określenia rozpiętości zmiany), w ocenie autorki, jest niewłaściwe, ponieważ zbyt duże zwiększenie zakresu granic kontrolnych, owszem, spowoduje zmniejszenie liczby fałszywych sygnałów, ale równocześnie spowoduje zmniejszenie czułości karty na sygnały świadczące o stanie niekontrolowalnym procesu. Zatem istnieje konieczność znalezienia, w sposób heurystyczny, o jaką wartość powinny być poszerzone granice kontrolne. Wyjściem może być **unormowanie**, pod względem zmienności, **rozstępu odpornościowego** poprzez wykorzystanie odpowiedniego współczynnika (zal. 4.51 i 4.52).

$$\lambda = \frac{d_3}{d_3^R}, \quad (4.51)$$

$$\lambda^* = \frac{d_3^*}{d_3^{R*}}, \quad (4.52)$$

dla rozkładów: normalnego i skośnych. W celu potwierdzenia powyższej hipotezy narysowano odpowiednie histogramy (rys. 4.46).



Rys. 4.46. Histogramy rozstępów klasycznych i odpornościowych oraz rozstępów klasycznych i znormalizowanych odpornościowych - rozkład normalny $N(1, 1)$ (opracowanie własne)

Widać wyraźnie, że podejście to umożliwiło uzyskanie zbliżonych rozkładów rozstępu odpornościowego i klasycznego. Jednakże, z uwagi na początkowe założenia odnośnie kart kontrolnych, które uwzględniają m.in. to, że nie są znane parametry procesu i są one estymowane, unormowanie rozstępu odpornościowego

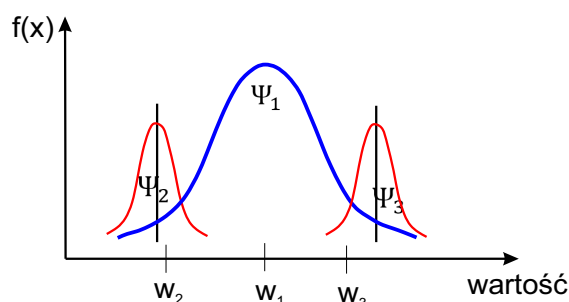
może okazać się niedostatecznie odpowiednim podejściem. W związku z powyższym, autorka, zdecydowała się na **unormowanie granic kontrolnych** (poprzez poszerzenie obszaru kontrolnego), a odpowiednie uzasadnienie matematyczne podano w dalszej części pracy. W takim ujęciu stałe normujące granice kontrolne przyjmują postać:

$$\lambda_1 = \frac{d_3^R}{d_3}, \quad (4.53)$$

$$\lambda_1^* = \frac{d_3^{R*}}{d_3^*}. \quad (4.54)$$

Matematyczne uzasadnienie normalizacji granic kontrolnych

Niech Ψ_1 , Ψ_2 i Ψ_3 będą funkcjami gęstości rozkładu prawdopodobieństwa adekwatnie procesu produkcyjnego, dolnej i górnej granicy kontrolnej (rys. 4.47).



Rys. 4.47. Schematyczne ujęcie funkcji gęstości prawdopodobieństwa procesu produkcyjnego i granic kontrolnych (opracowanie własne)

Wówczas prawdopodobieństwo przekroczenia wartości dolnej granicy kontrolnej w_2 przez wartość statystyki testowej w_1 , w przypadku karty średniej wynosi:

$$P(w_1 < w_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\Psi_2(x_2) \cdot \int_{-\infty}^{x_2} \Psi_1(x_1) dx_1 \right] dx_2. \quad (4.55)$$

Natomiast dla karty rozstępów prawdopodobieństwo to jest równe:

$$P(w_1 < w_2) = \int_0^{\infty} \left[\Psi_2(x_2) \cdot \int_0^{x_2} \Psi_1(x_1) dx_1 \right] dx_2. \quad (4.56)$$

Z kolei prawdopodobieństwo przekroczenia wartości górnej granicy kontrolnej w_3 , przez wartość statystyki testowej w_1 , zarówno dla karty średniej i rozstępu, wynosi:

$$P(w_1 > w_3) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\Psi_3(x_3) \cdot \int_{x_3}^{\infty} \Psi_1(x_1) dx_1 \right] dx_3. \quad (4.57)$$

Widać zatem wyraźnie, że w przypadku większej niepewności wyznaczania granic kontrolnych, zarówno dla dolnych (zal. 4.55 i 4.56), jak i górnych (zal. 4.57), prawdopodobieństwo przekroczenia ich przez dowolną wartość badanej statystyki wzrasta.

Odpornościowa karta średniej i rozstępu - ostateczna propozycja dla przyjętych założeń

Pomimo tego, że wartości oczekiwane statystyk klasycznych i odpornościowych są zbliżone, to dokładność odpornościowych (na podstawie rozrzutu) jest mniejsza. Dlatego, autorka sugeruje ostatecznie wykorzystanie podejścia „hybrydowego”. Oznacza to, że aby zapewnić odpowiednio niską niepewność wyznaczenia granic kontrolnych (Faza I), należy wyznaczyć je odpowiednio: dla karty średniej w oparciu o wzory klasyczne (por. zal. 3.6 lub 3.10 w zależności od rozkładu), a dla karty rozstępów według równania 4.60 lub 4.61 w zależności od rozkładu. Statystykami testowymi są, adekwatnie do typu karty, średnia klasyczna i rozstęp klasyczny. Dodatkowo, autorka w celu zmniejszenia wariantów kart kontrolnych, proponuje połączenie kart $\bar{X} - R$ i $\bar{X}_{SC} - R_{SC}$ w jedną.

Należy jednak podkreślić, że dla Fazy I statystykami testowymi są odpowiednio: klasyczna średnia i rozstęp klasyczny. Natomiast dla Fazy II statystykami testowymi są odpowiednio: odpornościowa średnia i rozstęp odpornościowy. Dla Fazy II (monitorowanie procesu), proponuje się następujące zależności dla karty średnich:

- $\kappa_3 = 0$

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{\bar{X}} + \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R}, \\ CL &= \bar{\bar{X}}, \\ LCL &= \bar{\bar{X}} - \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R}, \\ x_i &= \bar{x}_R. \end{aligned} \tag{4.58}$$

- $\kappa_3 \neq 0$

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{\bar{x}} + (3 + c_4^*)\frac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}}, \\ CL &= \bar{\bar{x}}, \\ LCL &= \bar{\bar{x}} + (-3 + c_4^*)\frac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}}, \\ x_i &= \bar{x}_R. \end{aligned} \tag{4.59}$$

A dla rozstępów zależności:

- $\kappa_3 = 0$

$$\begin{aligned} UCL &= \left[1 + 3\frac{d_3^R}{d_2}\right]\bar{R}, \\ CL &= \bar{R}, \\ LCL &= \left[1 - 3\frac{d_3^R}{d_2}\right]\bar{R}, \\ r_i &= R_R. \end{aligned} \tag{4.60}$$

- $\kappa_3 \neq 0$

$$\begin{aligned}
 UCL &= \left[1 + (3 + d_4^*) \frac{d_3^{R^*}}{d_2^*} \right] \bar{R}, \\
 CL &= \bar{R}, \\
 LCL &= \left[1 + (-3 + d_4^*) \frac{d_3^{R^*}}{d_2^*} \right]^+ \bar{R}, \\
 r_i &= R_R^*.
 \end{aligned} \tag{4.61}$$

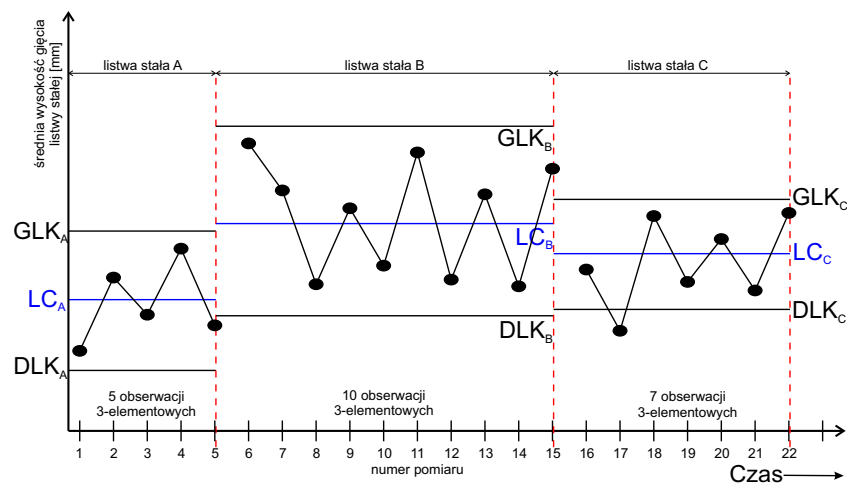
Odpornościowe karty dla produkcji wieloasortymentowej

Jak już wspomniano w rozdz. 3.3.1 i 3.3.2 w przypadku krótkich serii, w celu ograniczenia dokumentacji w postaci kart kontrolnych możliwe jest wykorzystanie standaryzowanych kart kontrolnych. Nie jest jednak znany wpływ standaryzacji na proponowane karty odpornościowe (zagadnienie to stanowi kolejny element dalszych badań), zatem autorka nie rekomenduje wykorzystania tego typu kart. Jednakże z uwagi na poruszany obszar związany z produkcją wieloasortymentową istnieje realna potrzeba propozycji rozwiązania problemu braku możliwości wykorzystania standaryzowanych kart kontrolnych. Zważywszy na postęp technologiczny i fakt, że obecnie prowadzenie kart kontrolnych odbywa się ze wsparciem informatycznym, w postaci programów bądź arkuszy kalkulacyjnych, autorka sugeruje, aby wykorzystać **kartę z ruchomymi granicami kontrolnymi**, dedykowanej dla produkcji wieloasortymentowej.

Wówczas wdrożenie i monitorowanie procesu z wykorzystaniem proponowanej karty z ruchomymi granicami kontrolnymi, sprowadza się do dwóch faz:

- **Faza I** - określenie granic kontrolnych i wprowadzenie zakresu granicy do bazy karty dla wybranej cechy/charakterystyki.
- **Faza II** - wybór odpowiedniej granicy kontrolnej badanej cechy/charakterystyki w zależności od wytwarzanego asortymentu.

Przykładowo: niech będzie analizowana cecha X - wysokość gięcia listwy stałej, wyrób A - listwa stała dla której średnia procesu gięcia wynosi μ_A z odchyleniem standardowym σ_A , B - listwa stała dla której średnia procesu gięcia wynosi μ_B z odchyleniem standardowym σ_B i C - listwa stała dla której średnia procesu gięcia wynosi μ_C z odchyleniem standardowym σ_C . Dla wyrobu A, B, B pobrano odpowiednio: 5, 10 i 7 trójelementowych obserwacji. Schemat odpornościowej karty średniej dla przytoczonego przykładu zamieszczono na rys. 4.48.



Rys. 4.48. Schemat odpornościowej karty średniej z ruchomymi granicami kontrolnymi proponowanej dla produkcji wielosortymentowej (opracowanie własne)

4.4. Porównanie klasycznych i proponowanych odpornościowych kart kontrolnych - wyniki badań symulacyjnych

Porównania klasycznych i proponowanych odpornościowych kart kontrolnych dokonano na podstawie symulacji obejmujących 16 scenariuszy doświadczeń, w których kluczową rolę odgrywa rodzaj danych przyjętych do analizy. Schemat postępowania jest analogiczny jak w segmentach I - IV części 2 badania symulacyjnego (por. rozdz. 4.2.2).

Z uwagi na fakt wyróżnienia przez autorkę dwóch typów specjalnych przyczyn zmienności (nieopłacalne i opłacalne z ekonomicznego punktu widzenia do wyeliminowania) przyjęto, że nieopłacalne przyczyny zmienności na karcie kontrolnej są niepożądane. W konsekwencji scenariusze 1-7 i 14-16 stanowią odwzorowanie tzw. sygnałów fałszywych, dla których wyznaczono prawdopodobieństwo wystąpienia α i ARL_{0B} oraz ARL_{0A} . Natomiast pozostałe scenariusze odnoszą się do sygnałów pożądanych na karcie kontrolnej, dla których określono prawdopodobieństwo wystąpienia β , a także ARL_{1B} i ARL_{1A} . W konsekwencji **oczekuje się od proponowanych odpornościowych kart**, że:

- Dla scenariusza 1 - karta będzie charakteryzowała się podobną wydajnością jak karta klasyczna, a zatem, że zostanie spełniony warunek: $\alpha_{klasyczna} \approx \alpha_{odpornościowa}$ i $ARL_{0Bklasyczna} \approx ARL_{0Bodpornościowa}$.
- Dla scenariuszy 2-7 i 14-16 - karta będzie charakteryzowała się podobną lub lepszą wydajnością niż karta klasyczna, a zatem, że zostanie spełniony warunek: $\alpha_{klasyczna} \lesssim \alpha_{odpornościowa}$ i $ARL_{0Bklasyczna} \gtrsim ARL_{0Bodpornościowa}$.
- Dla scenariuszy 8-13 - karta będzie charakteryzowała się podobną, a zatem, że zostanie spełniony warunek: $\beta_{klasyczna} \approx \beta_{odpornościowa}$ i $ARL_{1Bklasyczna} \approx ARL_{1Bodpornościowa}$.

Zestawienia wyników, uzyskanych z opisanych powyżej doświadczeń symulacyjnych Monte Carlo, zamieszczono w załączniku F.

4.4.1. Dyskusja na temat doboru próby do założenia karty kontrolnej

W pierwszej kolejności omawianej części 3 badania symulacyjnego skupiono uwagę na określeniu liczby obserwacji n -elementowych, które należy pobrać do założenia karty kontrolnej, aby określenie prawdopodobieństwa fałszywych lub prawdziwych sygnałów na karcie (a tym samym odpowiadających im wartości ARL_0 i ARL_1) było wiarygodne. W tym celu przeanalizowano wartości α i ARL_0 dla danych pozbawionych zaburzeń dla karty położenia klasycznej i odpornościowej (tab. 4.9).

Badania symulacyjne wskazują, że dla obu kart prawdopodobieństwo fałszywego sygnału α zmniejsza się wraz ze wzrostem liczby obserwacji m wykorzystanych do wyznaczenia granic kontrolnych. Dodatkowo prawdopodobieństwo to maleje również wraz ze wzrostem liczebności obserwacji n . Warto również zauważyć, że wartość α stabilizuje się dla $m = 25$ i $m = 30$. W konsekwencji w dalszej części pracy autorka ograniczyła się do analizy zachowania kart klasycznych i odpornościowych do przypadku, w którym do określenia granic kontrolnych bierze się $m = 25$ i $m = 30$ obserwacji $n = 3, 4, 5$ -elementowych.

Tabela 4.9. Wartości α i ARL_0 dla karty położenia oraz danych niezaburzonych (opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	$m=15$			$m=20$			$m=25$			$m=30$														
		x	x_R	x	x	x_R	x	x	x_R	x	x_R	x	x_R												
		α																							
		n																							
		α																							
		ARL_0																							
Normalny	0,00	0,0061	0,0063	0,0052	0,0054	0,0050	0,0051	0,0051	0,0051	0,0050	0,0051	0,0045	0,0046	0,0043	0,0043	0,0044	0,0042	0,0042	0,0041	0,0041	0,0038	0,0038	0,0036	0,0037	
Gamma	0,25	0,0062	0,0063	0,0054	0,0054	0,0050	0,0051	0,0051	0,0051	0,0050	0,0051	0,0045	0,0046	0,0043	0,0043	0,0044	0,0042	0,0042	0,0041	0,0041	0,0038	0,0038	0,0036	0,0037	
	0,50	0,0063	0,0063	0,0055	0,0054	0,0050	0,0051	0,0051	0,0051	0,0050	0,0051	0,0045	0,0046	0,0043	0,0043	0,0044	0,0042	0,0042	0,0041	0,0041	0,0038	0,0038	0,0036	0,0037	
	0,75	0,0064	0,0063	0,0055	0,0054	0,0050	0,0051	0,0051	0,0051	0,0050	0,0051	0,0045	0,0046	0,0043	0,0043	0,0044	0,0042	0,0042	0,0041	0,0041	0,0038	0,0038	0,0036	0,0037	
	1,00	0,0066	0,0067	0,0055	0,0054	0,0050	0,0051	0,0051	0,0051	0,0050	0,0051	0,0045	0,0046	0,0043	0,0043	0,0044	0,0042	0,0042	0,0041	0,0041	0,0038	0,0038	0,0036	0,0037	
	1,25	0,0068	0,0067	0,0057	0,0057	0,0051	0,0051	0,0051	0,0051	0,0050	0,0051	0,0045	0,0046	0,0043	0,0043	0,0044	0,0042	0,0042	0,0041	0,0041	0,0038	0,0038	0,0036	0,0037	
	1,50	0,0067	0,0066	0,0059	0,0057	0,0054	0,0052	0,0052	0,0052	0,0051	0,0051	0,0045	0,0046	0,0043	0,0043	0,0044	0,0042	0,0042	0,0041	0,0041	0,0038	0,0038	0,0036	0,0037	
	1,75	0,0069	0,0065	0,0060	0,0057	0,0055	0,0053	0,0052	0,0052	0,0051	0,0051	0,0045	0,0046	0,0043	0,0043	0,0044	0,0042	0,0042	0,0041	0,0041	0,0038	0,0038	0,0036	0,0037	
	2,00	0,0069	0,0068	0,0059	0,0056	0,0055	0,0053	0,0052	0,0052	0,0051	0,0051	0,0045	0,0046	0,0043	0,0043	0,0044	0,0042	0,0042	0,0041	0,0041	0,0038	0,0038	0,0036	0,0037	
Log-normalny	0,25	0,0062	0,0063	0,0054	0,0054	0,0050	0,0051	0,0051	0,0051	0,0050	0,0051	0,0045	0,0046	0,0043	0,0043	0,0044	0,0042	0,0042	0,0041	0,0041	0,0038	0,0038	0,0036	0,0037	
	0,50	0,0066	0,0065	0,0054	0,0054	0,0050	0,0051	0,0051	0,0051	0,0050	0,0051	0,0045	0,0046	0,0043	0,0043	0,0044	0,0042	0,0042	0,0041	0,0041	0,0038	0,0038	0,0036	0,0037	
	0,75	0,0070	0,0071	0,0059	0,0058	0,0053	0,0053	0,0053	0,0053	0,0052	0,0052	0,0046	0,0047	0,0044	0,0044	0,0045	0,0043	0,0043	0,0042	0,0041	0,0038	0,0038	0,0036	0,0037	
	1,00	0,0076	0,0076	0,0065	0,0064	0,0057	0,0056	0,0056	0,0056	0,0055	0,0054	0,0048	0,0049	0,0046	0,0046	0,0047	0,0045	0,0045	0,0044	0,0043	0,0040	0,0040	0,0037	0,0038	
	1,25	0,0082	0,0082	0,0068	0,0069	0,0060	0,0060	0,0060	0,0060	0,0059	0,0058	0,0052	0,0053	0,0050	0,0050	0,0051	0,0049	0,0049	0,0048	0,0047	0,0044	0,0044	0,0041	0,0042	
	1,50	0,0092	0,0091	0,0076	0,0073	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068	0,0067	0,0066	0,0060	0,0061	0,0058	0,0058	0,0059	0,0057	0,0057	0,0056	0,0055	0,0052	0,0052	0,0049	0,0050	
	1,75	0,0096	0,0095	0,0081	0,0078	0,0070	0,0068	0,0068	0,0068	0,0067	0,0066	0,0060	0,0061	0,0058	0,0058	0,0059	0,0057	0,0057	0,0056	0,0055	0,0052	0,0052	0,0049	0,0050	
	2,00	0,0101	0,0099	0,0086	0,0082	0,0075	0,0073	0,0073	0,0073	0,0072	0,0071	0,0065	0,0066	0,0063	0,0063	0,0064	0,0062	0,0062	0,0061	0,0060	0,0057	0,0057	0,0054	0,0055	
Weibulla	0,25	0,0050	0,0049	0,0045	0,0048	0,0043	0,0045	0,0044	0,0044	0,0043	0,0044	0,0038	0,0038	0,0037	0,0038	0,0037	0,0036	0,0036	0,0035	0,0035	0,0033	0,0033	0,0031	0,0031	
	0,50	0,0049	0,0050	0,0045	0,0046	0,0042	0,0044	0,0043	0,0043	0,0043	0,0039	0,0038	0,0037	0,0037	0,0036	0,0036	0,0035	0,0035	0,0034	0,0034	0,0032	0,0032	0,0030	0,0031	
	0,75	0,0051	0,0050	0,0045	0,0046	0,0042	0,0044	0,0043	0,0043	0,0043	0,0039	0,0038	0,0037	0,0037	0,0036	0,0036	0,0035	0,0035	0,0034	0,0034	0,0032	0,0032	0,0030	0,0031	
	1,00	0,0054	0,0053	0,0047	0,0048	0,0044	0,0045	0,0044	0,0044	0,0043	0,0042	0,0038	0,0038	0,0037	0,0037	0,0036	0,0035	0,0035	0,0034	0,0034	0,0032	0,0032	0,0030	0,0031	
	1,25	0,0056	0,0057	0,0050	0,0050	0,0048	0,0047	0,0047	0,0047	0,0046	0,0045	0,0040	0,0040	0,0039	0,0039	0,0038	0,0037	0,0037	0,0036	0,0036	0,0034	0,0034	0,0032	0,0033	
	1,50	0,0061	0,0060	0,0054	0,0054	0,0050	0,0049	0,0048	0,0048	0,0047	0,0046	0,0041	0,0041	0,0040	0,0040	0,0039	0,0038	0,0038	0,0037	0,0036	0,0034	0,0034	0,0032	0,0033	
	1,75	0,0064	0,0064	0,0057	0,0057	0,0054	0,0052	0,0052	0,0052	0,0051	0,0050	0,0044	0,0044	0,0043	0,0043	0,0042	0,0041	0,0041	0,0040	0,0039	0,0036	0,0036	0,0033	0,0034	
	2,00	0,0069	0,0067	0,0059	0,0057	0,0057	0,0055	0,0055	0,0055	0,0054	0,0053	0,0047	0,0047	0,0046	0,0046	0,0045	0,0044	0,0044	0,0043	0,0042	0,0039	0,0039	0,0036	0,0037	
Normalny	0,00	164,06	158,86	190,62	184,03	200,40	198,00	201,03	195,96	220,51	223,24	234,69	230,81	232,75	228,62	247,68	246,70	262,61	250,72	241,96	240,79	262,67	262,33	276,89	273,97
Gamma	0,25	160,38	159,64	184,74	184,11	199,94	197,45	197,63	197,77	223,46	216,12	234,52	233,73	220,87	221,88	236,99	239,58	250,97	254,78	241,46	246,03	259,37	254,58	266,38	273,56
	0,50	157,88	158,42	180,39	185,34	198,45	199,40	190,99	194,57	211,44	209,80	224,92	228,52	215,10	216,73	243,25	236,22	253,04	249,66	237,05	240,21	254,07	259,94	269,14	268,54
	0,75	155,24	154,17	180,83	176,58	195,77	196,10	192,12	187,88	215,87	215,38	227,95	226,86	213,56	214,82	238,98	236,29	254,10	244,38	230,87	237,47	250,25	255,92	270,23	266,54
	1,00	151,18	149,09	180,98	181,92	197,20	197,82	187,55	190,77	208,86	210,33	225,12	224,22	210,22	214,59	235,96	234,14	252,97	244,89	235,27	233,81	251,29	254,26	266,99	264,69
	1,25	146,81	148,36	174,79	171,88	195,22	199,76	186,43	180,73	208,83	211,10	222,74	221,46	208,03	213,42	233,51	239,38	248,20	254,39	234,03	239,64	251,38	257,60	262,78	269,40
	1,50	149,45	150,48	169,08	174,41	185,79	191,39	177,73	187,48	212,02	212,81	219,61	223,16	211,46	216,10	231,75	244,98	237,76	252,40	234,27	242,37	257,70	261,23	257,57	264,41
	1,75	145,72	153,20	167,21	174,46	181,14	182,92	191,55	188,01	207,10	217,44	217,32	223,86	221,36	221,75	231,75	245,49	238,95	255,92	249,07	252,40	254,65	269,00	264,27	273,71
	2,00	144,55	148,12	168,90	177,70	172,73	189,29	182,53	193,27	197,02	217,41	208,31	227,84	224,72	223,96	234,33	255,13	238,24	259,74	242,22	255,72	281,85	260,08	275,94	
Log-normalny	0,25	162,51	158,64	186,29	185,74	201,39	199,06	191,20	191,64	215,75	216,19	225,94	227,95	215,10	216,85	236,99	233,21	257,73	251,00	240,62	235,60	259,74	268,28	256,51	
	0,50	150,51	152,72	183,74	178,48	195,08	192,01	180,49	183,13	209,05	204,52	217,49	217,53	205,21	208,75	223,46	234,16	246,43	240,30	223,04	225,02	250,16	242,13	266,10	264,41
	0,75	142,26	140,50	169,91	172,10	187,00	183,03	169,91	176,24	203,36	198,77	209,97	209,84	186,79	185,91	221,93	221,85	234,52	236,66	205,91	207,97	234,82	234,06	245,25	247,31
	1,00	131,38	131,93	155,03	155,51	173,93	180,05	160,40	155,61	185,29	186,13	199,62	204,81	173,88	179,40	203,48	201,67	227,12	227,27	187,62	191,46	213,63	220,97	233,29	239,26
	1,25	122,29	122,35	147,12	145,67	165,93	167,74	144,54	145,05	168,85	173,01	184,15	190,55	159,88	162,44	182,60	189,11	205,42	215,49	172,18	171,5				

4.4.2. Dyskusja na temat metody stabilizacyjnej i wpływu liczby redukcji na wydajność karty kontrolnej

Rewilak [168] opisuje metodę stabilizacyjną wdrażania kart kontrolnych. Polega ona na tym, że w pierwszej kolejności należy zidentyfikować stan statystycznej stabilności procesu poprzez pobranie odpowiednio dużej próby. Następnie wyznacza się granice kontrolne przy wykorzystaniu odpowiednich równań (w zależności od wybranego typu karty kontrolnej) i nanosi się odpowiednie statystyki testowe. Dalej należy sprawdzić czy statystyki te mieszczą się w granicach tolerancji i podejmuje się decyzję na temat stanu statystycznej kontroli procesu według schematu [168]:

- W przypadku, gdy statystyki testowe **mieszczą się w granicach tolerancji** należy uznać **proces** za **kontrolowalny** i przyjąć wyznaczone granice do etapu jego monitorowania.
- W sytuacji, gdy statystyki testowe **nie mieszczą się w granicach tolerancji** możliwe są dwie sytuacje:
 - pojedyncze statystyki testowe przekroczyły granice kontrolne - wówczas należy usunąć je z danych i powtórnie wyznaczyć granice kontrolne, zgodnie ze schematem opisanym powyżej (liczba redukcji=1),
 - więcej statystyk testowych przekroczyło granice kontrolne - zatem należy dokonać identyfikacji przyczyn zaburzenia, wyeliminować je, a następnie na nowo wyznaczyć granice kontrolne, zgodnie ze schematem opisanym powyżej (liczba redukcji=0).

W związku z powyższym autorka przeprowadziła symulacje, mające na celu sprawdzenie wpływu możliwej redukcji statystyk testujących na fałszywe sygnały na karcie kontrolnej (tab.4.10 i 4.11).

Tabela 4.10. Wartości α i ARL_0 dla karty położenia oraz danych niezaburzonych - maksymalna liczba redukcji 0 (opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	m=25						m=30						
		n												
		3		4		5		3		4		5		
x	x_R	x	x_R	x	x_R	x	x_R	x	x_R	x	x_R	x	x_R	
α														
Normalny	0,00	0,0043	0,0044	0,0040	0,0041	0,0038	0,0040	0,0041	0,0042	0,0038	0,0038	0,0036	0,0037	
Gamma	0,25	0,0045	0,0045	0,0042	0,0042	0,0040	0,0039	0,0041	0,0041	0,0039	0,0039	0,0038	0,0037	
	0,50	0,0046	0,0046	0,0041	0,0042	0,0040	0,0040	0,0042	0,0042	0,0039	0,0038	0,0037	0,0037	
	0,75	0,0047	0,0047	0,0042	0,0042	0,0039	0,0041	0,0043	0,0042	0,0040	0,0039	0,0037	0,0039	
	1,00	0,0048	0,0047	0,0042	0,0043	0,0040	0,0041	0,0043	0,0043	0,0040	0,0039	0,0037	0,0038	
	1,25	0,0048	0,0047	0,0043	0,0042	0,0040	0,0039	0,0043	0,0042	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	
	1,50	0,0047	0,0046	0,0043	0,0041	0,0042	0,0040	0,0043	0,0041	0,0039	0,0038	0,0039	0,0038	
	1,75	0,0045	0,0045	0,0043	0,0041	0,0042	0,0039	0,0040	0,0040	0,0039	0,0037	0,0038	0,0037	
	2,00	0,0045	0,0045	0,0043	0,0039	0,0042	0,0039	0,0041	0,0039	0,0039	0,0035	0,0038	0,0036	
Log-normalny	0,25	0,0046	0,0046	0,0042	0,0043	0,0039	0,0040	0,0042	0,0042	0,0039	0,0040	0,0037	0,0039	
	0,50	0,0049	0,0048	0,0045	0,0043	0,0041	0,0042	0,0045	0,0044	0,0040	0,0041	0,0038	0,0038	
	0,75	0,0054	0,0054	0,0045	0,0045	0,0043	0,0042	0,0049	0,0048	0,0043	0,0043	0,0041	0,0040	
	1,00	0,0058	0,0056	0,0049	0,0050	0,0044	0,0044	0,0053	0,0052	0,0047	0,0045	0,0043	0,0042	
	1,25	0,0063	0,0062	0,0055	0,0053	0,0049	0,0046	0,0058	0,0058	0,0050	0,0048	0,0045	0,0044	
	1,50	0,0068	0,0069	0,0058	0,0056	0,0052	0,0051	0,0064	0,0063	0,0055	0,0053	0,0050	0,0047	
	1,75	0,0073	0,0071	0,0063	0,0061	0,0057	0,0054	0,0069	0,0067	0,0059	0,0057	0,0053	0,0050	
	2,00	0,0077	0,0077	0,0067	0,0064	0,0062	0,0057	0,0074	0,0070	0,0062	0,0060	0,0058	0,0055	
Weibulla	0,25	0,0035	0,0034	0,0033	0,0035	0,0033	0,0035	0,0030	0,0033	0,0030	0,0032	0,0031	0,0034	
	0,50	0,0033	0,0035	0,0033	0,0034	0,0033	0,0035	0,0031	0,0031	0,0030	0,0032	0,0032	0,0033	
	0,75	0,0035	0,0036	0,0033	0,0035	0,0034	0,0035	0,0031	0,0031	0,0031	0,0031	0,0033	0,0032	
	1,00	0,0037	0,0036	0,0034	0,0035	0,0034	0,0035	0,0032	0,0032	0,0031	0,0032	0,0033	0,0032	
	1,25	0,0038	0,0037	0,0037	0,0036	0,0035	0,0036	0,0035	0,0033	0,0033	0,0033	0,0032	0,0033	
	1,50	0,0041	0,0039	0,0037	0,0038	0,0038	0,0037	0,0036	0,0035	0,0034	0,0034	0,0035	0,0033	
	1,75	0,0042	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0037	0,0037	0,0037	0,0036	0,0035	0,0037	0,0034	
	2,00	0,0045	0,0044	0,0042	0,0039	0,0043	0,0038	0,0042	0,0039	0,0039	0,0035	0,0039	0,0035	
ARL_0														
Normalny	0,00	232,75	228,62	247,68	246,70	262,61	250,72	241,96	240,79	262,67	262,33	276,89	273,97	

Kontynuacja na kolejnej stronie

		m=25						m=30					
		n											
		3		4		5		3		4		5	
Rozkład	κ_3	x	x_R	x	x_R	x	x_R	x	x_R	x	x_R	x	x_R
Gamma	0,25	220,87	221,88	236,99	239,58	250,97	254,78	241,46	246,03	259,37	254,58	266,38	273,56
	0,50	215,10	216,73	243,25	236,52	253,04	249,66	237,05	240,21	254,07	259,94	269,14	268,24
	0,75	213,56	214,82	238,98	236,29	254,10	244,38	230,87	237,47	250,25	255,92	270,23	256,54
	1,00	210,22	214,59	235,96	234,14	252,97	244,89	235,27	233,81	251,29	254,26	266,99	264,69
	1,25	208,03	213,42	233,51	239,38	248,20	254,39	234,03	239,64	251,38	257,60	262,78	269,40
	1,50	211,46	216,10	231,75	244,98	237,76	252,40	234,27	242,37	257,70	261,23	257,57	264,41
	1,75	221,36	221,75	231,35	245,49	238,95	255,92	249,07	252,40	254,65	269,00	264,27	273,71
2,00	224,72	223,96	234,33	255,13	238,24	259,74	242,22	256,11	255,72	281,85	260,08	275,94	
Log-normalny	0,25	215,10	216,85	236,99	233,21	257,73	251,00	240,62	235,60	259,74	249,75	268,28	256,51
	0,50	205,21	208,75	223,46	234,16	246,43	240,30	223,04	225,02	250,16	242,13	266,10	264,41
	0,75	186,79	185,91	221,93	221,85	234,52	236,66	205,91	207,97	234,82	234,06	245,25	247,31
	1,00	173,88	179,40	203,48	201,67	227,12	227,27	187,62	191,46	213,63	220,97	233,29	239,26
	1,25	159,48	162,44	182,60	189,11	205,42	215,49	172,18	171,50	198,16	208,62	220,65	229,25
	1,50	146,31	145,89	171,70	179,04	191,35	197,78	156,21	159,88	182,50	187,07	200,58	214,36
	1,75	136,92	141,22	157,88	164,16	176,65	185,46	144,82	149,99	169,31	176,82	187,14	201,53
2,00	129,33	130,67	149,22	155,17	161,85	176,57	135,93	143,11	160,90	165,62	172,53	181,24	
Weibulla	0,25	285,71	291,93	305,44	286,94	302,76	285,35	335,51	304,37	327,98	309,69	323,15	295,38
	0,50	298,82	286,37	301,57	292,18	300,12	288,73	326,05	327,28	330,31	316,41	311,72	303,12
	0,75	284,41	276,93	298,73	287,32	296,65	283,01	318,12	321,44	327,23	317,81	307,55	308,74
	1,00	273,34	277,62	290,32	281,89	290,57	283,49	309,79	314,42	325,63	309,65	299,85	307,79
	1,25	262,67	268,28	269,47	276,40	284,45	276,24	289,27	306,61	299,49	304,69	310,17	299,81
	1,50	241,49	254,49	270,31	264,31	266,67	269,43	275,71	288,77	292,27	294,99	288,23	298,77
	1,75	235,63	248,88	247,43	251,92	252,21	273,26	269,76	271,48	277,78	283,01	273,82	296,34
2,00	223,81	226,53	235,93	254,23	234,22	263,26	240,38	257,77	255,23	289,10	254,68	286,41	

Tabela 4.11. Wartości α i ARL_0 dla karty położenia oraz danych niezaburzonych - maksymalna liczba redukcji 1 (opracowanie własne)

		m=25						m=30					
		n											
		3		4		5		3		4		5	
Rozkład	κ_3	x	x_R	x	x_R	x	x_R	x	x_R	x	x_R	x	x_R
α													
Normalny	0,00	0,0050	0,0050	0,0043	0,0044	0,0040	0,0042	0,0043	0,0045	0,0040	0,0040	0,0039	0,0039
Gamma	0,25	0,0050	0,0051	0,0044	0,0045	0,0042	0,0042	0,0046	0,0046	0,0042	0,0041	0,0038	0,0040
	0,50	0,0052	0,0050	0,0045	0,0045	0,0042	0,0042	0,0045	0,0047	0,0042	0,0043	0,0038	0,0039
	0,75	0,0052	0,0052	0,0045	0,0045	0,0041	0,0041	0,0048	0,0049	0,0042	0,0042	0,0039	0,0040
	1,00	0,0053	0,0053	0,0045	0,0046	0,0043	0,0043	0,0048	0,0047	0,0043	0,0042	0,0040	0,0038
	1,25	0,0054	0,0054	0,0047	0,0046	0,0043	0,0043	0,0049	0,0049	0,0043	0,0043	0,0041	0,0039
	1,50	0,0055	0,0055	0,0048	0,0046	0,0044	0,0042	0,0047	0,0048	0,0044	0,0042	0,0041	0,0038
	1,75	0,0052	0,0051	0,0047	0,0045	0,0044	0,0041	0,0047	0,0046	0,0042	0,0041	0,0041	0,0039
2,00	0,0052	0,0050	0,0046	0,0044	0,0046	0,0041	0,0048	0,0045	0,0042	0,0039	0,0041	0,0038	
Log-normalny	0,25	0,0051	0,0051	0,0045	0,0045	0,0042	0,0042	0,0047	0,0046	0,0042	0,0041	0,0039	0,0040
	0,50	0,0053	0,0053	0,0046	0,0048	0,0044	0,0043	0,0048	0,0048	0,0044	0,0044	0,0040	0,0040
	0,75	0,0059	0,0059	0,0050	0,0049	0,0044	0,0045	0,0054	0,0053	0,0046	0,0046	0,0043	0,0043
	1,00	0,0064	0,0064	0,0053	0,0053	0,0048	0,0046	0,0057	0,0058	0,0049	0,0049	0,0046	0,0043
	1,25	0,0072	0,0072	0,0060	0,0057	0,0052	0,0050	0,0066	0,0065	0,0054	0,0052	0,0048	0,0047
	1,50	0,0081	0,0079	0,0063	0,0062	0,0056	0,0053	0,0073	0,0073	0,0059	0,0059	0,0052	0,0051
	1,75	0,0086	0,0085	0,0071	0,0068	0,0060	0,0058	0,0079	0,0079	0,0064	0,0062	0,0057	0,0054
2,00	0,0092	0,0090	0,0075	0,0071	0,0066	0,0063	0,0085	0,0084	0,0071	0,0067	0,0061	0,0059	
Weibulla	0,25	0,0038	0,0039	0,0037	0,0037	0,0034	0,0037	0,0035	0,0035	0,0033	0,0034	0,0032	0,0034
	0,50	0,0039	0,0038	0,0035	0,0037	0,0036	0,0037	0,0034	0,0034	0,0032	0,0034	0,0032	0,0033
	0,75	0,0039	0,0039	0,0036	0,0037	0,0035	0,0036	0,0034	0,0035	0,0033	0,0032	0,0033	0,0035
	1,00	0,0042	0,0042	0,0037	0,0037	0,0037	0,0038	0,0035	0,0036	0,0034	0,0035	0,0034	0,0035
	1,25	0,0045	0,0042	0,0038	0,0040	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0036	0,0036	0,0035	0,0034
	1,50	0,0047	0,0046	0,0042	0,0039	0,0040	0,0039	0,0041	0,0041	0,0037	0,0037	0,0037	0,0035
	1,75	0,0049	0,0049	0,0044	0,0043	0,0043	0,0040	0,0045	0,0042	0,0039	0,0037	0,0039	0,0036
2,00	0,0053	0,0052	0,0047	0,0042	0,0044	0,0043	0,0048	0,0046	0,0043	0,0038	0,0042	0,0037	
ARL_0													
Normalny	0,00	199,68	200,36	234,66	226,50	249,75	240,27	230,34	220,95	250,50	248,69	257,53	255,79
Gamma	0,25	200,58	197,86	228,75	223,49	239,18	239,87	217,01	219,71	239,81	245,49	260,25	252,91
	0,50	192,25	199,44	223,64	222,40	239,09	236,21	220,12	211,24	237,30	234,08	263,23	255,66
	0,75	191,88	194,12	220,02	221,36	241,28	243,13	209,25	204,75	237,25	239,38	253,87	248,91
	1,00	189,77	189,38	224,32	219,30	232,94	234,69	209,07	212,99	234,49	237,93	252,11	260,21
	1,25	185,05	184,52	212,20	217,13	233,32	233,75	205,82	205,09	233,73	233,95	244,05	258,83
	1,50	183,10	182,18	208,12	217,75	227,66	238,12	211,13	208,03	226,42	239,58	243,99	261,34
	1,75	192,60	195,81	212,97	224,69	226,78	241,55	211,33	215,22	237,36	245,19	245,19	258,30
2,00	191,59	199,50	218,75	228,15	219,49	241,93	208,90	221,07	236,21	255,26	243,07	266,52	
Log-normalny	0,25	197,82	194,70	223,44	222,49	240,79	238,78	211,95	217,30	240,30	244,38	258,70	252,21
	0,50	189,65	187,86	218,25	210,28	227,51	232,45	206,83	208,12	228,70	225,84	249,88	249,22
	0,75	169,32	170,88	200,34	203,42	226,63	220,77	185,60	189,09	218,91	216,94	234,66	232,77
	1,00	155,73	157,36	187,97	187,00	208,42	215,19	174,13	171,78	204,90	205,17	219,30	230,39
	1,25	138,67	139,44	167,46	176,21	192,53	201,76	150,77	155,01	184,93	190,62	206,80	210,68
	1,50	123,55	126,17	159,45	162,13	177,04	189,14	136,47	137,00	168,28	169,22	191,24	197,16
	1,75	116,67	117,50	140,48	146,05	166,72	172,31	126,98	125,87	156,23	160,88	175,18	184,66
2,00	109,24	111,17	132,89	140,01	150,69	158,30	117,12	119,14	140,83	149,42	162,76	170,39	
Weibulla	0,25	260,18	254,10	273,37	273,34	297,18	271,04	287,69	283,89	303,72	291,67	314,51	297,31
	0,50	256,18	261,06	286,49	273,94	279,41	268,38	291,33	293,34	312,45	293,99	308,02	299,63
	0,75	256,18	257,17	279,13	268,78	285,39	274,12	290,40	289,02	305,44	309,26	307,17	289,35
	1,00	240,59	237,98	270,75	270,09	271,63	265,78	287,11	277,97	296,47	289,73	295,20	284,94
	1,25	224,39	237,93	260,08	252,43	260,59	262,09	264,45	265,04	280,78	275,60	285,84	290,49
	1,50	211,91	218,72	239,89	257,53	249,10	257,10	241,93	241,11	269,61	273,52	271,41	286,66
	1,75	202,35	205,30	225,86	234,11	232,77	249,38	223,81	237,81	258,87	268,10	254,39	278,78
2,00	189,34	193,76	213,81	235,88	224,79	234,49	206,50	215,49	231,75	260,86	239,32	269,47	

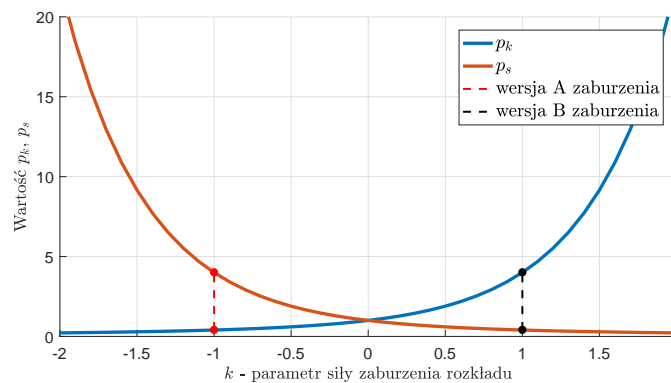
Wyniki symulacji pokazują, że w przypadku redukcji pojedynczych statystyk przekraczających granice kontrolne w fazie I (wdrażania karty) powodują nieznaczny wzrost sygnałów fałszywych α . Jest to spowodowane zwiężeniem odległości górnej i dolnej granicy kontrolnej od linii centralnej (por. wyniki szczegółowe z zał. F). Zatem w dalszej części analiz odrzucono scenariusz umożliwiający redukcję statystyk testowych w fazie I.

4.4.3. Karta położenia

Zawarte w załączniku F wyniki przeprowadzonych i opisanych powyżej badań symulacyjnych, wbrew oczekiwaniom, nie dały jednoznacznego potwierdzenia postawionej hipotezy o tym, że proponowana odpornościowa karta średniej jest lepsza od klasycznej, ponieważ dla przyjętych scenariuszy zarówno klasyczne, jak i odpornościowe karty, zachowują się podobnie. W konsekwencji autorka przeprowadziła dodatkową analizę wrażliwości kart klasycznych i odpornościowych. W tym celu został określony dodatkowy parametr k opisujący siłę zaburzenia rozkładu. Dla zaburzenia stałą parametr k przyjmuje wprost wartość tej stałej (dane niezaburzone $k = E(\mu)$). Dla zaburzenia rozkładem parametr k definiuje wartości p_k i p_s rozkładu zaburzającego (dane niezaburzone $k = 0$). Zależności pomiędzy p_k i p_s , a parametrem k określono za pomocą wyrażeń (rys. 4.49):

$$p_k = \frac{1.55^k + 6.45^k}{2}, \quad (4.62)$$

$$p_s = \frac{1.55^{-k} + 6.45^{-k}}{2}. \quad (4.63)$$



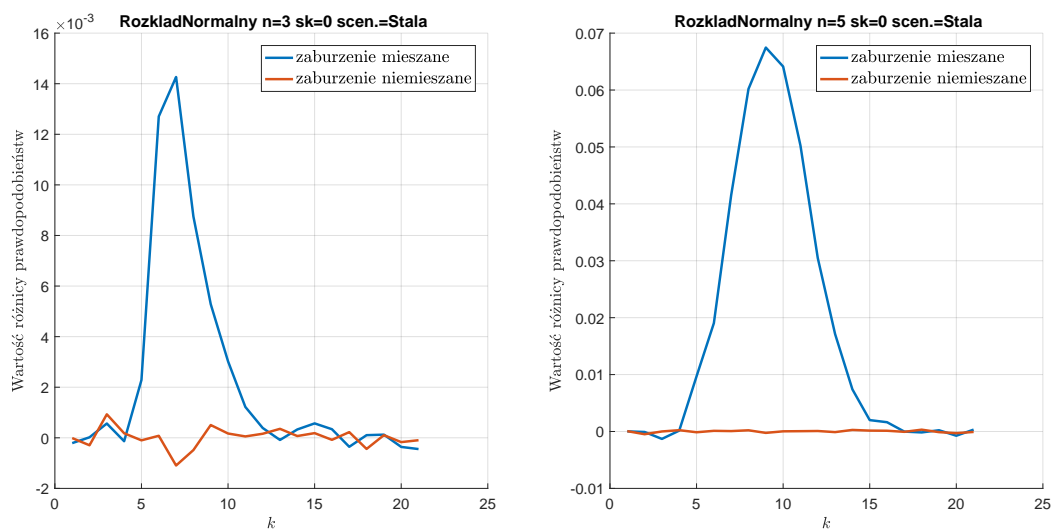
Rys. 4.49. Wartość parametru siły zaburzenia k w zależności od wartości parametrów p_k i p_s rozkładu zaburzającego (opracowanie własne)

Na początku przeanalizowano wpływ poszczególnych zaburzeń (wersja mieszana z udziałem procentowym danych zaburzających 10%) na klasyczną kartę średnich w celu określenia zakresów parametru k . Wyniki tych analiz w postaci odpowiednich wykresów zamieszczono w zał.C.3. Na podstawie wygenerowanych danych wyciągnięto wnioski:

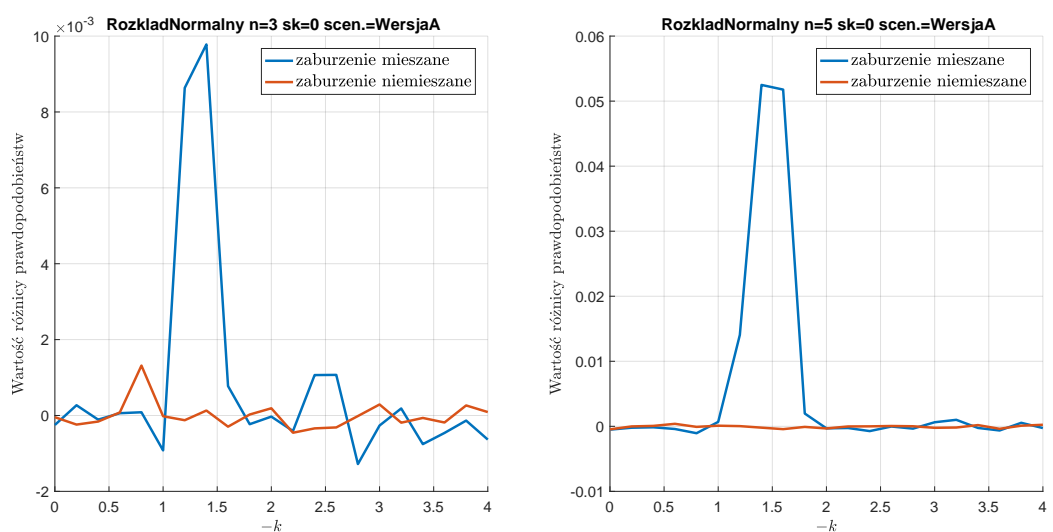
- **Zaburzenie w wersji A** powoduje mniejszą, w stosunku do pozostałych przypadków, zmianę prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie dla rozkładu gamma dla skośności $\kappa_3 = 2$ (ok. 3 razy dla $n = 3$ i $n = 5$).
- **Zaburzenie w wersji B** nie ma istotnego wpływu na zmianę prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału dla rozkładu Weibulla bez względu na skośność.

W związku z powyższym przypadki te nie zostały uwzględnione w dalszych analizach.

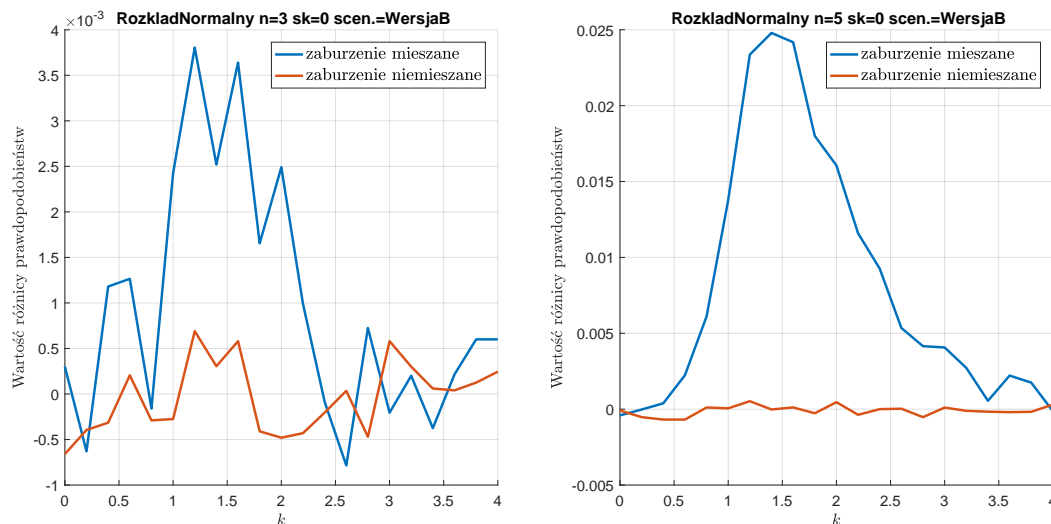
W następnym kroku (z liczbą eksperymentów $M = 1000$), w celu określenia wrażliwości klasycznych i odpornościowych kart kontrolnych na pojawiające się zaburzenia, a także potwierdzenia hipotezy odnoszącej się do skuteczności proponowanych kart kontrolnych (zał.4.58 - 4.59). Na rys. 4.50 - 4.52 przedstawiono wykresy różnic pomiędzy prawdopodobieństwami wystąpienia sygnału na karcie dla karty klasycznej i odpornościowej dla scenariuszy z zaburzeniem odpowiednio mieszanym oraz niemieszanym (odwzorowujących nie- i ekonomicznie uzasadnione do wyeliminowania przyczyny zmienności) dla rozkładu normalnego. Wykresy dla pozostałych rozkładów zamieszczono w zał. E.1.



Rys. 4.50. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład normalny oraz zaburzenie stałą (opracowanie własne)



Rys. 4.51. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład normalny oraz zaburzenie rozkładem w wersji A (opracowanie własne)



Rys. 4.52. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład normalny oraz zaburzenie rozkładem w wersji B (opracowanie własne)

Na podstawie wykresów z rys. 4.50 - 4.52 sformułowano następujące wnioski:

- Dla zaburzeń niemieszanych i wszystkich typów zaburzeń oraz wartości n proponowana karta średnich ma podobną wydajność jak karta klasyczna dla całego badanego zakresu siły zaburzenia k .
- Dla zaburzeń mieszanych, z poniższym wyjątkiem, proponowana karta jest mniej czuła na pojawiające się zakłócenia w ograniczonych zakresach siły zaburzenia k oraz ma podobną wydajność poza tymi zakresami.
- Dla zaburzeń mieszanych i niemieszanych, $n = 3$ oraz zaburzenia rozkładem w wersji B różnica pomiędzy kartami jest statystycznie nieistotna z uwagi na duży szum różnic prawdopodobieństw.
- Dla danych niezaburzonych karta odpornościowa i klasyczna charakteryzują się nierozróżnialną czułością (por. zaburzenia w wersji A i B dla $k = 0$).

Dla pozostałych rozkładów (zał. E.1) stwierdzono:

- Statystycznie nieistotną różnicę pomiędzy proponowaną odpornościową, a klasyczną kartą średniej dla rozkładu: Weibulla ($n = 3$ i $\kappa_3 = 0, 25$ oraz $\kappa_3 = 2$) z zaburzeniem rozkładem w wersji A, a także log-normalnego ($n = 3, n = 5$ i $\kappa_3 = 2$) z zaburzeniem rozkładem w wersji B.
- Analogicznie jak dla rozkładu normalnego, dla pozostałych rozkładów proponowana karta jest mniej czuła na pojedyncze zakłócenia (scenariusze zaburzeń mieszanych) w ograniczonych zakresach siły zaburzenia k oraz ma podobną wydajność poza tymi zakresami.
- Dla zaburzeń niemieszanych karty wykazują czułość na podobnym poziomie dla całego badanego zakresu siły zaburzenia k .
- Tak samo jak dla rozkładu normalnego w przypadku zaburzenia w wersji A, B i $k = 0$ karta odpornościowa i klasyczna wykazują podobną czułość (przypadek niezaburzony).

Należy zwrócić uwagę na przesunięcie się maksimum krzywej niebieskiej (odwzorowującej różnicę czułości karty dla zaburzenia mieszane) dla obserwacji 3-elementowych względem 5-elementowych. Wynika to z faktu, że wraz ze wzrostem liczności obserwacji n trudniej jest zaburzyć wartość średniej próbkowej, a w konsekwencji uzyskać sygnał na karcie kontrolnej.

Powyższe wnioski potwierdzają postawioną hipotezę, że proponowana odpornościowa karta średniej jest bardziej wiarygodna od klasycznej, ponieważ częściowo ignoruje pojedyncze sygnały przy jednoczesnym braku utraty czułości na sygnały, które powinny zostać wykrywalne. Warto również podkreślić, że fakt zmniejszenia czułości w ograniczonych zakresach siły zaburzenia k stanowi dodatkowy atut proponowanej karty, ponieważ rzeczywiście ignorowane są sygnały będące wynikiem nieznacznych odchyłeń (w postaci pojedynczych sygnałów i nieznacznej siły zaburzenia) od prawidłowego przebiegu procesu. Tym samym zmniejsza się prawdopodobieństwo podejmowania zbędnych działań regulujących proces.

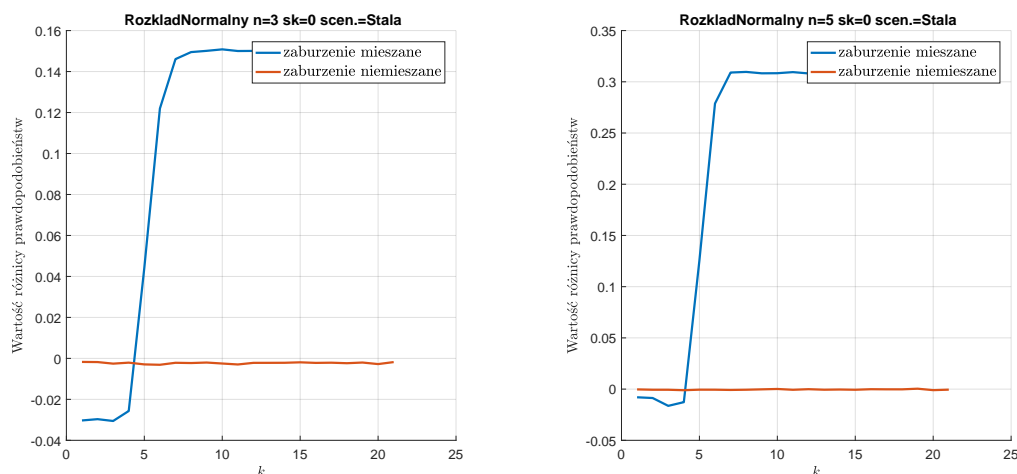
4.4.4. Karta zmienności

Analogicznie jak dla karty położenia potwierdzenie przyjętej hipotezy dotyczącej skuteczności proponowanych rozwiązań rozpoczęto od określenia wpływu poszczególnych zaburzeń na kartę klasyczną rozstępów w celu określenia zakresów parametru k (por. rozdz.4.4.3). Wyniki zamieszczono w zał. D.1. Na podstawie danych symulacyjnych można stwierdzić, że:

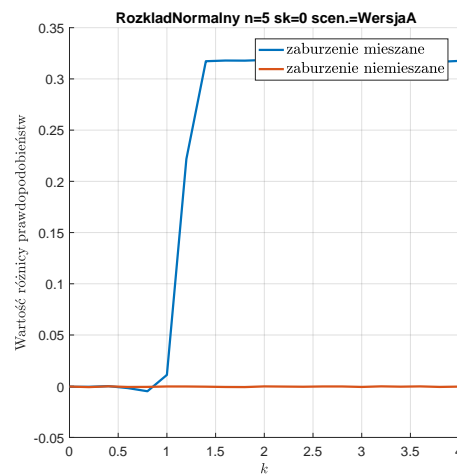
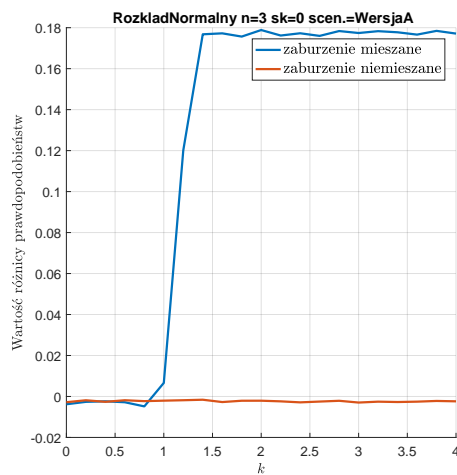
- **Zaburzenie w wersji B** nie powoduje istotnego zaburzenia rozkładu gamma dla skośności $\kappa_3 = 0,25$.
- **Zaburzenie w wersji B** tak jak w przypadku karty średniej nie powoduje istotnego zaburzenia rozkładu Weibulla bez względu na skośność.

Zatem w dalszej części analizy wykluczono powyższe scenariusze.

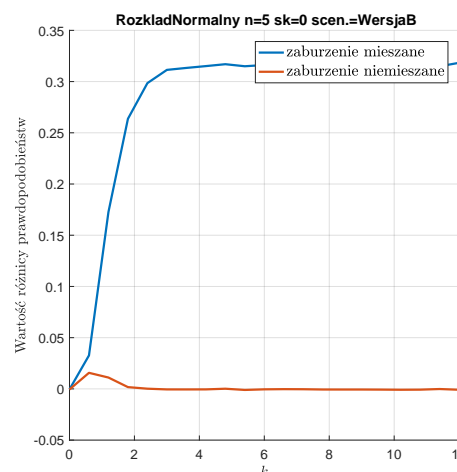
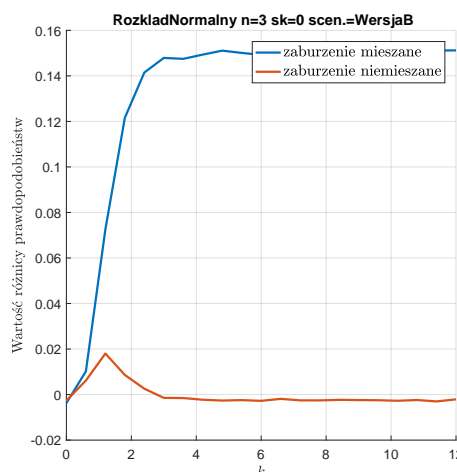
Dalej analiza następowała analogicznie jak w przypadku kart średnich. Na rys. 4.53 - 4.55 przedstawiono wykresy różnic prawdopodobieństw wystąpienia sygnału na karcie dla karty klasycznej i odpornościowej dla scenariuszy z zaburzeniem odpowiednio mieszanym oraz niemieszanym. Wykresy dla pozostałych rozkładów zamieszczono w zał.E.2.



Rys. 4.53. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępu dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład normalny oraz zaburzenie stałą (opracowanie własne)



Rys. 4.54. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępu dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład normalny oraz zaburzenie rozkładem w wersji A (opracowanie własne)



Rys. 4.55. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępu dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład normalny oraz zaburzenie rozkładem w wersji B (opracowanie własne)

Z wykresów (rys. 4.53 - 4.55) wynikają następujące wnioski:

- Tak samo jak w przypadku karty średniej dla zaburzeń niemieszanych stałą oraz rozkładem w wersji A, a także rozważanych wartości n proponowana karta rozstępu ma podobną wydajność jak karta klasyczna dla całego badanego zakresu siły zaburzenia k .
- Dla zaburzeń niemieszanych rozkładem w wersji B wydajność odpornościowej karty rozstępu jest taka sama dla $k > 3$ ($n = 3$) i odpowiednio $k > 2$ ($n = 5$). Dla wartości mniejszych wydajność jest mniejsza. Powodem tego jest przypuszczalnie niedoskonałość przyjętej normalizacji granic kontrolnych, co jest słabą stroną tego podejścia.
- Dla zaburzeń mieszanych, z wyłączeniem zaburzenia stałą, proponowana karta jest mniej czuła na pojawiające się zakłócenia w całym zakresie k . W przypadku zaburzenia stałą odpornościowa karta rozstępu jest mniej czuła w ograniczonym zakresie. W zakresie $k < 4,5\sigma$ karta odpornościowa jest

bardziej czuła na zaburzenia mieszane, co stanowi niedoskonałość proponowanego podejścia. Niedoskonałość ta zanika wraz ze wzrostem n .

- Dla danych niezaburzonych karta odpornościowa i klasyczna charakteryzują się nierozróżnialną czułością (por. zaburzenia w wersji A i B dla $k = 0$).

Dodatkowo w przypadku kart rozstępu i rozkładu normalnego zauważono, że dla zaburzeń mieszanych wartość różnicy prawdopodobieństw jest znacznie większa, niż w przypadku kart położenia i stabilizuje się od pewnych zakresów siły zaburzenia k .

Dla pozostałych rozkładów (zał. E.2) można stwierdzić, że:

- Dla zaburzenia stałą (wszystkie przypadki) wnioski są takie same jak dla rozkładu normalnego.
- Dla danych niezaburzonych karta odpornościowa i klasyczna charakteryzują się nierozróżnialną czułością (por. zaburzenia w wersji A i B dla $k = 0$).
- Dla pozostałych przypadków, z wyłączeniem zaburzenia w wersji A rozkładu gamma ($\kappa_3 = 2$), odpornościowa karta rozstępu jest mniej czuła na mieszane zakłócenia w całym zakresie k .
- Generalnie karta odpornościowa w ujęciu sygnałów niemieszanych zachowuje się niejednoznacznie - w zależności od zakresu stałej zaburzającej k , scenariusza i rozkładu odpornościowa karta wykazuje mniejszą lub większą czułość niż klasyczna. Należy jednak podkreślić, że różnica w czułości karty odpornościowej względem klasycznej jest zawsze większa dla zaburzeń mieszanych, niż niemieszanych, co uzasadnia potencjalną stosowalność tej karty. Innymi słowy przeważa zysk w tłumieniu sygnałów pojedynczych w stosunku, do utraty wydajności w detekcji sygnałów niemieszanych.

Powyższe wnioski potwierdzają hipotezę, że proponowana odpornościowa karta rozstępu jest bardziej wiarygodna od klasycznej. Wyjątek stanowią ograniczone zakresy siły zaburzenia k dla zaburzenia stałą, a także przypadek zaburzenia w wersji A rozkładu gamma ($\kappa_3 = 2$) dla całego zakresu siły zaburzenia k .

5. Metoda statystycznego sterowania jakością w produkcji wieloasortymentowej

5.1. Opis metody

W rozdziale opisano metodę statystycznego sterowania jakością w produkcji wieloasortymentowej, która cechuje się dużą różnorodnością wyrobów z uwagi na parametry *KPC*. Dodatkowym ograniczeniem dla prezentowanej metody jest krótki przebieg produkcyjny, powtarzalny sezonowo (zgodnie z zamówieniami klienta), a częstotliwość próbkowania zdefiniowana zgodnie z analizowanymi *KPC*. Elementy nowości opisywanej metody stanowi **wykorzystanie cyklu DMAIC**, umożliwiającą doskonalenie procesu, a także **wykorzystanie**, proponowanych przez autorkę, rozwiązań w postaci **odpornościowych kart kontrolnych** i oceny stabilności procesu z wykorzystaniem analizy **Nested ANOVA**.

W celu opracowania metody autorka zwróciła uwagę na następujące problemy:

1. **Problem 1:** W jaki sposób skutecznie monitorować stabilność procesu, tak aby nie podejmować zbędnych działań korygujących lub doskonalących?

Propozycja rozwiązania: Wykorzystanie odpornościowych kart kontrolnych i cykliczna analiza zmienności długoterminowej (analiza wariancji Nested ANOVA). Autorka rekomenduje wykorzystanie odpornościowych kart kontrolnych z wykorzystaniem *M*-estymatorów i krzywą logistyczną (por. rozdz. 4.3). Zadaniem proponowanych kart kontrolnych jest ignorowanie niewielkich błędów, których eliminacja jest ekonomicznie nieopłacalna przy jednoczesnej reakcji na poważne błędy, które należy zidentyfikować i wyeliminować. Dodatkowo autorka rekomenduje cykliczną analizę procentowego udziału zmienności długoterminowej w zmienności całkowitej, jako dodatkowe kryterium oceny stabilności procesu, które jest zgodne z podejściem proponowanym przez koncepcję Six Sigma (por. rozdz.3.2).

2. **Problem 2:** W jaki sposób prowadzić dokumentację w postaci kart kontrolnych w przypadku produkcji wieloasortymentowej?

Propozycja rozwiązania: Wykorzystanie odpornościowych kart kontrolnych z ruchomymi granicami kontrolnymi (por. rozdz. 4.3). W odniesieniu do postępu technologicznego, a także tego, że systemy informatyczne stanowią integralną część procesów wytwórczych, sugeruje się tworzenie baz z wartościami granic kontrolnych dla poszczególnych grup asortymentowych wyrobów. Grupy te są ustalane w oparciu o pokrywające się operacje, natomiast wyroby, w obrębie grupy asortymentowej, różnią się między sobą

wartościami analizowanych *KPC*.

3. **Problem 3:** W jaki sposób wdrożyć poprawnie metodę statystycznego sterowania jakością w produkcji wielosortymentowej?

Propozycja rozwiązania: Autorka sugeruje wprowadzenie i jednocześnie stosowanie proponowanej metody z wykorzystaniem cyklu *DMAIC* (por. tab. 3.4), dzięki czemu gwarantuje się uporządkowane podejście do analizy i rozwiązania problemów jakościowych.

5.2. Szczegółowy algorytm metody

Prezentowana metoda (rys. 5.1 i zał. F) składa się z czterech etapów:

1. **Etap I** - obejmujący **przygotowanie i wdrożenie kart kontrolnych**, a także **bieżącą ocenę zdolności jakościowej** dla procesów produkcyjnych, charakteryzujących się krótkimi przebiegami i dużą różnorodnością *KPC*. Etap ten obejmuje dwie fazy cyklu *DMAIC* - „definiuj” (*D*; Define) i „mierz” (*M*; Measure). Następuje tutaj określenie celów na które składają się stabilizacja procesu i określenie poziomu zdolności jakościowej, a także ocena bieżącego stanu analizowanych procesów w oparciu o dane procesowe.

W etapie tym wyszczególniono następujące elementy:

- **Faza definiuj**

- Wybór procesów produkcyjnych podlegających statystycznemu sterowaniu jakością.
- Analiza procesów i identyfikację kluczowych operacji z punktu widzenia jakości dla poszczególnych typów wyrobów. Tutaj należy poznać procesy produkcyjne, w tym procesy technologiczne oraz poszczególne operacje. W zależności od złożoności procesu produkcyjnego należy dokonać jego analizy w oparciu o jego opis lub z wykorzystaniem mapy procesu.
- Grupowanie typów wyrobów z uwagi na pokrywające się operacje. Etap ten jest istotny z punktu widzenia kart kontrolnych, ponieważ w konsekwencji dążenia do ograniczenia dokumentacji produkcyjnej na jednej karcie kontrolnej następuje analiza stabilności *KPC* kilku wariantów wyrobu. Np. na wskazanej karcie kontrolnej znajduje się analiza stabilności *KPC* dla różnych wariantów wyrobu. Zatem możliwe jest, że jeden wariant wyrobu będzie znajdował się w kilku grupach.
- Określenie priorytetowych potrzeb i wymagań klientów dla poszczególnych typów wyrobów. Aspekt ten jest konieczny do uwzględnienia z uwagi na to, że nie wszystkie cechy/charakterystyki poszczególnych typów wyrobów muszą być kontrolowane. Podobnie jak w ujęciu klasycznym należy zwrócić uwagę na te cechy/charakterystyki wyrobu które są kluczowe z punktu widzenia klienta, a także innych względów tj. bezpieczeństwo.

- **Faza mierz**

- Określenie *KPC*, które będą podlegały analizie dla poszczególnych typów wyrobów (x_1, x_2, \dots, x_n) . Wskazanie tych *KPC* opiera się na

priorytetowych potrzebach i wymaganiach klientów, które zostały wybrane w poprzednim etapie.

- Określenie definicji operacyjnych *KPC* dla poszczególnych typów wyrobów. Definicje operacyjne stanowią wymagania stawiane wyrobom tj. zakresy tolerancji.
- Analiza *MSA* z udziałem operatora, która powinna zostać przeprowadzona zgodnie z algorytmem z rys. 3.46. W przypadku, gdy system pomiarowy nie jest zdolny istotne jest dokonanie jego doskonalenia. Zignorowanie faktu niezdolności systemu pomiarowego wiąże się z tym, że przeprowadzone w kolejnych etapach analizy będą niewiarygodne. Działania inicjowane, w oparciu o wyniki takich analiz, mogą prowadzić do pogorszenia przebiegów procesów.
- Założenie arkuszy kontrolnych dla poszczególnych *KPC*.
- Wstępna ocena stabilności procesu na podstawie histogramów. Dodatkowo można również wspomóc tę analizę o wykresy kwantyl-kwantyl ($Q - Q$). Etap ten jest istotny z punktu widzenia ustalenia charakteru rozkładu danych pomiarowych, a w konsekwencji wyboru odpowiednich typów kart kontrolnych czy też wzorów niezbędnych do określenia zdolności jakościowej procesu. Zgodnie z przeglądem literatury (por. rozdz. 3.3.1) nie zawsze rozkład normalny opisuje naturę procesów. Może bowiem zdarzyć się sytuacja, w której do ich opisu bardziej odpowiednie będą rozkłady skośne, wówczas należy określić współczynnik skośności κ_3 .
- Wybór odpowiedniego typu karty kontrolnej. Typowanie karty powinno opierać się przede wszystkim o rodzaj badanych *KPC* (ocena alternatywna lub ocena liczbowa) i skośność rozkładu (wyrażonego poprzez współczynnik skośności κ_3), a także podobnie jak w ujęciu klasycznym o częstotliwość poboru próby oraz jej liczebność. Z uwagi na fakt, że w niniejszej rozprawie ograniczono się do produkcji wieloasortymentowej, to przyjmuje się niewielką liczebność próby ($n < 10$). W konsekwencji autorka rekomenduje wybór kart przy ocenie alternatywnej p lub u (por. zal. 3.14 - 3.15), a dla oceny liczbowej karty odpornościowe $X_R - R_R$ (por. zal. 4.58 - 4.61).
- Zebranie odpowiedniej liczby obserwacji m , składających się z n pomiarów. Badania symulacyjne autorki (wyniki zaprezentowane w rozdz. 4.4.1) pokazują, że w przypadku estymacji granic kontrolnych, aby zagwarantować ich wiarygodność, należy pobrać co najmniej 25 obserwacji 3-elementowych.
- Wyznaczenie granic kontrolnych w oparciu o dane pomiarowe zebrane w aktualnym arkuszu kontrolnym. Podobnie jak w podejściu klasycznym możliwe jest wyznaczenie granic w oparciu o historyczne dane pomiarowe. Granice kontrolne należy obliczyć wykorzystując odpowiednie wzory, adekwatne do wybranego wcześniej typu karty kontrolnej.
- Naniesienie statystyk testowych, wyznaczonych w oparciu o zebrane, w aktualnym arkuszu kontrolnym, pomiary na kartę kontrolną (adekwatnie do wybranego wcześniej typu karty kontrolnej), dla której granice kontrolne zostały wyznaczone wg schematu opisanego powyżej.

- Sprawdzenie alarmów (przekroczenia granic). W tym momencie następuje określenie czy bieżący przebieg procesu można uznać za statystycznie stabilny. W przypadku, gdy nie zostały odnotowane sygnały należy przyjąć wyliczone granice kontrolne do dalszych analiz. W sytuacji, gdy statystyki testowe przekroczą je, w zależności od ilości alarmów należy albo zidentyfikować i wyeliminować przyczynę specjalną zmienności (sytuacja, gdy przekroczeń jest dużo) lub ponownie zebrać dane i wyznaczyć ponownie nowe wartości granic kontrolnych (pojedyncze alarmy). W klasycznym ujęciu tzw. metody stabilizacyjnej wdrażania kart kontrolnych sugeruje się usunięcie pojedynczych obserwacji przekraczających granice kontrolne (por. Rewilak [168]). Jednakże wyniki badań symulacyjnych, przeprowadzonych przez autorkę, wyraźnie pokazują, że podejście to będzie skutkowało nieznacznym zwiększeniem tzw. fałszywych sygnałów, które wynikają z przyjęcia naturalnej zmienności procesu w zakresie $\pm 3\sigma$ (por. 4.4.2). Jednakże z uwagi na produkcję wieloasortymentową dąży się do ograniczenia sygnałów fałszywych, a także alarmów będących następstwem niewielkich błędów, które są nieekonomiczne do eliminacji.
- Wprowadzenie wyznaczonych granic do bazy dla każdego *KPC*. Granice zapisane w bazie zostaną wywołane na etapie kontroli (monitorowania) stabilności procesu, z wykorzystaniem karty z ruchomymi granicami kontrolnymi.
- Obliczenie wskaźników zdolności jakościowej (wybór odpowiedniego na podstawie skośności rozkładu *KPC*). W tym momencie dokonywana jest ocena aktualnej zdolności jakościowej. Podobnie jak dla analizy stabilności procesu przewiduje się dwie możliwości wyznaczenia wskaźników zdolności jakościowej. Dla rozkładu symetrycznego (normalnego) ich wartość należy wyznaczyć na podstawie zal. 3.19 - 3.20. Natomiast w przypadku rozkładów skośnych, autorka rekomenduje wykorzystanie metody Clements'a (por. zal. 3.27) zmodyfikowanej o metodę percentyli Burra (w ujęciu klasycznym percentyle odczytywane są z krzywych Pearsona). Powodem jest udowodniona symulacyjnie przez Kovářík i Sarga [116] ich skuteczność w przypadku charakterystyk o rozkładzie innym niż normalny (a w szczególności skośnym) i małej liczebności próby. Dodatkowym atutem stojącym za rekomendacją autorki tych mierników stanowi prostota obliczeniowa. Więcej na temat podejścia można znaleźć w pracy Kovářík i Sarga [116], a także Czabak-Górskiej i Kucińskiej [A8].
- Wprowadzenie do bazy wyznaczonych wskaźników zdolności jakościowych, dzięki czemu możliwa będzie analiza skuteczności prowadzonych działań usprawniających (korygujących i/lub doskonalących).
- Zdefiniowanie i potwierdzenie celów, mających na celu poprawę analizowanych procesów - przykładowo zwiększenie zdolności jakościowej.

2. Etap II - obejmujący wdrożenie kart kontrolnych i przygotowanie do doskonalenia procesu i odpowiadający fazie „analizuj” (A; Analyse) cyklu

DMAIC.

Na tym etapie dokonywana jest ocena stabilności procesu na podstawie kart kontrolnych (dla których wartość granic kontrolnych została ustalona w etapie poprzedzającym). W tym miejscu należałoby określić które z testów konfiguracji zostaną wykorzystane do oceny stabilności (por. tab. 3.9 i 3.10)), jednakże z uwagi na fakt, że w metodzie uwzględniono krótkie serie produkcyjne (realizowane zgodnie ze zleceniami klientów), klasyczne testy konfiguracji mogą okazać się nieskuteczne. Istnieje zatem konieczność modyfikacji istniejących lub propozycji nowych testów. **Zagadnienie to nie stanowi jednak przedmiotu analizy niniejszej rozprawy i stanowi obszar zagadnień, które powinien zostać podjęty w dalszych pracach.** W konsekwencji proponowana metoda ogranicza się jedynie do oceny stabilności procesów na podstawie przekroczeń granic kontrolnych przez statystyki testowe. Dodatkowym kryterium oceny stabilności procesu stanowi analiza udziału procentowego zmienności długoterminowej w zmienności całkowitej (analiza Nested ANOVA).

W etapie II należy wyszczególnić następujące kroki:

- Analiza stabilności procesu w oparciu o monitorowanie bieżące procesów z wykorzystaniem karty z ruchomymi granicami kontrolnymi (por. rozdz. 4.3). Nanoszenie statystyk testowych (wyznaczonych na podstawie aktualnych obserwacji) odbywa się zgodnie z zamówieniami, a tym samym realizacją zleceń - tzn. dla każdego typu wyrobu w pierwszej kolejności należy pobrać z bazy wartość ustalonych granic kontrolnych, a następnie zostają naniesione bieżące wartości statystyk testowych. Jeżeli proces jest uznany za niestabilny można dodatkowo wykonać analizę Nested ANOVA, w celu określenia czy przyczyną problemów jakościowych może okazać się przebrojenie maszyn (statystycznie istotna różnica pomiędzy średnimi dla partii produkcyjnych). Szczegóły dotyczące analizy Nested ANOVA autorka opisała w rozdz. 5.3.
 - Obliczenie wskaźników zdolności jakościowej dla wszystkich *KPC* i ocena, czy procesy spełniają stawiane im wymagania.
 - Identyfikacja potencjalnych źródeł zmienności. Etap ten ma na celu określenie możliwych, potencjalnych przyczyn problemów jakościowych.
3. **Etap III** - stanowiący **doskonalenie procesu**. Etap ten odpowiada fazie „doskonał” (*I*; Improve) cyklu *DMAIC*. Sugeruje się, aby doskonalenie procesu również przebiegało zgodnie z cyklem *DMAIC*, co zagwarantuje uporządkowane podejście do pojawiającego się problemu. Warto tutaj wspomnieć, że nie należy trzymać się sztywno wszystkich faz cyklu *DMAIC*, ponieważ może się okazać, że wystarczy wykorzystać jedynie fazy *AIC* (analizuj - doskonał- kontroluj).

Na etap ten który składają się:

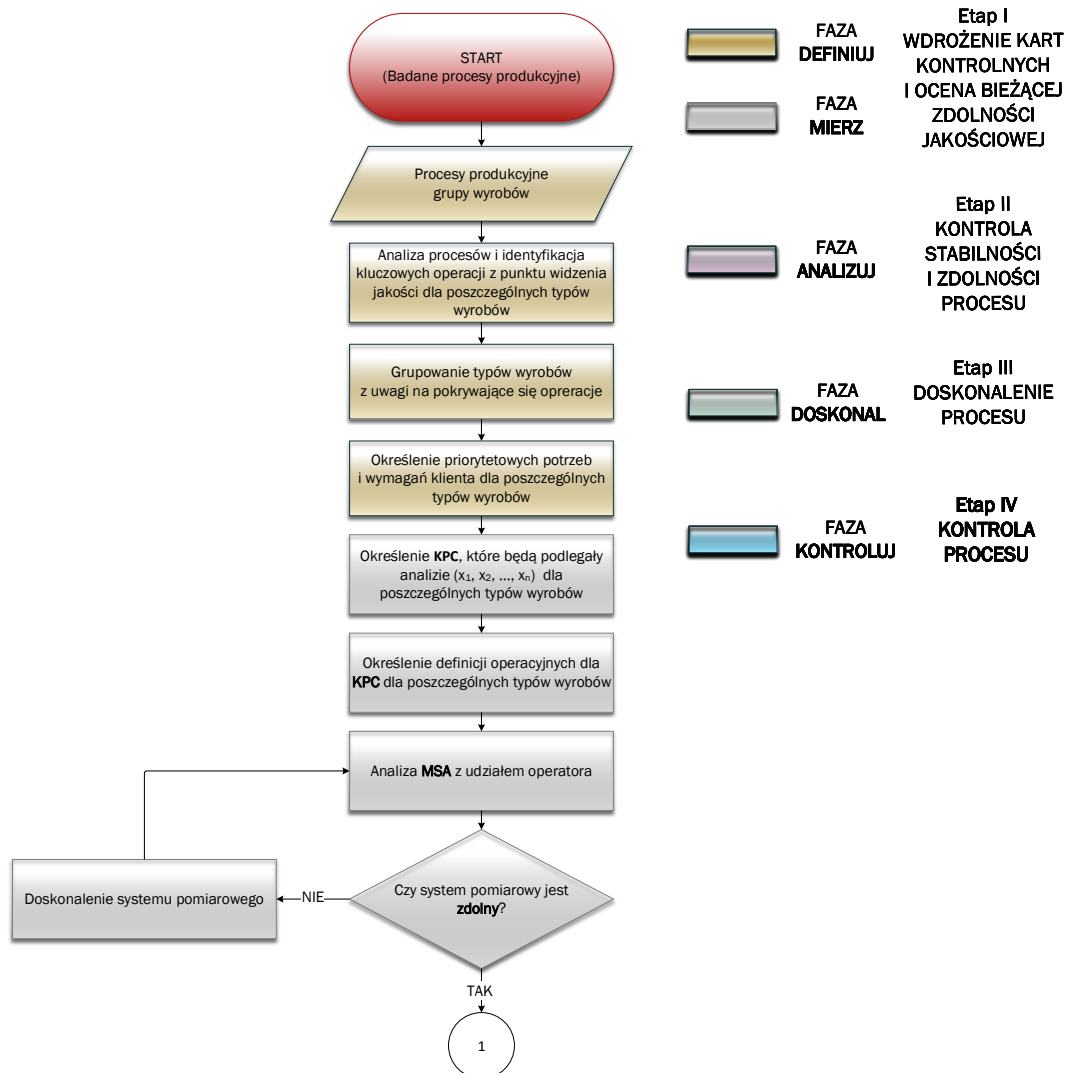
- Wybór istotnych czynników wpływu (źródeł zmienności), które powodują problemy jakościowe i które powinny zostać wyeliminowane (specjalne przyczyny zmienności) lub zredukowany ich wpływ (losowe przyczyny zmienności).
- Eliminacja istotnych czynników wpływu (źródeł zmienności) - działania usprawniające.

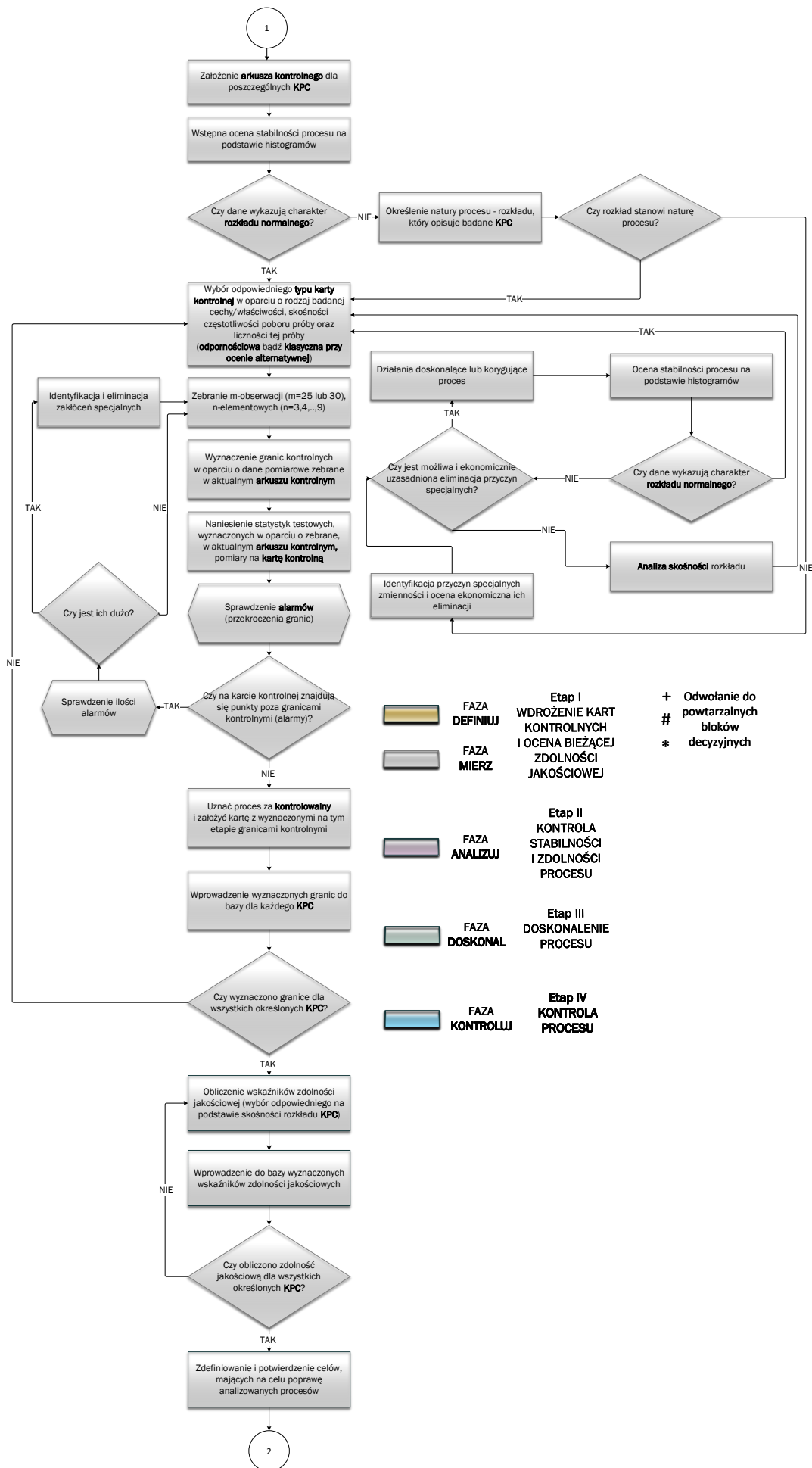
- Test pilotażowy działań usprawniających. Na test ten składa się ocena stabilności procesu (karta kontrolna i analiza Nested ANOVA) i ocena zdolności jakościowej procesu po wprowadzeniu działań usprawniających.

4. **Etap IV** - stanowiący **kontrolę (monitorowanie) procesu** (faza „kontroluj” (C; Control) cyklu *DMAC*). Monitorowanie procesu obejmuje:

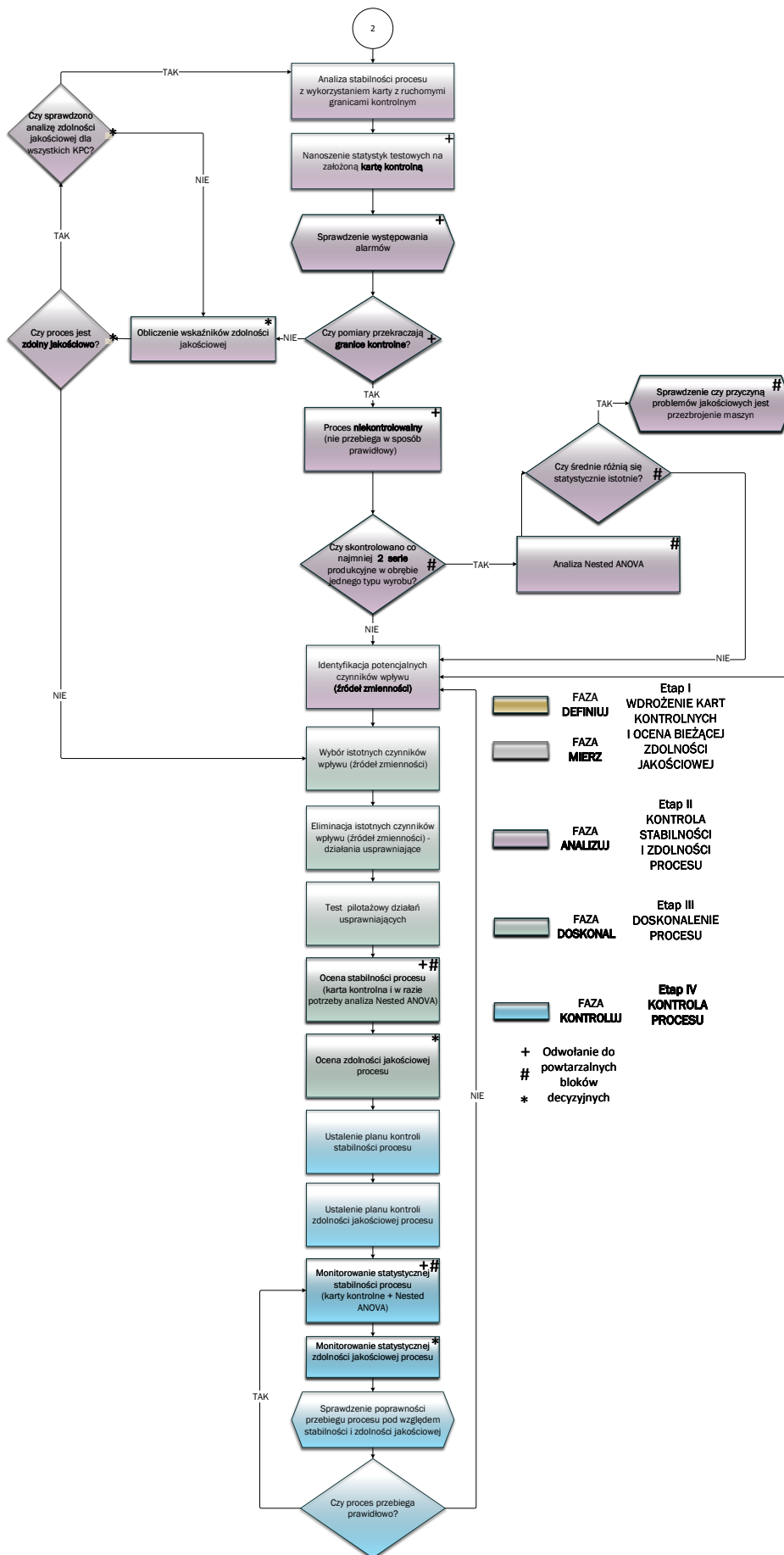
- Ustalenie planu kontroli stabilności i zdolności jakościowej.
- Monitorowanie statystycznej stabilności procesu (karty kontrolne i Nested ANOVA) oraz zdolności jakościowej procesu.

Warto również zauważyć, że zgodnie z algorytmem opisanym powyżej i z rys. 5.1, nie zawsze wykorzystywany będzie pełny cykl *DMAC*, może się bowiem okazać, że zostanie on ograniczony, w określonym okresie czasu, do faz np. *DMAC* ze względu na to, że proces jest stabilny i zdolny jakościowo.





	FAZA DEFINIOWANIE	Etap I WDRÓŻENIE KART KONTROLNYCH I OCENA BIEŻĄCEJ ZDOLNOŚCI JAKOŚCIOWEJ	+ Odwołanie do powtarzalnych bloków
	FAZA MIERZENIE		# powtarzalnych bloków
	FAZA ANALIZOWANIE	Etap II KONTROLA STABILNOŚCI I ZDOLNOŚCI PROCESU	* decyzyjnych
	FAZA DOSKONALENIE	Etap III DOSKONALENIE PROCESU	
	FAZA KONTROLOWANIE	Etap IV KONTROLA PROCESU	



Rys. 5.1. Proponowana metoda statystycznego sterowania procesem w produkcji wielosortymentowej (opracowanie własne)

W tab. 5.1 zestawiono działania, narzędzia i metody, które mogą zostać wykorzystane w proponowanej metodzie statystycznego sterowania procesem w produkcji wieloasortymentowej. Propozycje te należy traktować jako narzędzia i rozwiązania wspomagające i uzupełniające proponowaną metodę zaprezentowaną na rys. 5.1. Z uwagi na fakt, że podejścia te są znane w literaturze, to autorka nie podaje szczegółowych informacji, które można znaleźć w pracach m.in. Oaklanda [150], Montgomery [139] czy Hamrola [87].

Tabela 5.1. Działania, narzędzia i metody wspomagające, które mogą zostać wykorzystane w proponowanej metodzie statystycznego sterowania procesem (opracowanie własne)

Lp.	Faza cyklu	Działania	Narzędzia i metody
1	2	3	4
1.	Definiuj Define	D1. Mapowanie procesów D2. Identyfikacja kluczowych operacji z punktu widzenia jakości D3. Grupowanie wyrobów z uwagi na pokrywające się operacje D4. Identyfikacja interesariuszy (wewnętrznych i zewnętrznych)	ND1. Mapa procesu ND2. Opis słowny procesu ND3. Diagram <i>SIPOC</i> ND4. <i>QFD</i>
2.	Mierz Measure	M1. Wybór <i>CTQ</i> i określenie <i>KPC</i> dla poszczególnych wyrobów M2. Określenie definicji operacyjnych dla <i>CTQ</i> i <i>KPC</i> M3. Ocena zdolności systemu pomiarowego M4. Identyfikacja rozkładu poszczególnych <i>KPC</i> M5. Założenie karty kontrolnej (Faza I) M6. Ocena aktualnej zdolności jakościowej M7. Definicja i potwierdzenie celów jakościowych	NM1. Pomiary <i>KPC</i> (arkusze zbierania danych) NM2. Analiza <i>MSA</i> NM3. Histogram, wykres kwantylkwantyl NM4. Karty kontrolne (w zależności od rodzaju cechy - proponowane odpornościowe lub przy ocenie alternatywnej) NM5. Wskaźniki zdolności jakościowej (dla rozkładu normalnego klasyczne, dla rozkładów skośnych wskaźniki bazujące o metodę Clements'a zmodyfikowaną o metodę percentyli Burra) NM6. <i>FMEA</i>
3.	Analizuj Analyze	A1. Ocena stabilności procesu (karty kontrolne i cykliczna analiza Nested ANOVA) A2. Ocena zdolności jakościowej procesu A3. Podjęcie decyzji o wprowadzeniu bądź nie działań usprawniających (potwierdzenie osiągnięcia założonych celów)	NA1. Karty kontrolne (w zależności od rodzaju cechy - proponowane odpornościowe lub przy ocenie alternatywnej) NA2. Wskaźniki zdolności jakościowej (dla rozkładu normalnego klasyczne, dla rozkładów skośnych wskaźniki bazujące o metodę Clements'a zmodyfikowaną o metodę percentyli Burra) NA3. Analiza Nested ANOVA NA4. Diagram Ishikawy

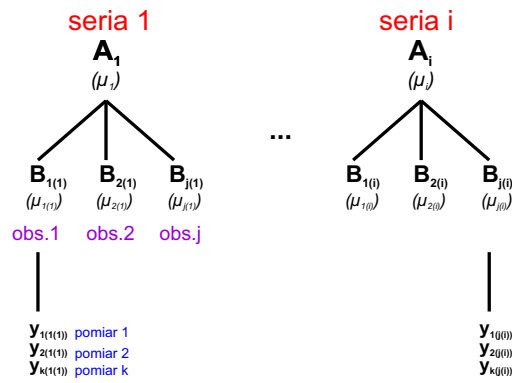
Kontynuacja na kolejnej stronie

1	2	3	4
4.	Doskonał Improve	I1. Wybór i eliminacja istotnych źródeł zmienności I2. Test pilotażowy działań usprawniających I3. Ocena stabilności procesu (karty kontrolne i cykliczna analiza Nested ANOVA) I4. Ocena zdolności jakościowej procesu	NI1. FMEA NI2. Histogram, wykres kwantyl-kwantyl NI3. Karty kontrolne (w zależności od rodzaju cechy - proponowane odpornościowe lub przy ocenie alternatywnej) NI4. Wskaźniki zdolności jakościowej (dla rozkładu normalnego klasyczne, dla rozkładów skośnych wskaźniki bazujące o metodę Clements'a zmodyfikowaną o metodę percytyli Burra) NI5. Analiza Nested ANOVA
5.	Kontroluj Control	C1. Ustalenie planu kontroli C2. Wdrożenie planu kontroli	NC1. Plan zbierania danych NC2. Pomiary (arkusze zbierania danych) NC3. Karty kontrolne (w zależności od rodzaju cechy - proponowane odpornościowe lub przy ocenie alternatywnej) NC4. Wskaźniki zdolności jakościowej (dla rozkładu normalnego klasyczne, dla rozkładów skośnych wskaźniki bazujące o metodę Clements'a zmodyfikowaną o metodę percytyli Burra) NC5. Analiza Nested ANOVA

5.3. Określenie procentowego udziału zmienności długoterminowej - analiza Nested ANOVA

Jak już wcześniej wspomniano, Snee i Hoerl [190] podkreślają, że zgodnie z koncepcją Six Sigma zmienność długoterminowa powinna stanowić nie więcej niż 20% zmienności całkowitej (por. rozdz. 3.2), aby stabilność procesu nie wymagała podjęcia działań usprawniających. W tym celu autorka niniejszej rozprawy rekomenduje wykorzystanie analizy wariancji Nested ANOVA - hierarchiczna analiza ANOVA. Dodatkowo analiza Nested ANOVA może zostać wykorzystana do testowania hipotezy o możliwości wpływu przebrojenia maszyn na deregulację procesu.

McDonald [135] sugeruje wykorzystanie hierarchicznej analizy ANOVA (ang. Nested ANOVA) w celu testowania różnic pomiędzy średnimi między grupami, a także między podgrupami w grupach. Według autora hierarchiczna analiza wariancji stanowi rozszerzenie jednoczynnikowej analizy wariancji, w której każda grupa podzielona jest na podgrupy [135]. W takim ujęciu obserwacja n -elementowa jest zagnieżdżona w partii produkcyjnej (ang. batch) - rys. 5.2.



Rys. 5.2. Idea dwuczynnikowej analizy Nested ANOVA w aspekcie zmienności (opracowanie własne na podstawie [164])

Quinn i Keouhg [164] podają następujący liniowy model i parametry dla dwuczynnikowej analizy Nested ANOVA:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{j(i)} + \varepsilon_{ijk}, \quad (5.1)$$

gdzie: y_{ijk} - k -ty czynnik z j -tej podgrupy B(A) wewnątrz i -tej grupy A, μ - średnia całkowita (stała) zmiennej odpowiedzi, α_i - efekt i -tej grupy wyrażony jako różnica pomiędzy średnią dla każdej grupy A i średnią całkowitą ($\mu_i - \mu$), $\beta_{j(i)}$ - efekt dla j -tej podgrupy B(A) wewnątrz grupy A, ε_{ijk} - błąd resztkowy lub błąd losowy związany z k -tym czynnikiem wewnątrz j -tej podgrupy B(A) i i -tej grupy A.

Jednakże do zastosowań analizy zmienności długo- i krótkoterminowej należy przyjąć następujący liniowy model do hierarchicznej analizy wariancji ANOVA:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ijk}, \quad (5.2)$$

Powyższy model stanowi redukcję modelu dwuczynnikowej hierarchicznej analizy ANOVA z ominięciem wpływu $\beta_{j(i)}$ stanowiącego efekt dla j -tej podgrupy B(A) wewnątrz i -tej grupy A. Analizę wariancji w tym przypadku należy przeprowadzić jako część Nested ANOVA [164]. Odpowiednie uzasadnienie tego faktu można znaleźć w pracy Quinn i Keouhg [164].

Zatem badany zostanie stopień zmienności w odniesieniu do:

- grup (ang. between group) - **serii produkcyjnej**, reprezentująca zmienność długoterminową,
- podgrup (ang. within group) - **obserwacji**, reprezentująca zmienność krótkoterminową.

Ekspertyment powinien zostać zaplanowany tak, aby dla każdej serii uwzględnić tę samą liczbę obserwacji. Przy czym obserwacja powinna zawierać kilkukrotne pomiary (najlepiej 2-3).

W tab. 5.2 i 5.3 zestawiono niezbędne zależności do przeprowadzenia jedno-czynnikowej analizy Nested ANOVA.

Tabela 5.2. Tabela jednoczynnikowej analizy Nested ANOVA [164]

Źródło zmienności	Stopnie swobody df	Suma kwadratów SS	Średnia kwadratowa MS	Statystyka testowa F_t	p-value
grupy A (between)	$p - 1$	$q \sum_{i=1}^p (\bar{y}_i - \bar{y})^2$	$\frac{SS_A}{df_A}$	$\frac{MS_A}{MS_\varepsilon}$	$1 - F(F_t)$
wewnątrz podgrupy (within)	$p(q - 1)$	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^n (y_{ijk} - \bar{y}_{j(i)})^2$	$\frac{SS_W}{df_W}$		
całkowita (total)	$pq - 1$	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^n (y_{ijk} - \bar{y})^2$	$\frac{SS_T}{df_T}$		

gdzie: p -liczba grup A, q -liczba podgrup B(A), $F = F_{\alpha, df_A, df_W}$ -wartość krytyczna rozkładu F-Snedecora z liczbami stopni swobody df_A, df_W , α -poziom istotności (zazwyczaj $\alpha = 0, 05$).

Tabela 5.3. Tabela wariancji - jednoczynnikowa analiza Nested ANOVA [164]

Źródło zmienności	Wariancja Var	Udział % wariancji	Odchylenie standardowe
grupy A (between)	$\frac{MS_A - MS_\varepsilon}{q}$	$\frac{Var_A}{Var_T}$	$\sqrt{Var_A}$
wewnątrz podgrupy (within)	MS_ε	$\frac{Var_\varepsilon}{Var_T}$	$\sqrt{Var_\varepsilon}$
całkowita (total)	$Var_A + Var_\varepsilon$		

P-value (wartość p) określa najniższy poziom istotności α dla którego hipoteza może zostać odrzucona przy otrzymanej wartości statystyki testowej [1]. Innymi słowy p-value określa prawdopodobieństwo otrzymania takiej wartości statystyki testowej, jaka została określona w teście statystycznym, przy założeniu, że hipoteza zerowa jest prawdziwa [1]. W konsekwencji, jeżeli uzyskano p-value większe niż przyjęty poziom istotności α ($p > \alpha$) należy przyjąć hipotezę za prawdziwą. W przeciwnym razie hipotezę należy odrzucić. Wówczas, aby określić która grupa różni się istotnie od pozostałych należy przeprowadzić tzw. testy post-hoc, do których zalicza się testy: Tukey'a, Duncana czy test znaków (NIR) [1].

Podobnie jak dla jednoczynnikowej analizy ANOVA, muszą zostać spełnione trzy założenia dotyczące [135], [164]:

- niezależności obserwacji,
- normalności rozkładu reszt (ang. residuals),
- homoskedastyczności, czyli założenia odnoszącego się do wariancji w grupach, która powinna być taka sama.

5.4. Studium przypadku na danych rzeczywistych z przedsiębiorstwa produkcyjnego - SIEGE-NIA

Czakon [51], Dul i Hak [63] wyróżniają trzy cele wykorzystania studium przypadku, na które składają się:

- cel teoriiwórczy,
- testowanie teorii,
- cel szkoleniowy, który ma ilustrować i inspirować.

Z kolei Yin [223] wskazuje na następujące okoliczności uzasadniające wykorzystanie studium przypadku:

- wczesny etap rozwoju wiedzy w konkretnym obszarze badań,
- identyfikacja zjawiska w rzeczywistych warunkach,
- mgliste granice pomiędzy zjawiskiem, a okolicznościami, w których ono zaistniało.

W związku z powyższym zasadne jest wykorzystanie studium przypadku, w celu testowania proponowanych rozwiązań z wykorzystaniem danych rzeczywistych, pochodzących z przedsiębiorstwa produkcyjnego (podjęte zagadnienie badawcze nie stanowiło dotychczas przedmiotu analiz), a także jako przykład szkoleniowy ilustrujący poruszaną problematykę.

Studium przypadku zostało przeprowadzone w przedsiębiorstwie produkcyjnym specjalizującym się w produkcji okuć okiennych - SIEGENIA. Przypadek ten został wybrany z uwagi na to, że:

- przedsiębiorstwo charakteryzuje się produkcją wieloasortymentową; wyroby produkowane są zgodnie z zamówieniami klienta,
- przedsiębiorstwo posiada infrastrukturę dostosowaną do przeprowadzenia stosownych analiz (stanowiska kontrolno-pomiarowe),
- przedsiębiorstwo dysponuje bazą danych historycznych dla wszystkich pozycji asortymentowych,
- przedsiębiorstwo realizuje analizy procesów pod względem jakościowym, jednakże w ograniczonym zakresie (sprowadzonym do analizy zdolności jakościowej),
- kierownictwo wyraża chęć wprowadzenia metody, która umożliwi skuteczne sterowanie jakością.

Dane przedsiębiorstwa

1. **Nazwa:** SIEGENIA-AUBI Sp. z o.o., należąca do Grupy SIEGENIA (rys. 5.3)
2. **Adres siedziby w Polsce:** Ossowskiego 64, 46-203 Kluczbork
3. **Rok założenia:** 1914 (jako SIEGENIA od 1955)
4. **Adres strony internetowej:** www.siegenia.com/pl/index.html
5. **Siegenia na świecie - oddziały:** Niemcy, Benelux, Chiny, Francja, Wielka Brytania, Włochy, Austria, Rosja, Szwajcaria, Korea Południowa, Turcja, Ukraina, Węgry, Białoruś

Grupa SIEGENIA alokuje produkcję w poszczególnych zakładach optymalizując swoje koszty. Zakład w Polsce specjalizuje się w produkcji elementów z asortymentu Grupy SIEGENIA, które są niskoseryjne lub wymagają dużego nakładu pracy manualnej [187].

SIEGENIA[®]
brings spaces to life

Rys. 5.3. Logo przedsiębiorstwa - Siegenia [187]

SIEGENIA oferuje zaawansowane systemy do okien, drzwi i drzwi przesuwanych, do których można zaliczyć [187]:

- zasuwnice wielopunktowe,
- produkty elektromechaniczne,
- zamki,
- zamknięcia do drzwi ewakuacyjnych i przeciwpanicznych,
- elementy ramowe,
- okucia do drzwi dwuskrzydłowych,
- zawiasy antywłamaniowe,
- nawiewniki okienne,
- nawiewniki ściennie
- inteligentne czujniki jakości powietrza,
- napędy automatyczne do drzwi przesuwanych,
- napędy i systemy ryglujące,
- inteligentne monitorowanie otwarcia i zamknięcia okien.

Dodatkowo SIEGENIA (zaproponowany przez SIEGENIA-AUBI Sicherheits-Service GmbH) ma do zaoferowania zestaw naprawczy, który pozwala zwiększyć efektywność i przyspieszyć proces serwisowania okien. Uniwersalny zestaw naprawczy do okien obwiedniowych składa się z 312 części i umożliwia naprawę uszkodzonych elementów okuć niezależnie od ich producenta. Kluczem tego rozwiązania jest możliwość swobodnego łączenia różnych elementów z różnych systemów okuciowych [187]. W ofercie przedsiębiorstwa znajduje się również szeroka gama całkowicie ukrytych rozwiązań proponowanych w grupie rozwiązań axxent (rys. 5.4) do których można zaliczyć m.in. okucia do okien drewnianych, z PCV i aluminium, zawiasy do drzwi i napędy mechaniczne [187].



Rys. 5.4. TITAN axxent 24+ [187]

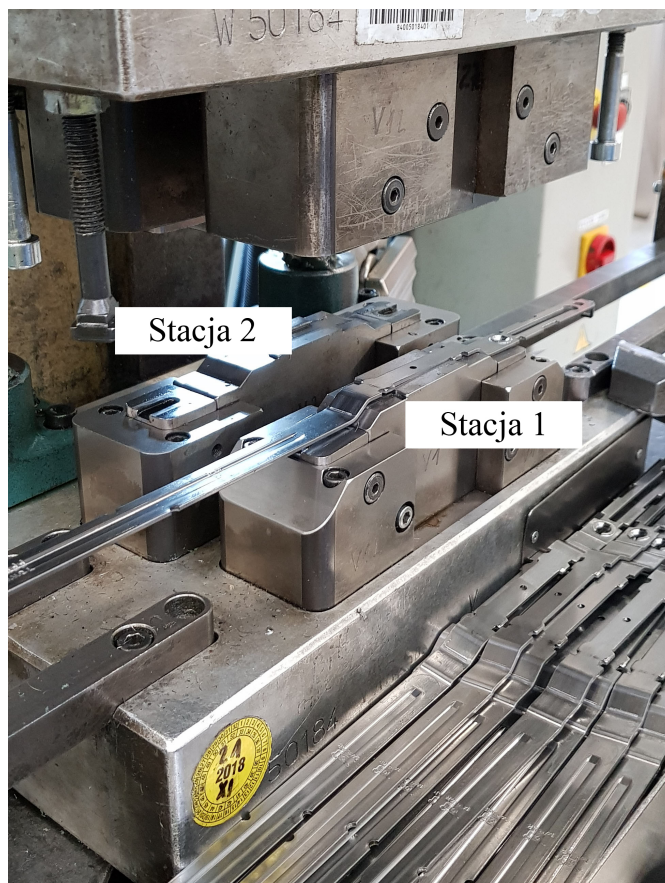
Etap I Wdrożenie kart kontrolnych i ocena bieżącej zdolności jakościowej

Faza Definiuj

Analizie poddano proces przetłoczenia elementów podlegających pojedynczemu lub podwójnemu przetłoczeniu. Dla pojedynczego przetłoczenia proces składa się z jednej operacji, która polega na tym, że metalową listwę okuciową (rys. 5.5) należy umieścić w prasie na dostosowanym do tego narzędziu, które składa się z jednej lub dwóch stacji. W przypadku podwójnego przetłoczenia (mniejszego i większego) proces składa się z dwóch operacji - element podlega obróbce na jednej prasie, na której zamontowane jest narzędzie, które posiada dwie stacje (rys. 5.6). Najpierw następuje przetłoczenie większe na stacji 1, a następnie przetłoczenie mniejsze na stacji 2. Operacje zostały zrealizowane na jednej maszynie (w przypadku realizacji operacji na większej ilości maszyn należy dokonać analizy niezależnie dla każdej z nich).



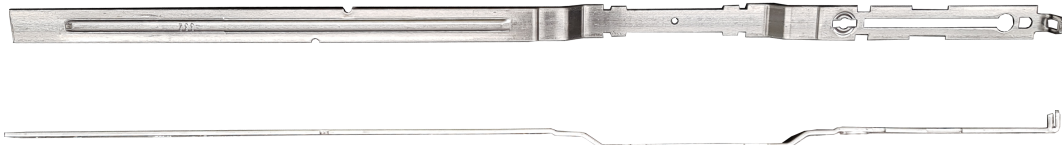
Rys. 5.5. Listwa okuciowa o indeksie 615561 – 002 przed operacją przetłoczenia (zdjęcie z przedsiębiorstwa)



Rys. 5.6. Prasa na której odbywa się przetłoczenie listwy stałej o indeksie 615561 – 002 (zdjęcie z przedsiębiorstwa)

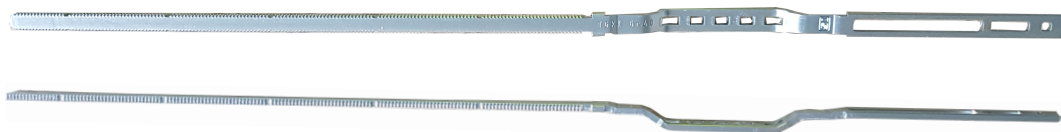
Spośród różnych typów listw okuciowych wybrano te, dla których przeprowadzana jest operacja przetłoczenia, a zatem:

- listwy stałej o indeksie 615561 – 002 (rys. 5.7); mierzone są dwa typy przetłoczenia mniejsze w zakresie tolerancji 1,1 – 1,3 mm i większe w zakresie tolerancji 7,3 – 7,5 mm z prawej strony (w sumie 2 pomiary); przedsiębiorstwo dysponuje danymi pomiarowym z okresu: 23.03.2017r. do 07.11.2018r.



Rys. 5.7. Listwa stała o indeksie 615561 – 002 (zdjęcie z przedsiębiorstwa)

- listwy przesuwnej o indeksie 615560 – 001 (rys. 5.8); analogiczne jak dla listwy stałej o indeksie 615561–002 mierzone przetłoczenie mniejsze i większe dla prawej strony (w sumie 2 pomiary), natomiast zakres tolerancji wynosi odpowiednio: 1,3 – 1,7 mm i 7,3 – 7,6 mm; przedsiębiorstwo dysponuje danymi pomiarowym z okresu: 30.01.2015r. - 06.11.2018r.



Rys. 5.8. Listwa przesuwna o indeksie 615560 – 001 (zdjęcie z przedsiębiorstwa)

- listwy przesuwnej o indeksie 613984–001 (rys. 5.9); mierzone jest jedno, duże przetłoczenie dla którego zakres tolerancji wynosi 8,1 – 8,3 mm dla prawej strony (w sumie 1 pomiar); przedsiębiorstwo dysponuje danymi pomiarowym z okresu: 20.09.2016r. do 28.11.2018r.



Rys. 5.9. Listwa przesuwna o indeksie 613984 – 001 (zdjęcie z przedsiębiorstwa)

Dla interesariuszy najważniejsze jest, aby wartość wysokości przetłoczenia mieściła się w zakresie tolerancji.

Faza Mierz

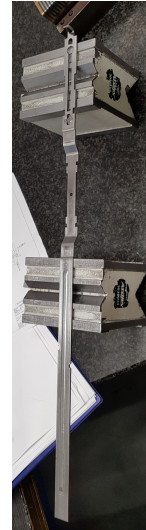
Zakresy tolerancji przetłoczenia dla poszczególnych typów listw zostały ustalone przez technologów i wynikają z ich wymiarów (umieszczone na rysunkach technicznych nieopublikowanych w rozprawie z uwagi na dane drażliwe). Obserwacje, składają się z 3 pomiarów, które zostały zrealizowane zgodnie z wewnętrzną procedurą przedsiębiorstwa.

Pomiarów dokonano przy użyciu wysokościomierza elektronicznego (rys. 5.10), dla którego maksymalne dopuszczalne graniczne odchylenia błędów są na poziomie $2,5 + 3L \mu m$ (L - długość pomiarowa w m) i granicy powtarzalności rzędu $2 \mu m$. Urządzenie jest kalibrowane, zgodnie z zaleceniami producenta.

(a)



(b)



Rys. 5.10. Urządzenie kontrolno-pomiarowe - Tesa.hite 400
((a) www.hroberts-di.com (b) zdjęcie z przedsiębiorstwa)

W pierwszej kolejności przeprowadzono bieżącą analizę zdolności systemu pomiarowego. Należy tutaj podkreślić, że przedsiębiorstwo realizuje cykliczną analizę *MSA*, zgodnie z wewnętrznymi procedurami, a zatem wykorzystane dane do dalszej analizy są wiarygodne. Na rys. 5.11 przedstawiono arkusz raportu analizy *MSA* dla przetłoczenia listwy ruchomej o indeksie 615560 – 001 (przetłoczenie większe, strona prawa). Pozostałe arkusze umieszczono w zał. F. W tab. 5.4 zestawienie wyników przeprowadzonej analizy *MSA* dla wszystkich elementów.

Raport badania R&R														
SIEGENIA® brings spaces to life														
Jednostka miary:			mm			Urządzenie kontrolno-pomiarowe:			wysokościomierz elektroniczny			Data analizy:		
Zakresy tolerancji:			Operacja:			przetłoczenie większe (strona prawa)						02.09.2018		
DLT:			GLT:			Nazwa badanego elementu:			615560-001					
nr obserwacji	Pracownik 1			R	Pracownik 2			R	Pracownik 3			R		
	nr pomiaru	nr pomiaru	nr pomiaru		nr pomiaru	nr pomiaru	nr pomiaru		nr pomiaru	nr pomiaru	nr pomiaru			
1	7,34	7,34		0	7,33	7,33		0	7,34	7,33		0,01		
2	7,33	7,34		0,01	7,35	7,34		0,01	7,33	7,33		0		
3	7,31	7,32		0,01	7,3	7,32		0,02	7,32	7,31		0,01		
4	7,31	7,33		0,02	7,33	7,33		0	7,34	7,33		0,01		
5	7,35	7,36		0,01	7,35	7,37		0,02	7,35	7,35		0		
6	7,31	7,31		0	7,32	7,33		0,01	7,33	7,34		0,01		
7	7,36	7,35		0,01	7,33	7,34		0,01	7,32	7,33		0,01		
8	7,31	7,32		0,01	7,33	7,34		0,01	7,33	7,34		0,01		
9	7,32	7,32		0	7,31	7,33		0,02	7,32	7,32		0		
10	7,31	7,31		0	7,32	7,32		0	7,31	7,32		0,01		
Σ	73,25	73,3	0	0,07	73,27	73,35	0	0,1	73,29	73,3	0	0,07		
średnia prac. 1				7,3275	średnia prac. 2				7,331	średnia prac. 3				7,3295
Średni rozstęp dla pracownika 1				0,007	Średni rozstęp dla pracownika 2				0,01	Średni rozstęp dla pracownika 3				0,007
ULCR:			0,02616	Jeżeli Ri>ULCR należy powtórzyć pomiar.					Pomiar do powtórzenia?			T/N		
Powtarzalność - zmienność średnia (EV):				0,03648	Względna powtarzalność %EV:				18%					
Odtwarzalność - zmienność operatora (AV):				0,004771	Względna odtwarzalność %AV:				0%					
Niepewność rozszerzona R&R:				0,036791	Względna niepewność %R&R:				18%					
Ocena systemu pomiarowego:								Akceptowalny						

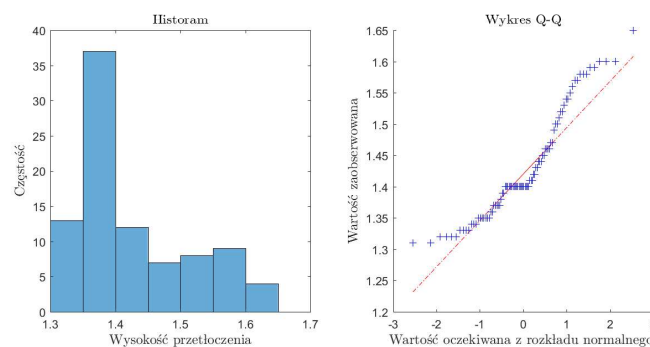
Rys. 5.11. Arkusz raportu *MSA* - listwa ruchoma o indeksie 615560 – 001
(opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)

Tabela 5.4. Zestawienie wyników analizy *MSA* przetłoczenia dla wszystkich elementów (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)

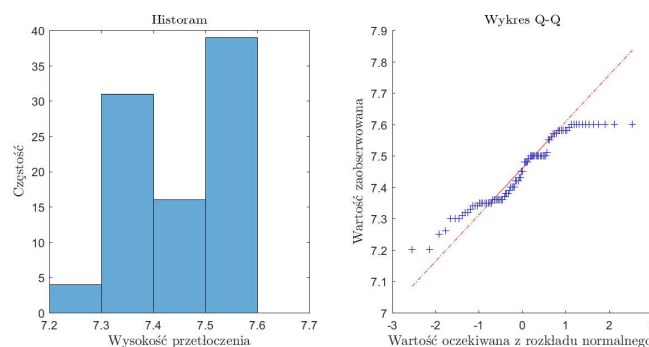
Element analizy	%EV	%AV	%R&R	Ocena systemu
listwa stała 615561 – 002 przetłoczenie mniejsze (strona prawa)	5,8%	9,7%	15,5%	akceptowalny
listwa stała 615561 – 002 przetłoczenie większe (strona prawa)	8,4%	10,3%	18,7%	akceptowalny
listwa przesuwna 615560 – 001 przetłoczenie mniejsze (strona prawa)	19,8%	0,0%	19,8%	akceptowalny
listwa przesuwna 615560 – 001 przetłoczenie większe (strona prawa)	18,0%	0,0%	18,0%	akceptowalny
listwa przesuwna 613984 – 001 przetłoczenie (strona prawa)	22,8%	0,0%	22,8%	warunkowo akceptowalny

Dla listwy stałej o indeksie 615561 – 002 i listwy przesuwnej 615560 – 001 system pomiarowy jest akceptowalny i nie wymaga podejmowania działań korekcyjnych. Odtwarzalność dla listwy przesuwnej o indeksie 615560 – 001 i 613984 – 001 jest na bardzo dobrym poziomie ($\%AV = 5\%$), co świadczy o tym, że urządzenie kontrolno-pomiarowe jest dobrze dobrane i działa w sposób prawidłowy. Z klei dla listwy stałej o indeksie 615561 – 002 wskaźnik ten jest zadowalający. Jego podwyższona wartość jest wynikiem tego, że przed dokonaniem pomiaru urządzenie kontrolno-pomiarowe nie zostało skalibrowane zgodnie z zaleceniami producenta. Powtarzalność wyników ($\%EV$) dla listwy stałej 615561 – 002 jest satysfakcjonująca. Natomiast dla listw przesuwnych o indeksie 615560 – 001 i 613984 – 001 zaleca się przeszkolenie pracowników ze sposobu dokonywania pomiarów, z uwagi na większe różnice pomiędzy nimi.

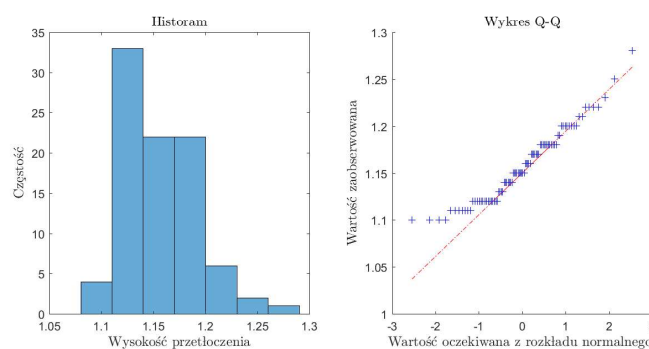
Zgodnie z metodą opisaną w rozdz. 5.1, dalej, dokonano analizy rozkładu wysokości przetłoczenia listw na podstawie danych historycznych, z wykorzystaniem histogramu, a także wykresu kwantyl-kwantyl ($Q-Q$), w celu określenia czy rozkład ten jest rozkładem normalnym (rys. 5.12 - 5.16).



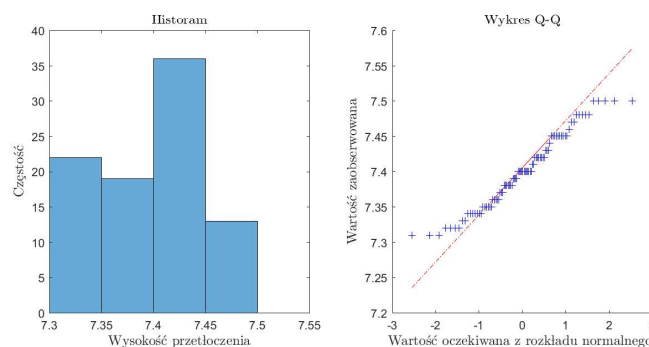
Rys. 5.12. Histogram i wykres $Q-Q$ - listwa stała o indeksie 615561 – 002 przetłoczenie mniejsze prawa (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)



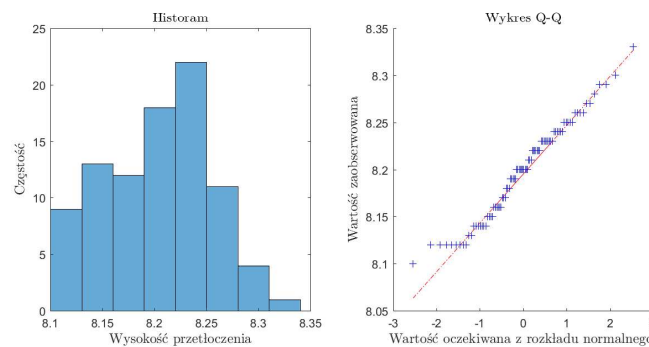
Rys. 5.13. Histogram i wykres $Q - Q$ - listwa stała o indeksie 615561 – 002 przetłoczenie większe prawe (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)



Rys. 5.14. Histogram i wykres $Q - Q$ - listwa ruchoma o indeksie 615560 – 001 przetłoczenie mniejsze prawe (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)



Rys. 5.15. Histogram i wykres $Q - Q$ - listwa ruchoma o indeksie 615560 – 001 przetłoczenie większe prawe (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)



Rys. 5.16. Histogram i wykres $Q - Q$ - listwa ruchoma o indeksie 613948 – 001 przetłoczenie prawe (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)

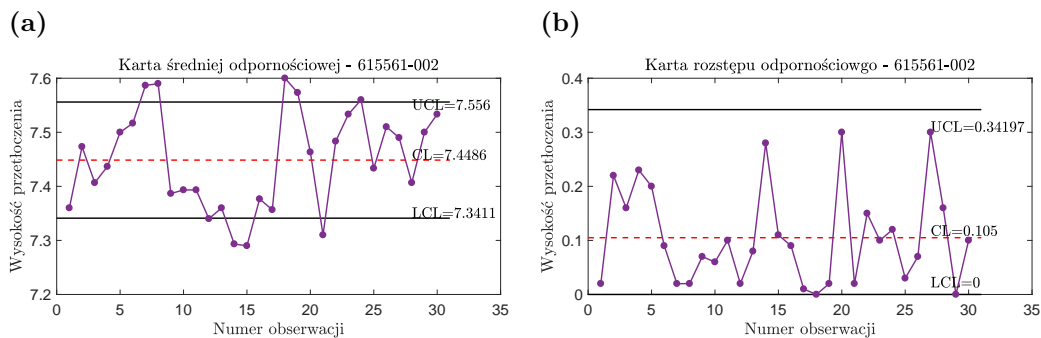
Na podstawie wykresów rys. 5.12 - 5.16 stwierdzono, że rozkład wysokości przetłoczenia nie wykazuje charakteru rozkładu normalnego dla listwy stałej o indeksie 615561 – 002 i przesuwnej 615561 – 002. Natomiast dla listwy przesuwnej o indeksie 613984 – 001 widać, że rozkład danych pomiarowych jest w przybliżeniu rozkładem normalnym. Z uwagi na fakt, że dane są historyczne nie określono przyczyn zakłócenia procesu. Na tym etapie nie jest znana postać referencyjnego rozkładu dla badanej operacji. W związku z tym, aby określić postać rozkładu wysokości przetłoczenia, dokonano analizy skośności zebranych danych pomiarowych (tab. 5.5). Należy tutaj podkreślić, że podejście to jest heurystyczne i nie stanowi uniwersalnego rozwiązania. Może bowiem okazać się, że dla niektórych cech (zwłaszcza dla procesów o skomplikowanych przebiegach technologicznych) analiza skośności nie da jednoznacznej odpowiedzi.

Tabela 5.5. Zestawienie wartości skośności κ_3 dla przetłoczenia dla wszystkich elementów (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)

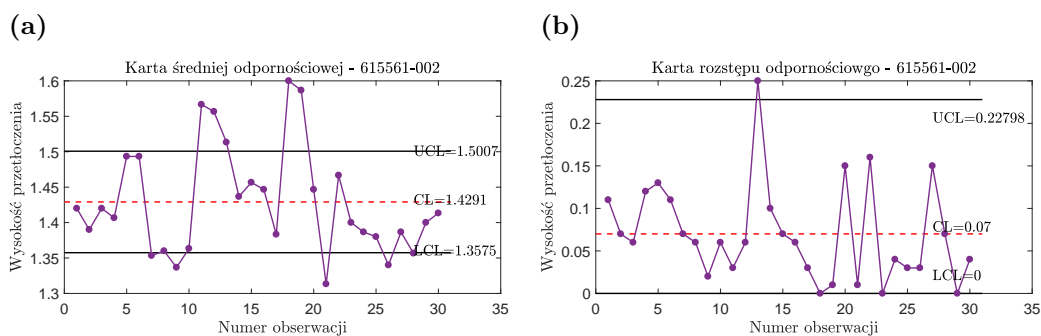
Element analizy	Wartość κ_3	Interpretacja
listwa stała 615561 – 002 przetłoczenie mniejsze (strona prawa)	0,7474	r. prawostronnie skośny
listwa stała 615561 – 002 przetłoczenie większe (strona prawa)	-0,1187	r. lewostronnie skośny
listwa przesuwna 615560 – 001 przetłoczenie mniejsze (strona prawa)	0,5591	r. prawostronnie skośny
listwa przesuwna 615560 – 001 przetłoczenie większe (strona prawa)	0,1882	r. prawostronnie skośny
listwa przesuwna 613984 – 001 przetłoczenie (strona prawa)	0,071	r. w przybliżeniu normalny

Wartości wskaźników skośności z tab. 5.5 dają podstawę do przypuszczenia, że na proces działa specjalna przyczyna zmienności. Widać to wyraźnie dla listwy stałej o indeksie 615561 – 002 (przetłoczenie mniejsze) i listwy przesuwnej o indeksie 615560 – 001 (przetłoczenie mniejsze), ponieważ wartości κ_3 dla tych

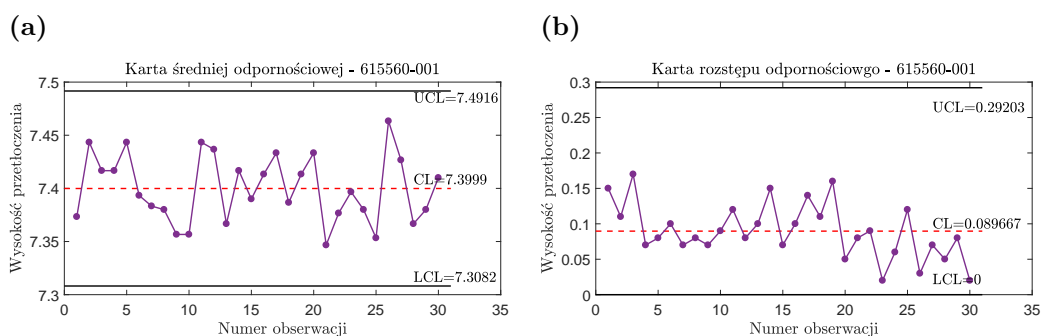
pomiarów jest większa niż dla pozostałych. Należy również zwrócić uwagę na to, że dla wszystkich badanych elementów analizie stabilności poddano tą samą charakterystykę (wysokość przetłoczenia). W konsekwencji potwierdzono hipotezę, że rozkład danych pomiarowych powinien mieć charakter rozkładu normalnego, a zatem do założenia karty kontrolnej (faza I) przyjęto wartość współczynnika skośności $\kappa_3 = 0$. Wobec tego do wyznaczenia granic kontrolnych wykorzystano zależności 3.6 i 4.60 ze statystykami testowymi odpowiednio: klasyczną średnią i klasycznym rozstępem. Wyniki obliczeń zaprezentowano na rys. 5.17 - 5.21.



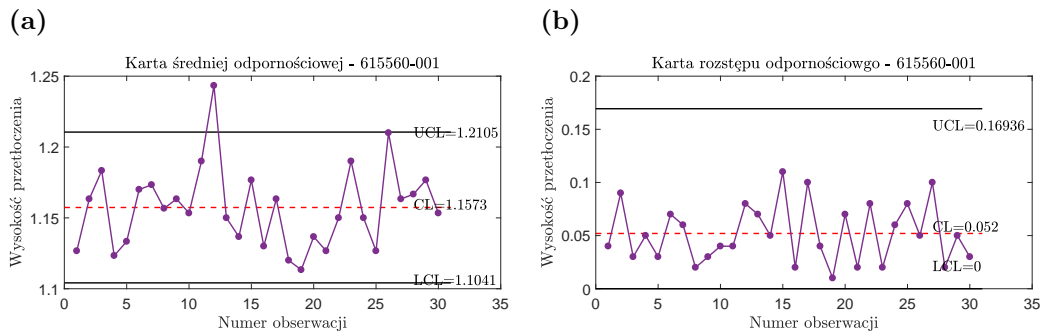
Rys. 5.17. Karta fazy I dla przetłoczenia listwy stałej o indeksie 615561 – 002 (a) karta średniej (b) karta rozstępu - przetłoczenie większe (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)



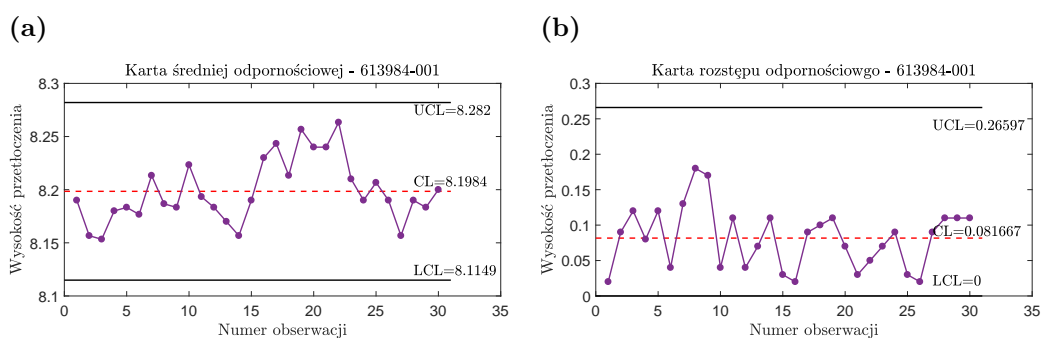
Rys. 5.18. Karta fazy I dla przetłoczenia listwy stałej o indeksie 615561 – 002 (a) karta średniej (b) karta rozstępu - przetłoczenie mniejsze (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)



Rys. 5.19. Karta fazy I dla przetłoczenia listwy przesuwnej o indeksie 615560 – 001 (a) karta średniej (b) karta rozstępu - przetłoczenie większe (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)



Rys. 5.20. Karta fazy I dla przetłoczenia listwy przesuwnej o indeksie 615560 – 001 (a) karta średniej (b) karta rozstępu - przetłoczenie mniejsze (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)



Rys. 5.21. Karta fazy I dla przetłoczenia listwy przesuwnej o indeksie 613984 – 001 (a) karta średniej (b) karta rozstępu (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)

Na podstawie wykresów z rys. 5.17 - 5.21 sformułowano wnioski dotyczące statystycznej stabilności operacji przetłoczenia:

- Dla listwy stałej o indeksie 615561 – 002 zmienność jest pod kontrolą, jednakże z uwagi na kartę średniej należy ponownie powtórzyć wyznaczenie granicy (zarówno dla przetłoczenia mniejszego jak i większego).
- Dla listwy przesuwnej o indeksie 615560 – 001 zmienność jest pod kontrolą, jednakże z uwagi na kartę średniej należy ponownie powtórzyć wyznaczenie granicy - przetłoczenie mniejsze. Dla przetłoczenia większego zarówno zmienność jak i położenie są pod statystyczną kontrolą, zatem granice te zostaną uwzględnione w dalszych analizach.
- Dla listwy przesuwnej o indeksie 613984 – 001 zmienność i położenie są pod kontrolą. W konsekwencji granice te zostaną wykorzystane w dalszej części przykładu.

Ponieważ do wyznaczenia granic kontrolnych korzystano z danych historycznych, niemożliwe jest zidentyfikowanie przyczyn przekroczenia granic. Na tym etapie analizy celem jest znalezienie stanu kontrolowanego procesu, a zatem dla tych przypadków granice kontrolne wyznaczono zgodnie ze schematem:

1. Z bazy danych historycznych pobrano 30 obserwacji $n = 3$ (w sumie 90 pomiarów).

2. Dla tak przygotowanych danych sprawdzono sygnały.
3. Jeżeli odnotowano sygnał, to z bazy pobrano 30 obserwacji $n = 3$ z pominięciem obserwacji z pierwszej serii produkcyjnej.
4. Powtarzano pkt. 1 - 3 do momentu, aż nie pojawiły się sygnały.

Powyższe podejście jest zgodne z przyjętym założeniem, że zmienność wynikająca z przebrojenia maszyn stanowi naturalną przyczynę zmienności, której wpływ należy utrzymywać na odpowiednio niskim poziomie. Dla listwy stałej o indeksie 615561 – 002 nie udało się wyznaczyć granic kontrolnych według powyższego schematu. A zatem, zgodnie z proponowaną metodą z rozdz. 5.1, należy zidentyfikować i wyeliminować źródło przyczyny specjalnej zmienności. Poszukiwanie przyczyn tych rozpoczęto od sprawdzenia, czy powodem jest przebrojenie maszyn. Innymi słowy zweryfikowano hipotezę, czy średnie dla serii produkcyjnych są statystycznie istotne. W tym celu wykorzystano analizę Nested ANOVA (por. rozdz. 5.3). Wyniki obliczeń dla trzech serii produkcyjnych osobno dla gięcia mniejszego, jak i gięcia większego ($m = 4$ obserwacje $n = 3$ - elementowe) zestawiono w tab. 5.6 - 5.9.

Tabela 5.6. Tabela analizy Nested ANOVA dla przetłoczenia większego listwy stałej o indeksie 615561 – 002 (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)

Źródło zmienności	Stopnie swobody df	Suma kwadratów SS	Średnia kwadratowa MS	Statystyka testowa F_t	p-value
serie produkcyjne (between)	2	0,0691	0,0345	6,4409	0,0184
wewnątrz obserwacji (within)	9	0,0483	0,0054		

Tabela 5.7. Tabela wariancji - Nested ANOVA dla przetłoczenia większego listwy stałej o indeksie 615561 – 002 (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)

Źródło zmienności	Wariancja Var	Udział % wariancji	Odchylenie standardowe
serie produkcyjne (between)	0,0073	57,63	0,0854
wewnątrz obserwacji (within)	0,0054	42,37	0,0732

Dla przetłoczenia dużego analiza Nested Anova wykazała, że średnie badanych serii produkcyjnych różnią się od siebie statystycznie ($p < 0,05$). W konsekwencji możliwe, że przyczyną niestabilności procesu jest nieopanowane przebrojenie maszyn. Dodatkowo widać wyraźnie, że zmienność pomiędzy seriami produkcyjnymi jest zbyt duża - zmienność długoterminowa wynosi ok. 58% (tab. 5.7) i należy podjąć działania usprawniające.

Tabela 5.8. Tabela analizy Nested ANOVA dla przetłoczenia mniejszego listwy stałej o indeksie 615561 – 002 (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)

Źródło zmienności	Stopnie swobody df	Suma kwadratów SS	Średnia kwadratowa MS	Statystyka testowa F_t	p-value
serie produkcyjne (between)	2	0,0066	0,0033	3,7463	0,0655
wewnątrz obserwacji (within)	9	0,0080	0,0009		

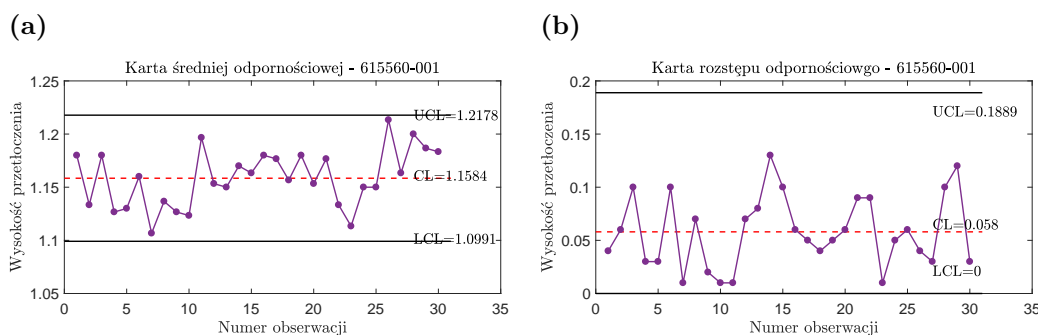
Tabela 5.9. Tabela wariancji - Nested ANOVA dla przetłoczenia mniejszego listwy stałej o indeksie 615561 – 002 (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)

Źródło zmienności	Wariancja Var	Udział % wariancji	Odchylenie standardowe
serie produkcyjne (between)	0,0006	40,71	0,0247
wewnątrz obserwacji (within)	0,0009	59,29	0,0298

Z kolei dla przetłoczenia mniejszego analiza Nested Anova wykazała, że średnich badanych seriai produkcyjnych są statystycznie takie same ($p > 0,05$). Jednakże zmienność pomiędzy seriami produkcyjnymi jest zbyt duża - z wynosi ok. 41% (tab. 5.9), zatem również należy podjąć działania usprawniające.

Z uwagi na fakt, iż dla obu przetłoczeń zbadano te same serie produkcyjne, to możliwe, że problem z przebrojeniem maszyny dotyczy ustawienia lub sprawności stacji 1.

Dla listwy przesuwnej o indeksie 615560 – 001 (przypadek mniejszego przetłoczenia) zostały wyznaczone następujące wartości granic kontrolnych - rys. 5.22.



Rys. 5.22. Karta fazy I dla przetłoczenia listwy przesuwnej o indeksie 615560 – 001 (a) karta średniej (b) karta rozstępu - przetłoczenie mniejsze; stan kontrolowalny (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)

Dalej, dla listw przesuwnych o indeksie 615560 – 001 i 613984 – 001 wyznaczono wartości wskaźników zdolności zgodnie z zał. 3.22 i 3.23 oraz pasmo specjacji (zał. 3.21), a wyniki zestawiono w tab. 5.10.

Tabela 5.10. Wyniki analizy bieżącej zdolności jakościowej w fazie mierz (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)

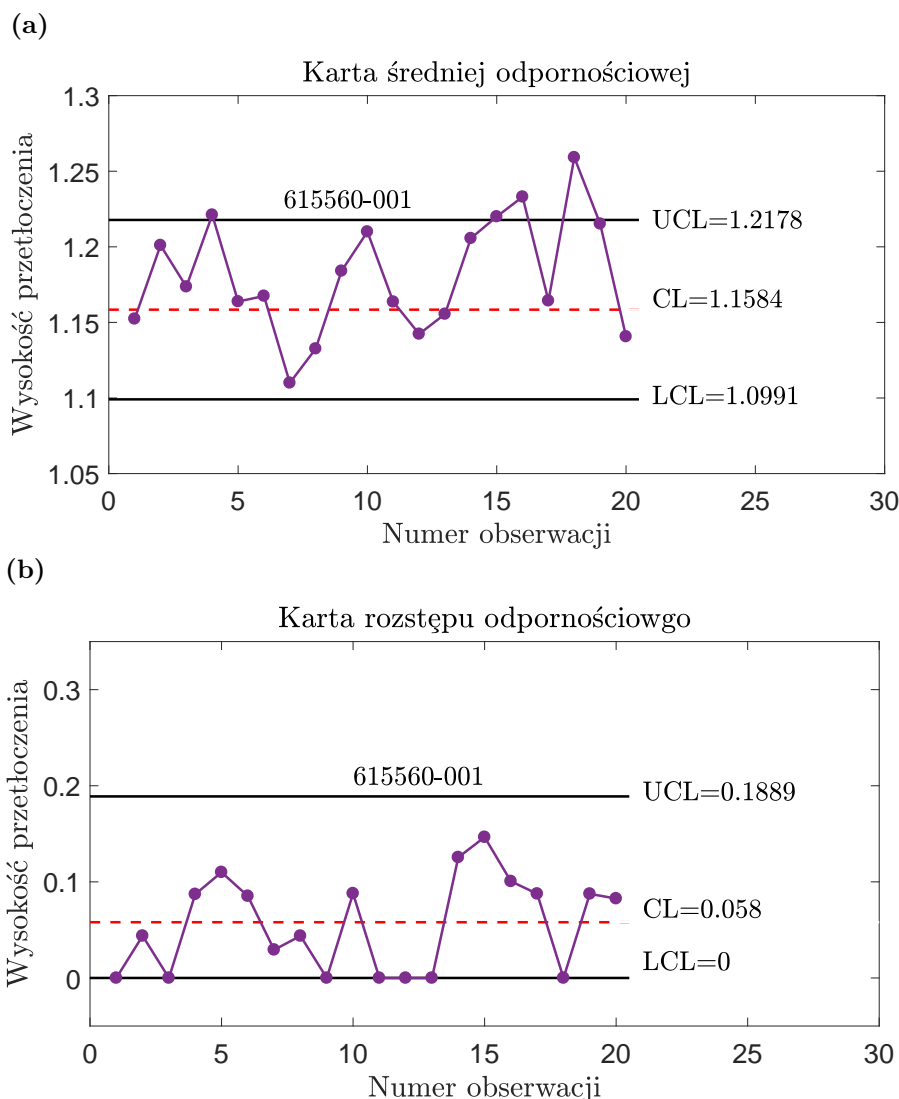
Element podlegający analizie	Wartość współczynnika		P	Interpretacja
	c_p	c_{pk}		
listwa przesuwna 615560 – 001 (przetłoczenie mniejsze)	0,973	0,569 $min(0,569; 1,377)$	103 %	Bardzo niska zdolność jakościowa. Proces nie jest wycentrowany - przesunięcie w lewo. Proces zajmuje 103 % zakresu tolerancji.
listwa przesuwna 615560 – 001 (przetłoczenie większe)	0,629	0,629 $min(0,629; 0,630)$	159 %	Bardzo niska zdolność jakościowa. Proces jest wycentrowany. Proces zajmuje 159 % zakresu tolerancji.
listwa przesuwna 613984 – 001	0,680	0,680 $min(0,680; 0,702)$	145 %	Bardzo niska zdolność jakościowa. Proces jest wycentrowany. Proces zajmuje 145 % zakresu tolerancji.

Jak już wspomniano, w fazie definiuj, z punktu widzenia interesariuszy najważniejsze jest, aby wartość wysokości przetłoczenia mieściła się w zakresie tolerancji. Jednakże wyniki analizy zdolności jakościowej z tab. 5.10 wskazują, że oczekiwanie to nie jest spełnione. Dlatego też dalszym celem jest poprawa zdolności jakościowej dla omawianego procesu.

Etap II Kontrola stabilności i zdolności jakościowej procesu

Faza Analizuj

Faza analizuj w tym przypadku rozpoczyna się od poprawy zdolności jakościowej. W tym celu należy podjąć odpowiednie kroki usprawniające (korygujące lub doskonalące). Dalej, zgodnie z proponowaną metodą podjęto monitorowanie przebiegu procesu z wykorzystaniem kart odpornościowych dedykowanych dla produkcji wielosortymentowej (por. zal. 4.58 - 4.60 i rozdz. 4.3) - rys. 5.23 - 5.24.

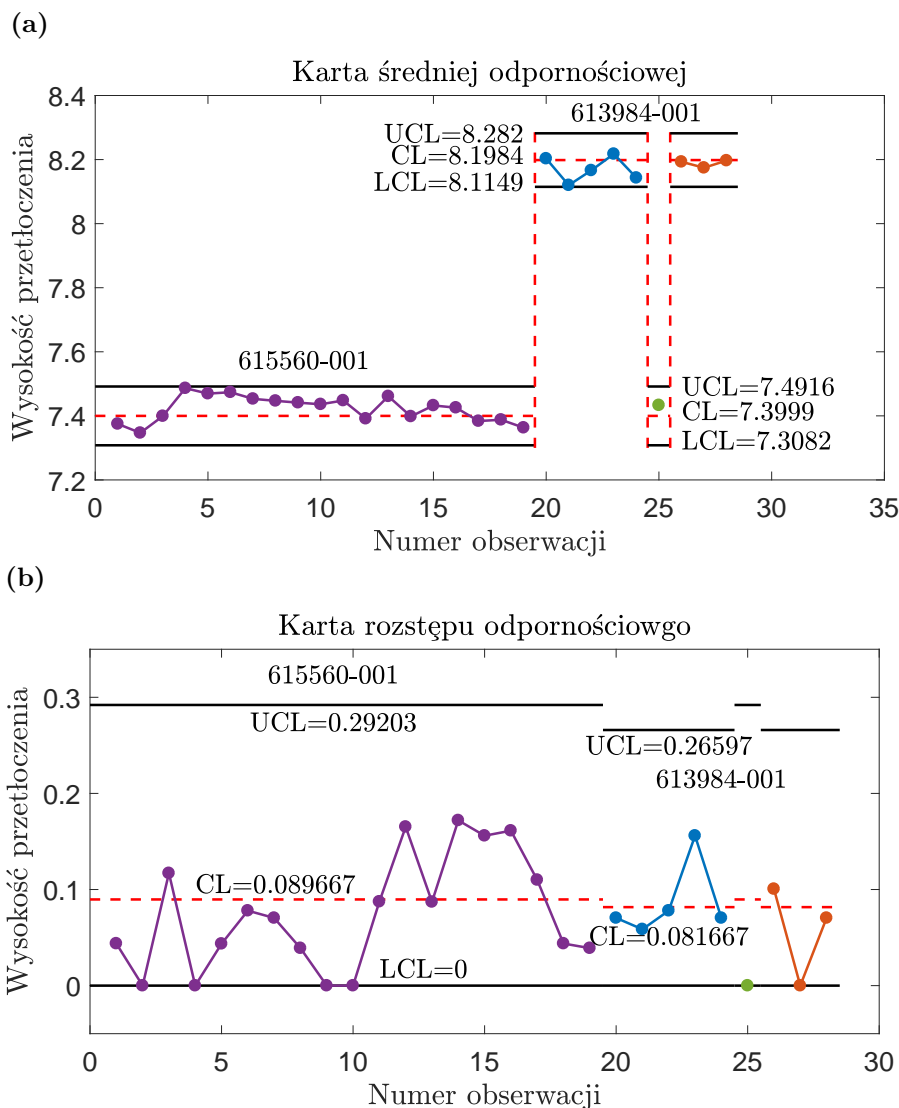


Rys. 5.23. Karta dla fazy II dla przetłoczenia listwy przesuwnej o indeksie 615560 – 001 (a) karta średniej (b) karta rozstępu - przetłoczenie mniejsze (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)

Ponieważ nie udało się założyć kart dla przetłoczenia (zarówno mniejszego jak i większego) listwy stałej o indeksie 615561 – 002, to na kartach z rys. 5.23 zamieszczono wysokość przetłoczenia mniejszego dla listwy przesuwnej o indeksie 615560 – 001. Po ustabilizowaniu procesu dla listwy stałej o indeksie 615561 – 002 należy prowadzić jego monitorowanie na tej karcie.

Przebieg procesu z rys. 5.23 wskazuje, że proces może nie przebiegać prawi-

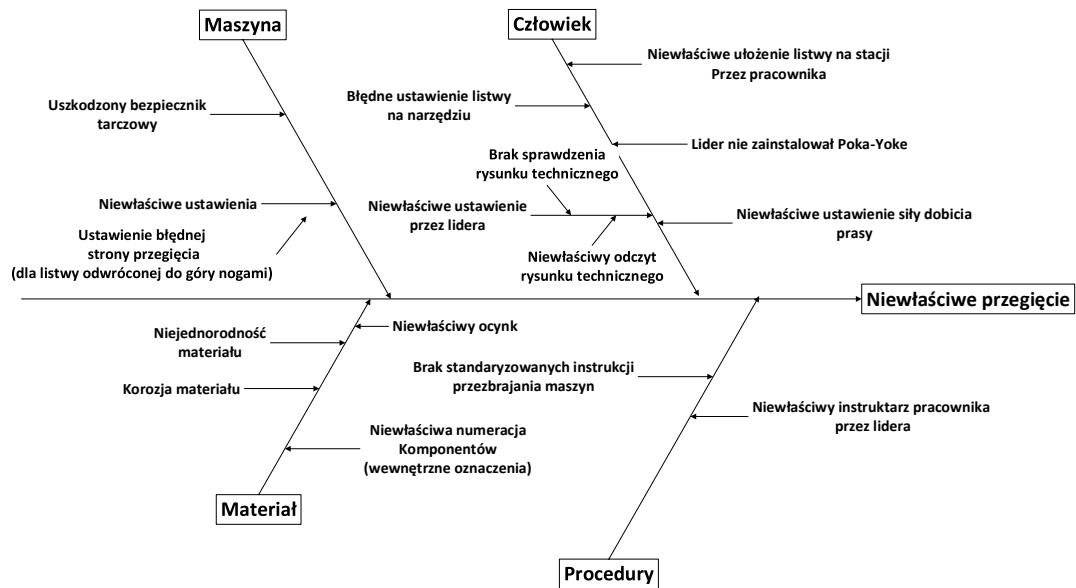
dłowo (cztery pomiary poza górną granicą kontrolną rys. 5.23 a)). Należy dokonać analizy przyczyn wystąpienia sygnałów i ewentualnie podjąć stosowne działania usprawniające.



Rys. 5.24. Karta dla fazy II dla przetłoczenia listw przesuwnych o indeksie 615560 – 001 i 613984 – 001 (a) karta średniej (b) karta rozstępu - przetłoczenie większe (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)

Karty kontrolne z rys. 5.24 umożliwiają monitorowanie procesu przetłoczenia większego listw przesuwnych o indeksie 615560 – 001 i 613984 – 001. Początkowo monitorowano jedynie listwę przesuwą o indeksie 615560 – 001 (obserwacje 1-19), ponieważ listwa o indeksie 613984 – 001 nie była wytwarzana w tym okresie. Zarówno dla listwy o indeksie 615560 – 001, jak i 613984 – 001 żadna ze statystyk testowych nie przekracza granic kontrolnych, zatem można uznać, że procesy są kontrolowalne.

Dalej określono potencjalne przyczyny możliwych błędów z wykorzystaniem Diagramu Ishikawy (rys. 5.25).



Rys. 5.25. Diagram Ishikawy dla operacji przetłoczenia (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)

Największe zagęszczenie potencjalnych przyczyn problemów jakościowych jest dla głównej kategorii przyczyn - „człowiek”. W większości problemy te związane są niewłaściwymi ustawieniami maszyny przez lidera. W celu podjęcia odpowiednich działań usprawniających należy rozpocząć dodatkowe analizy w tym obszarze.

Etap III Kontrola stabilności i zdolności jakościowej procesu

Faza Doskonał

Jak pokazały wcześniejsze analizy badane procesy wymagają podjęcia działań usprawniających (korygujących i/lub doskonalących). Na podstawie wcześniejszych obliczeń wynika, że:

- Proces przetłoczenia listwy stałej o indeksie 615561 – 002, zarówno dla przetłoczenia większego jak i mniejszego, wymaga podjęcia działań stabilizujących (nie udało się założyć karty kontrolnej).
- Proces przetłoczenia listwy stałej o indeksie 615561 – 002 wykazuje nadmierną zmienność pomiędzy seriami.
- Dla listw przesuwnych o indeksie 615560 – 001 i 613984 – 001 należy zwiększyć zdolność jakościową, ponieważ procesy nie spełniają wymagań interesariuszy i wskaźniki te nie osiągnęły nawet satysfakcjonującego poziomu.

Na tym etapie powinny zostać wybrane najistotniejsze czynniki (spośród potencjalnych - por. rys. 5.25) powodujące problemy jakościowe i w zależności od tego czy czynniki te składają się na specjalne czy naturalne przyczyny zmienności, należy je wyeliminować i/lub zredukować ich wpływ. Dalej konieczne jest przeprowadzenie testów pilotażowych, dzięki którym zostanie zweryfikowana skuteczność

podjętych działań. Test ten polega na ocenie stabilności procesów przy użyciu kart kontrolnych i/lub analizy Nested ANOVA, a także zdolności jakościowej. Procedura postępowania jest analogiczna jak w etapie II (por. rys. 5.1).

Etap IV kontrola procesu

Faza Kontroluj

Po usprawnieniu procesów należy jeszcze ustalić plan kontroli stabilności i zdolności jakościowej procesów. Analogicznie do podejścia klasycznego sugeruje się, aby częstość pobierania obserwacji była mniejsza w sytuacji, gdy procesy wykazują satysfakcjonującą stabilność i zdolność jakościową. Jednakże w przypadku dostrzeżenia, że procesy ulegają zmianom należy częstotliwość poboru obserwacji należy zwiększyć.

W odniesieniu do powyższych analiz, zaleca się:

- Podjęcie działań usprawniających mających na celu stabilizację procesu przetłoczenia dla listw o indeksie 615561 – 002 i 615560 – 001 przetłoczenie mniejsze.
- Podjęcie działań usprawniających dla wszystkich typów listw i przetłoczeń mających na celu zwiększenie zdolności jakościowej. Należy tutaj podkreślić, że w pierwszej kolejności należy ustabilizować procesy dla listw o indeksie 615561 – 002 i 615560 – 001 (przetłoczenie mniejsze).

6. Podsumowanie i kierunki dalszych badań

6.1. Podsumowanie pracy

Podjęty problem badawczy dotyczył opracowania metody statystycznego sterowania jakością w produkcji wieloasortymentowej.

W celu rozwiązania problemu badawczego sformułowano następujące pytania:

1. W jaki sposób można wykonywać ocenę zdolności jakościowej i stabilności procesów produkcyjnych w przedsiębiorstwach z produkcją wieloasortymentową?
2. W jaki sposób wyeliminować zbędną i/lub ekonomicznie nieuzasadnioną ingerencję w proces produkcyjny?
3. W jaki sposób monitorować stabilność procesów produkcyjnych i jak przeprowadzać analizę zdolności jakościowej, gdy dane pomiarowe nie mają charakteru rozkładu normalnego?

W odpowiedzi na powyższe pytania badawcze zaproponowano w rozprawie następujące rozwiązania:

1. Wykorzystanie kart kontrolnych z ruchomymi granicami kontrolnymi dedykowanymi dla produkcji wieloasortymentowej. Rozwiązanie to wymaga podziału wyrobów na grupy ze względu na pokrywające się operacje, a także utworzenie bazy granic kontrolnych oraz wskaźników zdolności jakościowej dla wszystkich kluczowych cech/charakterystyk wyrobów z uwzględnieniem klasyfikacji pokrywających się operacji.
2. Wykorzystanie odpornościowych kart kontrolnych średniej i rozstępów dla których statystykami testowymi są M -estymatory z krzywymi logistycznymi, które sprawdzają się dla następujących założeń: próbkowanie proste danych zebranych do analizy; idealne warunki przebiegu procesu w fazie wdrażania; dane pomiarowe mają charakter modelowy (zgodny z rozkładem teoretycznym np, normalnym, gamma, Weibulla czy log-normalnym); przebrojenie maszyn nie zaburza modelowego przebiegu procesu (w pełni opanowane); nie są znane parametry procesu μ i σ (wariant estymacji paramertów); znana jest skośność rozkładu κ_3 ; pomiary są niezależne. Zaproponowano również przeprowadzenie analizy Nested ANOVA, jako dodatkową ocenę stabilności procesu. Rozwiązania te mają na celu ograniczenie zbędnych i/lub ekonomicznie nieuzasadnionych ingerencji w proces produkcyjny poprzez wyeliminowanie

sygnałów niewielkich zakłóceń procesu (proponowane odpornościowe karty kontrolne), a także regulowanie procesu (zgodnie z założeniami koncepcji Six Sigma) na podstawie analizy zależności pomiędzy długo- i krótkoterminowej zmienności (analiza Nested ANOVA).

3. Wykorzystanie odpornościowych kart kontrolnych średniej i rozstępów dla rozkładów skośnych (metoda korekcji asymetrii) i wskaźników zdolności jakościowej opartych na metodzie Clements'a zmodyfikowanej o percentyle rozkładu Burra.

Badanie naukowe przeprowadzone dla osiągnięcia założonych celów rozprawy obejmowało:

1. Przeprowadzenie krytycznego przeglądu aktualnych narzędzi i metod sterowania oraz zarządzania jakością. Studia literaturowe obejmowały w sumie **228 pozycji literatury polskiej i zagranicznej**.
2. Zaproponowanie metodyki badawczej dla przygotowania nowej metody sterowania jakością, obejmującej: **krytyczny przegląd literatury, propozycje nowych kart kontrolnych, badania symulacyjne, opisanie proponowanej metody statystycznego sterowania jakością w produkcji wieloasortymentowej i studium przypadku, zrealizowane w przedsiębiorstwie produkcyjnym**.
3. Przedstawienie propozycji **nowych narzędzi** wypracowanych na podstawie wyników badań własnych.
4. Prezentację i omówienie nowej metody na przykładzie **studium przypadku** z przedsiębiorstwa produkcyjnego.

Przeprowadzony krytyczny przegląd literatury, a także przeprowadzone badania symulacyjne, poparte studium przypadku, umożliwiły osiągnięcie wyznaczonych celów badawczych. Jednocześnie potwierdzono postawione przez autorkę następujące tezy badawcze:

1. **Istnieje możliwość uzupełnienia istniejących narzędzi sterowania jakością nowymi kartami kontrolnymi, umożliwiającymi skuteczne sterowanie jakością procesów w przypadku dużej różnorodności kluczowych cech/charakterystyk wyrobu i małej ilości danych.**
2. **Zastosowanie metody Statystycznego Sterowania Procesem z wykorzystaniem wybranych elementów koncepcji Six Sigma umożliwia skuteczne sterowanie jakością w produkcji wieloasortymentowej.**

Zaproponowane odpornościowe karty kontrolne, dla których statystykami testowymi są M -estymatory z krzywymi logistycznymi, umożliwiają skuteczne sterowanie jakością procesów. Karta ostatecznie tak samo lub lepiej identyfikuje sygnały, które powinny zostać wykryte (określone przez autorkę jako ekonomicznie uzasadnione do eliminacji przyczyny zmienności) i jednocześnie nie wykrywa sygnałów, stanowiących nieznaczne odchylenia w prawidłowym przebiegu procesu w ograniczonych zakresach siły zaburzenia. Podejście to jest istotne z punktu widzenia ograniczenia zbędnych ingerencji w proces, który pomimo pojedynczych

sygnałów przebiega właściwie. Należy tutaj również podkreślić, że karty te stanowią odpowiednik klasycznej karty średniej i rozstępu, a zatem dedykowane są dla obserwacji mało licznych ($n < 10$).

Opisane powyżej odpornościowe karty uzupełniono o kartę z ruchomymi granicami. Granice te powinny zostać zadeklarowane (po uprzednim ich wyznaczeniu) w bazie i pobierane, a następnie uzupełniane na bieżąco o nowe obserwacje w czasie monitorowania procesu (on-line). Zabieg ten powoduje zmniejszenie dokumentacji związanej z analizą stabilności procesu i jednocześnie nie wpływa na właściwości karty i umożliwia w łatwy sposób monitorowanie procesu zgodnie z bieżącym zapotrzebowaniem asortymentowym.

W opracowanej metodzie rekomendowane jest wykorzystanie cyklu *DMAIC* zaczerpniętego z koncepcji Six Sigma do sterowania procesem w produkcji wieloasortymentowej. Jest to podyktowane faktem, że w przypadku produkcji wieloasortymentowej łatwiej jest o błędy z uwagi na krótkie serie produkcyjne. Cykl *DMAIC* stanowi standaryzowane podejście do rozwiązywania problemów jakościowych i w zamierzeniach ma stanowić pewnego rodzaju „drogowskaz” do poznania procesów, dzięki czemu identyfikacja, a co za tym idzie reakcja na problemy jakościowe, będzie właściwie zlokalizowana i co istotne, szybka.

Dodatковым kryterium oceny stabilizacji procesów stanowi analiza zależności pomiędzy długo- i krótkoterminową zmiennością (analiza Nested ANOVA), która zgodnie z koncepcją Six Sigma powinna zostać zachowana w odpowiednich proporcjach. Duże zaburzenie tych proporcji powinno być sygnałem do poprawy. Wówczas będzie miała ona ekonomiczne uzasadnienie w przypadku podjętych wysiłków.

6.2. Oryginalne rezultaty osiągnięte przez autorkę w pracy

W rozprawie można wyszczególnić oryginalne elementy, stanowiące rezultaty pracy własnej autorki do których można zaliczyć:

- Opracowanie diagramu ewolucji Statystycznego Sterowania Procesem, stanowiący efekt krytycznego przeglądu literatury (rys. 3.9).
- Klasyfikację i charakterystykę wybranych kart kontrolnych, stanowiących efekt obszernego przeglądu literatury (rozdz. 3.3.1).
- Przegląd istniejących rozwiązań w zakresie określenia zdolności jakościowej procesu, jako wstęp do dalszych badań symulacyjnych i empirycznych, w tym zakresie (rozdz. 3.7).
- Propozycję podziału, pojawiających się w procesie błędów określanych w *SPC* jako specjalne przyczyny zmienności. Wyszczególniono tutaj błędy nieopłacalne i opłacalne, z ekonomicznego punktu widzenia do wyeliminowania (rozdz. 4.2.2).
- Odmiennie niż w literaturze wykorzystanie statystyk odpornościowych, których celem w niniejszej pracy jest eliminacja pojedynczych sygnałów, odwzorowujących błędy nieopłacalne do wyeliminowania.

- Określenie warunków przebiegu badań symulacyjnych w celu modelowania błędów nieopłacalnych i opłacalnych do wyeliminowania, zgodnie z przedstawionymi poniżej schematami (rozd. 4.2.1):
 - rozkłady mieszane, z określonym udziałem procentowym rozkładu referencyjnego (model procesu w stanie kontrolowalnym) i zaburzającym (model nieopłacalnych do wyeliminowania błędów), a także wektor z określonym udziałem rozkładu referencyjnego i wartości odstającej;
 - wektor z określonym udziałem procentowym rozkładu referencyjnego i ciągiem wartości z rozkładu zaburzającego, a także wektor z określonym udziałem rozkładu referencyjnego oraz ciągiem wartości odstających.
- Propozycję wykorzystania M -estymatorów z funkcjami logistycznymi do wyznaczenia parametrów procesu (średniej i odchylenia standardowego) (rozd. 4.1.1 - 4.1.2).
- Określenie pojęcia rozstępu odpornościowego i średniej odpornościowej, jako statystyk testowych dla kart kontrolnych (zal. 4.37 - 4.39).
- Symulacyjne określenie zachowania M -estymatorów w odniesieniu do klasycznych statystyk (średniej i rozstępu) (rozd. 4.2.2).
- Symulacyjne określenie selektywności klasycznych i proponowanych estymatorów, które umożliwiło potwierdzenie hipotezy, że średnia i rozstęp odpornościowy, w przeciwieństwie do klasycznych estymatorów, ignorują sygnały nieopłacalne do wyeliminowania i są równie czułe na sygnały opłacalne do wyeliminowania (rozd. 4.2.2).
- Symulacyjne określenie zachowania granic kontrolnych kart klasycznych i odpornościowych (rozd. 4.3).
- Propozycję odpornościowych kart kontrolnych, które eliminują sygnały nieopłacalne do wyeliminowania (dzięki czemu zwiększa się prawdopodobieństwo, że zostaną podjęte właściwe i niezbędne działania korygujące/ doskonalące), dedykowane dla procesów, dla których prawdziwe są następujące założenia (zal. 4.58 - 4.61): próbkowanie proste; zapewnienie idealnych warunków przebiegu procesu w fazie I (wyznaczanie granic kontrolnych), które prowadzi do maksymalnie możliwej redukcji wpływu specjalnych przyczyn zmienności (stan kontrolowany procesu); dane pomiarowe mają charakter modelowy (zgodny z rozkładem odpowiednio: normalnym, gamma, Weibulla, log-normalnego czy też innego rozkładu skośnego); przebrojenie maszyn nie wpływa na modelowy charakter procesu; nie są znane parametry procesu μ i σ (wariant ich estymacji); znana jest skośność procesu κ_3 .
- Symulacyjne wyznaczenie stałych, niezbędnych do wyznaczenia granic, dla wszystkich proponowanych kart kontrolnych (zał. A).
- Propozycję połączenia klasycznych (i odpornościowych) kart średniej oraz rozstępu (Sh) z kartą opartą na metodzie korekcji asymetrii (SC). Dla skośności $\kappa_3 = 0$ wyznaczenie granic z równań Sh, a dla $\kappa_3 \neq 0$ z równań SC (zal. 4.58 - 4.61).

- Symulacyjną weryfikację skuteczności proponowanej karty (dla powyższych założeń) (rozdz. 4.4).
- Określenie wpływu zaburzeń na prawdopodobieństwo sygnału dla kart klasycznych - przypadek mieszania zaburzeń (rozdz. 4.4.3 - 4.4.4 i zał. D).
- Ocenę skuteczności proponowanych odpornościowych kart przy pomocy wykresów różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie dla karty klasycznej i odpornościowej (rozdz. 4.4.3 - 4.4.4 i zał. E).
- Propozycję kart dla produkcji wieloasortymentowej (rozdz. 4.3).
- Propozycję odpornościowych kart kontrolnych dla procesów, które nie wykazują modelowego charakteru (np. natura procesu wskazuje na rozkłady mieszane), jako przygotowanie do dalszych badań symulacyjnych i empirycznych w tym obszarze (zał. 4.45 - 4.49).
- Analizę wrażliwości dla kart klasycznych i odpornościowych na pojawiające się zaburzenia (ekonomiczne i nieekonomiczne do wyeliminowania) (rozdz. 4.4.3).
- Propozycję wykorzystania metody Nested ANOVA do określenia procentowego udziału zmienności długo- i krótkoterminowej, dzięki czemu możliwe jest statystyczne uzasadnienie konieczności lub braku potrzeby podjęcia działań doskonalących proces (rozdz. 5.3).
- Opracowanie metody statystycznego sterowania jakością w produkcji wieloasortymentowej (rozdz. 5.1).
- Wykorzystanie zaproponowanych metod do analizy rzeczywistych danych pochodzących z przedsiębiorstwa produkcyjnego (rozdz. 5.4).
- Sporządzenie autorskiego oprogramowania w środowisku MATLAB, do:
 - przeprowadzenia badań symulacyjnych Monte Carlo, których wyniki opisano w rozdz. 4 - kody nieopublikowane w rozprawie;
 - przeprowadzenia niezbędnych obliczeń na danych rzeczywistych, których wyniki opisano w rozdz. 5.4 - kody nieopublikowane w rozprawie.

6.3. Możliwości aplikacyjne osiągniętych rezultatów

Proponowana metoda rekomendowana jest dla przedsiębiorstw produkcyjnych z produkcją wieloasortymentową, która cechuje się szerokim wachlarzem licznych wariantów wyrobów różniących się wymaganiami w obrębie badanych cech/charakterystyk wyrobu, dla których spełnione są założenia:

- Odnoszących się do typu: **produkcji wieloasortymentowej** (por. rozdz. 2.1).
- Odnoszących się do rodzaju: **produkcji dyskretnej** (por. rozdz. 2.1).

Skuteczność proponowanych odpornościowych kart kontrolnych powinna zostać zagwarantowana spełnieniem następujących założeń:

- próbkowanie proste danych zebranych do analizy,
- idealne warunki przebiegu procesu w fazie wdrażania kart,
- dane pomiarowe mają charakter modelowy (zgodny z rozkładem teoretycznym np, normalnym, gamma, Weibulla czy log-normalnym),
- przebrojenie maszyn nie zaburza modelowego przebiegu procesu (w pełni opanowane),
- nie są znane parametry procesu μ i σ (wariant estymacji paramertów),
- znana jest skośność rozkładu κ_3 ,
- pomiary są niezależne.

W dobie powszechnej informatyzacji i automatyzacji linii produkcyjnych wykorzystanie komputera do celów obliczeniowych nie powinno stanowić problemu, nawet dla małych przedsiębiorstw.

6.4. Zalety i ograniczenia proponowanych rozwiązań

Wykonane dotychczas badania symulacyjne niosą ciekawe i obiecujące wyniki. Jednakże proponowana **odpornościowa karta rozstępu nie jest idealna**. Jak wspomniano w rozdz. 4.4.4 karta ta okazuje się być nieco mniej skuteczna w przypadku ograniczonych zakresach siły zaburzenia dla zaburzenia stałą (wszystkie rozkłady) i rozkładu gamma dla większych skośności oraz zaburzenia w wersji A.

W przypadku **analizy średniej, odpornościowa karta nie gorzej identyfikuje sygnały, które powinny zostać wykryte**. Jednocześnie karta ta **ignoruje sygnały, które stanowią nieznaczne odchylenia w prawidłowym przebiegu procesu** (w postaci pojedynczych sygnałów i o nieznacznej sile zaburzenia) w ograniczonych zakresach siły zaburzenia (w pozostałych przypadkach karta wykazuje podobną czułość jak klasyczna). Co jest niewątpliwą zaletą proponowanego rozwiązania, z uwagi na to, że nie są „maskowane” problemy wymagające ingerencji w proces.

Niewątpliwą zaletą analizowanych odpornościowych kart kontrolnych jest fakt, że zastąpienie klasycznych estymatorów, M -estymatorami z krzywymi logistycznymi zmieniają prowadzenie kart pod względem obliczeniowym, jednakże **sposób interpretacji wyników** (przebiegu procesu) **pozostaje niezmienny**. Dodatkowo M -estymatory z krzywymi logistycznymi, w przeciwieństwie do innych estymatorów tj. średnia ucięta (ang. trimmed mean) czy rozstęp ucięty (ang. trimmed range), nie wymagają doświadczenia statystycznego w doborze dodatkowych parametrów do ich wyznaczenia. Przedstawione w rozdz. 4.1.1 i 4.1.2 algorytmy obliczeniowe są pełne i nie ma potrzeby dodatkowego doboru kryterium eliminacji wartości odstających (np. w przypadku średniej uciętej należy określić sumę procentu obserwacji, które zostaną usunięte z dolnego i górnego zakresu).

Analiza zależności pomiędzy długo- i krótkoterminową zmiennością (analiza Nested ANOVA), pomimo prostoty obliczeniowej, wymaga nieco szerszej wiedzy z zakresu testowania hipotez. W konsekwencji nie powinna być prowadzona przez pracowników niższego szczebla, co może okazać się pewnym ograniczeniem.

6.5. Kierunki dalszych badań

Przedstawiona w rozprawie metoda statystycznego sterowania jakością w produkcji wieloasortymentowej, a także proponowane odpornościowe karty kontrolne nie uwzględniają wszystkich opisanych w literaturze zachowań procesu (np. niemodelowy przebieg procesu). W konsekwencji autorka dostrzega elementy, które powinny zostać uwzględnione w dalszych badaniach dotyczących poruszanej problematyki i są to m.in.:

- Symulacyjna weryfikacja skuteczności proponowanych odpornościowych kart kontrolnych dla procesów o niemodelowym charakterze (por. zal. 4.45-4.49) i porównanie ich względem kart odpornościowych proponowanych przez innych autorów.
- Symulacyjna weryfikacja wpływu standaryzacji na skuteczność wszystkich proponowanych kart odpornościowych - por. zal. 4.45-4.49 i 4.58-4.61.
- Opracowanie odpornościowych wskaźników zdolności jakościowych i weryfikacja ich skuteczności np. poprzez analizę przedziałów ufności.
- Empiryczne badania wpływu przebrojeń maszyn na postać modelu przebiegu procesu produkcyjnego - m.in. analiza histogramów, dopasowanie modeli rozkładów klasycznych i mieszanych.
- Opracowanie odpornościowych kart kontrolnych dla innych metod próbkowania np. próbkowanie rangowe (ang. ranked set sampling; RSS), stosowanego w przypadku dużych kosztów dokładnego pomiaru.
- Optymalizacja pod względem czasu obliczeniowym algorytmu wyznaczania M -estymatorów, z uwagi na fakt, że obliczenia są wydłużone ponad 5-cio krotnie względem klasycznych podejść. Należy jednakże wyraźnie zaznaczyć, że w przypadku realnego wykorzystania kart odpornościowych różnica ta jest praktycznie nieodczuwalna.
- Opracowanie wielowymiarowych, odpornościowych kart kontrolnych, które umożliwią jednoczesną analizę kilku powiązanych ze sobą cech/charakterystyk (np. karta Q zaproponowana przez Liu [126] z algorytmem BACON [23]).
- Dalsze prace badawcze nad odpornościową kartą rozstępu w celu poprawy jej własności.
- Propozycja nowych lub modyfikacja istniejących testów konfiguracji (z symulacyjnym potwierdzeniem ich skuteczności) dla krótkich przebiegów procesu.

Realizacja wyszczególnionych badań może przyczynić się do poprawy jakości produkcji w wielu przedsiębiorstwach produkcyjnych.

Literatura

- [1] Aczel A., Statystyka w zarządzaniu: pełny wykład, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2000.
- [2] Aczel A., Complete Business Statistics, Wohl Publishing, 8-th edition, 2012.
- [3] Ahmad S., Abdollahian M., Zeephongsekul P., *Process capability estimation for non-normal quality characteristics using clement, burr and box-cox methods*, AN-ZIAM Journal, 49, 642–665, 2008.
- [4] AIAG, Statistical Process Control (Reference Manual), 2nd edition, Automotive Industry Action Group, 2005.
- [5] AIAG, Measurement systems analysis: Reference Manual, Fourth Edition, Automotive Industry Action Group, 2010.
- [6] Aichouni M., Al-Ghonamy A., Bachioua L., *Control charts for non-normal data: illustrative example from the construction industry business*, Proceedings of the 16th International Conference on Mathematical and Computational Methods in Science and Engineering, tom 24, 71–76, 2014.
- [7] Akram M.A., Saif A.W.A., Rahim M.A., *Quality monitoring and process adjustment by integrating spc and apc: a review*, International Journal of Industrial and Systems Engineering, 11(4), 375–405, 2012.
- [8] Aksoy H., *Use of gamma distribution in hydrological analysis*, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 24(6), 419–428, 2000.
- [9] Ali S., *Time-between-events control charts for an exponentiated class of distributions of the renewal process*, Quality and Reliability Engineering International, 33(8), 2625–2651, 2017.
- [10] Ali S., Pievatolo A., Göb R., *An overview of control charts for high-quality processes*, Quality and Reliability Engineering International, 32(7), 2171–2189, 2016.
- [11] Amiri A., Khosravi P., Ghashghaei R., *A self-starting control chart for simultaneous monitoring of mean and variance of simple linear profiles*, International Journal of Engineering-Transactions C: Aspects, 29(9), 1263, 2016.
- [12] Andersen B., Fagerhaug T.N., The ASQ Pocket Guide to Root Cause Analysis, ASQ Quality Press, 2013.
- [13] Antony J., *Six sigma: a strategy for supporting innovation in pursuit of business excellence—invited paper*, International Journal of Technology Management, 37(1-2), 8–12, 2007.
- [14] Antosz K., *Zastosowanie metody rŕr do analizy wybranych systemów pomiarowych*, Technologia i Automatyzacja Montażu, 3, 2012.
- [15] Artega Sierra M.L., Cogollo Flórez M., Cogollo Flórez J.M., Rendón Flórez A.L., *Optimal estimation of process capability indices with non-normal data and inaccurate parameters using metaheuristics*, Quality-Access to Success, 18(161), 73–79, 2017.
- [16] Avakh Darestani S., Aminpour N., *Short-run control chart for multiproducts with multi-items based on unequal means and variances*, Journal of Quality and Reliability Engineering, 2014, 2014.

- [17] Balicki A., Makać W., *Metody wnioskowania statystycznego*, wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 7, 2007.
- [18] Bartkowiak M., *Karty kontrolne obrazem zmienności procesu*, Kwartalnik nauk o przedsiębiorstwie, 3(2011), 20, 63–71, 2011.
- [19] Behbahani M., Saghaee A., Noorossana R., *A case-based reasoning system development for statistical process control: Case representation and retrieval*, Computers & Industrial Engineering, 63(4), 1107–1117, 2012.
- [20] Bejlegaard M., Brunoe T.D., Bossen J., Andersen A.L., Nielsen K., *Reconfigurable manufacturing potential in small and medium enterprises with low volume and high variety: Pre-design evaluation of rms*, Procedia CIRP, 51, 32–37, 2016.
- [21] Bersimis S., Psarakis S., Panaretos J., *Multivariate statistical process control charts: an overview*, Quality and Reliability engineering international, 23(5), 517–543, 2007.
- [22] Besseris G., *Robust process capability performance: An interpretation of key indices from a nonparametric viewpoint*, The TQM Journal, 26(5), 445–462, 2014.
- [23] Billor N., Hadi A.S., Velleman P.F., *Bacon: blocked adaptive computationally efficient outlier nominators*, Computational Statistics & Data Analysis, 34(3), 279–298, 2000.
- [24] Blakeslee Jr J.A., *Implementing the six sigma solution*, Quality progress, 32(7), 77, 1999.
- [25] Bothe D.R., *Spc for short production runs*, Quality, 27(12), 58, 1988.
- [26] Bothe D.R., *Statistical reason for the 1.5 σ shift*, Quality Engineering, 14(3), 479–487, 2002.
- [27] Box G., Kramer T., *Statistical process monitoring and feedback adjustment—a discussion*, Technometrics, 34(3), 251–267, 1992.
- [28] Boyapati S.R., Nasiru S., Lakshmi K., *Variable control charts based on percentiles of the new weibull-pareto distribution*, Pakistan Journal of Statistics and Operation Research, 11(4), 2015.
- [29] Brady J.E., Allen T.T., *Six sigma literature: a review and agenda for future research*, Quality and reliability engineering International, 22(3), 335–367, 2006.
- [30] Bravener L., *The road to continuous improvement*, https://www.qualitydigest.com/may99/html/body_ci.html, [Odczyt z dnia: 20.12.2017].
- [31] Bukowski L., Lichota A., *Ocena zdolności procesów o dużej asymetrii względem granic tolerancji*, Archives of Foundry Engineering, 10, 2010.
- [32] Castagliola P., Maravelakis P.E., *A cusum control chart for monitoring the variance when parameters are estimated*, Journal of Statistical Planning and Inference, 141(4), 1463–1478, 2011.
- [33] Castillo D.E., Montgomery D.C., *Short-run statistical process control: Q-chart enhancements and alternative methods*, Quality and Reliability Engineering International, 12(3), 157–157, 1996.
- [34] Chakraborti S., Van der Laan P., Bakir S.T., *Nonparametric control charts: an overview and some results*, Journal of Quality Technology, 33(3), 304, 2001.
- [35] Chan L., Cui H.J., *Skewness correction x and r charts for skewed distributions*, Naval Research Logistics (NRL), 50(6), 555–573, 2003.
- [36] Chan L., Xie M., Goh T., *Cumulative quantity control charts for monitoring production processes*, International Journal of Production Research, 38(2), 397–408, 2000.

- [37] Chan L.K., Cheng S.W., Spiring F.A., *A graphical technique for process capability*, Trans. ASQC Annu. Qual. Congr., 42, 268–275, 1988.
- [38] Chan L.K., Cheng S.W., Spiring F.A., *A new measure of process capability: Cpm*, Journal of Quality Technology, 20(3), 162–175, 1988.
- [39] Chang T., Gan F., *A cumulative sum control chart for monitoring process variance*, Journal of Quality Technology, 27(2), 109–119, 1995.
- [40] Chang Y.S., Bai D.S., *Control charts for positively-skewed populations with weighted standard deviations*, Quality and Reliability Engineering International, 17(5), 397–406, 2001.
- [41] Chang Y.S., Choi I.S., Bai D.S., *Process capability indices for skewed populations*, Quality and Reliability Engineering International, 18(5), 383–393, 2002.
- [42] Chen G., *The mean and standard deviation of the run length distribution of \bar{x} charts when control limits are estimated*, Statistica Sinica, 789–798, 1997.
- [43] Chen N., Zi X., Zou C., *A distribution-free multivariate control chart*, Technometrics, 58(4), 448–459, 2016.
- [44] Choobineh F., Ballard J., *Control-limits of qc charts for skewed distributions using weighted-variance*, IEEE transactions on reliability, 36(4), 473–477, 1987.
- [45] Clements J.A., *Process capability calculations, for non-normal distributions*, Quality progress, 22, 95–100, 1989.
- [46] Company W.E., *Statistical quality control handbook*, Western Electric Company, 1958.
- [47] Costa A., *Joint \bar{x} and r charts with variable sample sizes and sampling intervals*, Journal of quality technology, 31(4), 387–397, 1999.
- [48] Crosby P.B., *Quality is free: The art of making quality certain*, Signet, 1979.
- [49] Crow E. L .and Shimizu K., *Lognormal distributions*, Marcel Dekker New York, 1987.
- [50] Crowder S.V., Vander Wiel S.A., *Exponentially weighted moving average (ewma) control chart*, Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability, 2014.
- [51] Czakon W., *Podstawy metodologii badań w naukach o zarządzaniu*, Wolters Kluwer Polska, 2013.
- [52] Czarski A., *Assessment of statistical stability of steel strip hot-rolling process*, Metallurgy and Foundry Engineering, 34(1), 33–38, 2008.
- [53] Czarski A., *Estimation of process capability indices in case of distribution unlike the normal one*, Archives of Materials Science and Engineering, 34(1), 39–42, 2008.
- [54] Czarski A., *Assessment of a long-term and short-term process capability in approach of analysis of variance (anova)*, Met, 35(2), 111–119, 2009.
- [55] Dahlggaard J., Kristensen K., Kanji G., *Podstawy zarządzania jakością*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2001.
- [56] Darestani A.S., Aminpour N., *Short-run control chart for multiproducts with multi-items based on unequal means and variances*, Journal of Quality and Reliability Engineering, 2014.
- [57] De Mast J., Lokkerbol J., *An analysis of the six sigma dmaic method from the perspective of problem solving*, International Journal of Production Economics, 139(2), 604–614, 2012.
- [58] Deming W.E., *Quality, productivity, and competitive position*, tom 183, Massachusetts Institute of Technology, Center for advanced engineering study Cambridge, MA, 1982.

- [59] Dietrich E., Schulze A., *Metody statystyczne w kwalifikacji środków pomiarowych maszyn i procesów produkcyjnych*, Notika System, 2000.
- [60] Dobrowolski K., *Lean jest dla ludzi, pdca – planuj, wykonuj, sprawdzaj, działaj!*, <http://kdobrowolski.pl/pdca-planuj-wykonuj-sprawdzaj-dzialaj-cykl-deminga-ciagle-doskonalenie/>, [Odczyt z dnia: 30.06.2018].
- [61] Dogu E., *Change point estimation based statistical monitoring with variable time between events (tbe) control charts*, *Quality Technology & Quantitative Management*, 11(4), 383–400, 2014.
- [62] Duclos E., Maurice P., Avrillon L., *The l-chart for non-normal processes*, *Quality Technology & Quantitative Management*, 2(1), 77–90, 2005.
- [63] Dul J., Hak T., *Case study methodology in business research*, Routledge, 2007.
- [64] Durlik I., *Inżynieria zarządzania: strategia i projektowanie systemów produkcyjnych. Strategie organizacji i zarządzania produkcją*, Placet, 1996.
- [65] Epprecht E.K., Chakraborti S., Jardim F.S., Loureiro L.D., *Effect of parameter estimation on the performance of statistical process control charts: an old problem revisited from a new standpoint*, *Conference Paper of International Joint Conference - ICIEOM-ADINGOR-IISE-AIM-ASEM*, 1–8, 2017.
- [66] Evans J.R., *Quality & performance excellence. Management, Organization and Strategy*, Cengage Learning, 8-th edition wyd., 2016.
- [67] Evans J.R., Lindsay W.M., *Managing for quality and performance excellence*, Cengage Learning, 2014.
- [68] Evans R., Lindsay R., *The management and control of quality*, South-Western College Publication, Cincinnati, OH, 2005.
- [69] Farid A.M., *Measures of reconfigurability and its key characteristics in intelligent manufacturing systems*, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(2), 353–369, 2017.
- [70] Foith-Förster P., Bauernhansl T., *Changeable assembly systems through flexibly linked process modules*, *Procedia CIRP*, 41, 230–235, 2016.
- [71] Franco B.C., Celano G., Castagliola P., Costa A.F.B., *Economic design of shewhart control charts for monitoring autocorrelated data with skip sampling strategies*, *International Journal of Production Economics*, 151, 121–130, 2014.
- [72] Garbie I.H., *An analytical technique to model and assess sustainable development index in manufacturing enterprises*, *International Journal of Production Research*, 52(16), 4876–4915, 2014.
- [73] Garvin D.A., *What does “product quality” really mean?*, *Sloan management review*, 25, 1984.
- [74] Gejdoš P., *Continuous quality improvement by statistical process control*, *Procedia Economics and Finance*, 34, 565–572, 2015.
- [75] Gibbons J.D., Chakraborti S., *Nonparametric statistical inference*, *International encyclopedia of statistical science*, 977–979, Springer, 2011.
- [76] Gildeh B.S., Shafiee N., *X-mr control chart for autocorrelated fuzzy data using d p, q-distance*, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 81(5-8), 1047–1054, 2015.
- [77] Goetsch D.L., Davis S.B., *Quality management for organizational excellence*, Pearson Upper Saddle River, NJ, 2014.
- [78] Goswami A., Dutta H.N., *Some studies on normal and non-normal process capability indices*, *Int. J. Math. Stat. Invent*, 1(2), 31–40, 2013.
- [79] Govindaraju K., *Statistical performance of control charts*, *Economic Quality Control*, 20(1), 5–20, 2005.

- [80] Greber T., Statystyczne sterowanie procesami - doskonalenie jakości z pakietem STATISTICA, StatSoft Polska, 2000.
- [81] Greber T., *Analiza systemu pomiarowego (msa)*, czytelnia Statsoft Polska, 2002.
- [82] Greber T., *Karty kontrolne przy ocenie liczbowej w sterowaniu procesami - założenia i analiza*, czytelnia Statsoft Polska, 2002.
- [83] Greber T., *Badanie zdolności procesu - niebezpieczne wskaźniki*, Zarządzanie Jakością, (1), 36–44, 2005.
- [84] Hahn G.J., Doganaksoy N., Hoerl R., *The evolution of six sigma*, Quality Engineering, 12(3), 317–326, 2000.
- [85] Hamrol A., Zarządzanie jakością z przykładami, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2009.
- [86] Hamrol A., Strategie i praktyki sprawnego działania: lean, six sigma i inne, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2015.
- [87] Hamrol A., Zarządzanie i inżynieria jakości, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2017.
- [88] Hamrol A., Zymonik Z., *Zarządzanie jakością*, [w:] Inżynieria Produkcji Kompendium wiedzy pod red. Ryszarda Knosali, 561–636, 2017.
- [89] Harry M., Schroeder R., *Six sigma-wykorzystanie programu jakości do poprawy wyników*, wydanie II, Kraków: Wolters Kluwer Business, 2005.
- [90] Hart M., Hart R., *Introduction to statistical process control techniques*, Statit Software. Inc., USA, 2007.
- [91] Hawkins D.M., *Self-starting cusum charts for location and scale*, The Statistician, 299–316, 1987.
- [92] Hoerl R.W., Palm A.C., *Discussion: integrating spc and apc*, Technometrics, 34(3), 268–272, 1992.
- [93] Holmes D.S., Mergen A.E., *Using spc in conjunction with apc*, Quality engineering, 23(4), 360–364, 2011.
- [94] Hryniewicz O., *Prosta metoda wykrywania niestabilności w zachowaniu się procesów.*, Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedza/Studies & Proceedings Polish Association for Knowledge Management, (83), 2017.
- [95] Jakubowski J., Sztencel R., Wstęp do teorii prawdopodobieństwa, Wydawnictwo Script, 2001.
- [96] Jeng H.W., *On small samples and the use of robust estimators in loss reserving*, Casualty Actuarial Society E-Forum, Fall 2010, 2010.
- [97] Jensen W., Bryce G.R., Reynolds M., *Design issues for adaptive control charts*, Quality and reliability engineering international, 24(4), 429–445, 2008.
- [98] Jensen W.A., Jones-Farmer A.L., Champ C.W., Woodall W.H., *Effects of parameter estimation on control chart properties: a literature review*, Journal of Quality Technology, 38(4), 349, 2006.
- [99] Jin J., Shi J., *State space modeling of sheet metal assembly for dimensional control*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 121(4), 756–762, 1999.
- [100] Jones-Farmer L.A., Champ C.W., *A distribution-free phase i control chart for subgroup scale*, Journal of quality technology, 42(4), 373–387, 2010.
- [101] Juran J.M., *Early sqc: A historical supplement*, Quality Progress, 30(9), 73, 1997.
- [102] Juran M., Joseph M., Gryana F., *Juran's Quality Control Hand Book. Fourth Edition.*, Mc Graw-Hill Book Company, 1988.

- [103] Karagöz D., *Robust x control chart for monitoring the skewed and contaminated process*, Hacettepe J Math Stat., 10, 2016.
- [104] Karagöz D., Hamurkaroglu C., *Control charts for skewed distributions: Weibull, gamma, and lognormal*, Metodoloski zvezki, 9(2), 95 – 106, 2012.
- [105] Karaoglan A.D., Bayhan G.M., *Performance comparison of residual control charts for trend stationary first order autoregressive processes*, Gazi University Journal of Science, 24(2), 329–339, 2011.
- [106] Karaszewski R., *Nowoczesne koncepcje zarządzania jakością*, Towarzystwo Naukowe Organizacji i Kierownictwa” Dom Organizatora”, 2009.
- [107] Kashif M., Aslam M., Al-Marshadi A.H., Jun C.H., Khan M.I., *Evaluation of modified non-normal process capability index and its bootstrap confidence intervals*, IEEE Access, 5, 12135–12142, 2017.
- [108] Keller P., *Statistical process control demystified*, McGraw Hill Professional, 2011.
- [109] Khajuria A., Raina A., Singh M.P., *Implementation of dmaic six sigma principle in thermoforming for improving rate of production*, International Journal For Research In Mechanical & Civil Engineering, 4(1), 13–22, 2018.
- [110] Knowles G., Vickers G., Anthony J., *Implementing evaluation of the measurement process in an automotive manufacturer: a case study*, Quality and Reliability Engineering International, 19(5), 397–410, 2003.
- [111] Komitet Inżynierii Produkcji, *Stan i perspektywy badań naukowych w obszarze inżynierii produkcji w polsce*, Polska Akademia Nauk, 2010.
- [112] Koren Y., *The global manufacturing revolution: product-process-business integration and reconfigurable systems*, tom 80, John Wiley & Sons, 2010.
- [113] Koren Y., Heisel U., Jovane F., Moriwaki T., Pritschow G., Ulsoy G., Van Brussel H., *Reconfigurable manufacturing systems*, CIRP Annals-Manufacturing Technology, 48(2), 527–540, 1999.
- [114] Kosiorek D., *Jakość w teorii i praktyce zarządzania organizacjami*, Zarządzanie i Finanse, 11(1, cz. 1), 339–358, 2013.
- [115] Kosiorowski D., *Statystyczne funkcje głębi w odpornej analizie ekonomicznej*, Zeszyty Naukowe/Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie. Seria Specjalna, Monografie, (208), 2012.
- [116] Kovářík M., Sarga L., *Process capability indices for non-normal data*, WSEAS Transactions on Business and Economics, 2014.
- [117] Kowalczyk A., *Ocena implementacji i skuteczności metod zarządzania jakością w opinii dostawców w branży motoryzacyjnej*, Rozprawa doktorska, Uniwersytet Ekonomiczny, Wydział Towaroznawstwa, Poznań, 2012.
- [118] Koźmiński A.K., Zawisłak A., *Pewność i gra: wstęp do teorii zachowań organizacyjnych*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, 1982.
- [119] Kujawińska A., Więcek-Janka E., *Statystyczna ocena procesów w mikro i małych przedsiębiorstwach*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Ekonomiczne Problemy Usług, (51 Uwarunkowania rynkowe rozwoju mikro i małych przedsiębiorstw Mikrofirma 2010), 431–439, 2010.
- [120] Kumar N., Chakraborti S., *Phase ii shewhart-type control charts for monitoring times between events and effects of parameter estimation*, Quality and Reliability Engineering International, 32(1), 315–328, 2016.
- [121] Lester R.H., Enrik N.L., Mottley Jr H.E., *Quality control for profit: gaining the competitive edge*, CRC Press, 1992.
- [122] Lewandowski J., Skołod B., Plinta D., *Organizacja systemów produkcyjnych*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 2014.

- [123] Li Y. and Liu Y.Z.C., Jiang W., *A self-starting control chart for high-dimensional short-run processes*, International Journal of Production Research, 52(2), 445–461, 2014.
- [124] Lin Y.C., Chou C.Y., *Non-normality and the variable parameters x control charts*, European Journal of Operational Research, 176(1), 361–373, 2007.
- [125] Liu J., *Variation reduction for multistage manufacturing processes: a comparison survey of statistical-process-control vs stream-of-variation methodologies*, Quality and Reliability Engineering International, 26(7), 645–661, 2010.
- [126] Liu R.Y., *Control charts for multivariate processes*, Journal of the American Statistical Association, 90(432), 1380–1387, 1995.
- [127] Lourenço Filho R., *Controle estatístico de qualidade*, Ao Livro Técnico, 1973.
- [128] Lupo T., *The new nino capability index for dynamic process capability analysis*, Quality and Reliability Engineering International, 31(2), 305–312, 2013.
- [129] Magaji A.A., Yahaya A., Asiribo O.E., *Assessing the effects of autocorrelation on the performance of statistical process control charts*, International Journal of Mathematics and Statistics Invention, 3(6), 2015.
- [130] Malela-Majika J., Chakraborti S., Graham M.A., *Distribution-free phase ii mann-whitney control charts with runs-rules*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 86(1-4), 723–735, 2016.
- [131] Maronna R., Martin R.D., Yohai V., *Robust statistics: Theory and Methods*, tom 1, John Wiley & Sons, Chichester. ISBN, 2006.
- [132] Mason B., Antony J., *Statistical process control: an essential ingredient for improving service and manufacturing quality*, Measuring Business Excellence, 5(4), 47, 2001.
- [133] Matuszak-Flejszman A., Łuczak J., *Metody i techniki zarządzania jakością: kompendium wiedzy*, Quality Progress, Poznań, 2007.
- [134] Mazur A., Gołaś H., *Zasady, metody i techniki wykorzystywane w zarządzaniu jakością*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2010.
- [135] McDonald J., *Handbook of Biological Statistics (3rd ed.)*, Sparky House Publishing, Baltimore, Maryland, 2014.
- [136] McNeese B., *Xbar-mr-r (between/within) control chart*, <https://www.spcforexcel.com/knowledge/variable-control-charts/xbar-mr-r-betweenwithin-control-chart>, [Odczyt z dnia: 27.11.2017].
- [137] Miller P., *Systemowe zarządzanie jakością*, Diffin, 2011.
- [138] Mitra A., *Fundamentals of quality control and improvement*, John Wiley & Sons, 2016.
- [139] Montgomery D.C., *Introduction to statistical quality control*, John Wiley & Sons, 7th edition, 2013.
- [140] Montgomery D.C., Mastrangelo C.M., *Some statistical process control methods for autocorrelated data*, Journal of Quality Technology, 23(3), 179–193, 1991.
- [141] Mortell R.R., Runger G.C., *Statistical process control of multiple stream processes*, Journal of Quality Technology, 27(1), 1–12, 1995.
- [142] Motorola, *Motorola six sigma business improvement programs*, Motorola University, 2008.
- [143] Mottonen M., Belt P., Harkonen J., Haapasalo H., Kess P., *Manufacturing process capability and specification limits*, Open Industrial & Manufacturing Engineering Journal, 1, 29–36, 2008.

- [144] Mroczo F., Zarządzanie jakością, Prace Naukowe Wałbrzyskiej Wyższej Szkoły, Zarządzania i Przedsiębiorczości, Seria: Zarządzanie, WWSZiP, 2012.
- [145] Myszewski J.M., Po prostu jakość, Akademia Leona Koźmińskiego, 2009.
- [146] Nelson L., *The shewhart control chart-tests for special causes*, Journal of Quality Technology, 16(4), 237–239, 1984.
- [147] Nelson L., *Standardization of shewhart control charts*, Journal of Quality Technology, 21(4), 287–289, 1989.
- [148] Noskiewičová D., JarošovÁ E., *Complex application of statistical process control in conditions of profile bars production*, A Conference Paper presented at Faculty of Metallurgy and Materials Engineering, VSB-TU Ostrava, between 15th-17th, Brno, Czech Republic, EU, 2013.
- [149] Nowoczesna Firma, *Statystyczne sterowanie procesem*, <http://archiwum.nf.pl/10507-statystyczne-sterowanie-procesem/>, [Odczyt z dnia: 07.12.2016r.].
- [150] Oakland J.S., Statistical process control, Routledge, 6th edition, 2008.
- [151] Olejnik M., *Metodyka redukcji zmienności właściwości jakościowych wyrobów w procesach obróbki skrawaniem*, Rozprawa doktorska, Politechnika Wrocławska, 2009.
- [152] Olszewska A., *Karty kontrolne nowej generacji w zarządzaniu jakością produkcji*, Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2008.
- [153] Pande P., Neuman R.P., Cavanagh R.R., Six Sigma: sposób poprawy wyników nie tylko dla firm takich jak GE czy Motorola, Wydawnictwo KE Liber, 2003.
- [154] Pearn W.L., Kotz S., *Application of clement's method for calculating second and third generation process capability indices for non-normal pearsonian populations*, Quality Engineering, 7(1), 139–145, 1994.
- [155] Pearn W.L., Kotz S., Johnson N.L., *Distributional and inferential properties of process capability indices*, Journal of Quality Technology, 24(4), 216–231, 1992.
- [156] PN-ISO 3534-2, Statystyka – Słownik i symbole – Część 2: Statystyka stosowana, Polski Komitet Normalizacyjny, 2010.
- [157] PN-ISO 8258 + AC1, Karty Kontrolne Shewharta, Polski Komitet Normalizacyjny, 1996.
- [158] Prabhu S., Montgomery D., Runger G.C., *A combined adaptive sample size and sampling interval x control scheme*, Journal of quality technology, 26(3), 164–176, 1994.
- [159] Psarakis S., *Adaptive control charts: recent developments and extensions*, Quality and Reliability Engineering International, 31(7), 1265–1280, 2015.
- [160] Psarakis S., Vyniou A.K., Castagliola P., *Some recent developments on the effects of parameter estimation on control charts*, Quality and Reliability Engineering International, 30(8), 1113–1129, 2014.
- [161] Pyzdek T., *Process capability analysis using personal computers*, Quality Engineering, 4(3), 419–440, 1992.
- [162] Pyzdek T., *Process-control for short and small runs*, Quality Progress, 26(4), 51–60, 1993.
- [163] Pyzdek T., The Six Sigma Handbook: The Complete Guide for Greenbelts, Blackbelts, and Managers at All Levels, Revised and Expanded Edition, McGraw-Hill New York, 2003.
- [164] Quinn G.P., Keough M.J., Experimental design and data analysis for biologists, Cambridge University Press, 2002.

- [165] Rahman M.N.A., Zain R.M., Nopiah Z.M., Ghani J.A., Deros B.M., Mohamad N., Ismail A., *Statistical process control in smes. a case study*, Proceedings of 4th WSEAS/IASME International Conference on Dynamical Systems and Control, 2008.
- [166] Rao B., Kantam R., *Mean and range charts for skewed distributions—a comparison based on half logistic distribution*, Pakistan Journal of Statistics, 28(4), 2012.
- [167] Requeijo J.G., Souza A.M., *Process monitoring in production systems with large diversity of products*, 2nd International Conference on Operations Research and Enterprise Systems (ICORES 2013), 2013.
- [168] Rewilak J., *Metoda doboru środków pomiarowych w statystycznym sterowaniu procesem*, Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji, 2000.
- [169] Reynolds Jr M.R., *Variable-sampling-interval control charts with sampling at fixed times*, IIE transactions, 28(6), 497–510, 1996.
- [170] Rinne H., *The Weibull distribution: a handbook*, Chapman and Hall/CRC, 2008.
- [171] Roberts L., *SPC for right-brain thinkers: process control for non-statisticians*, ASQ Quality Press, 2005.
- [172] Rodriguez R.N., *Recent developments in process capability analysis*, Journal of Quality Technology, 24(4), 176–187, 1992.
- [173] Rogoźniński K., *Nowy marketing usług*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, 2000.
- [174] Roszak M.T., *Zarządzanie jakością w praktyce inżynierskiej*, Open Access Library, Volume 1 (31), 2014.
- [175] Rousseeuw P. J. and Verboven S., *Robust estimation in very small samples*, Computational Statistics & Data Analysis, 40(4), 741–758, 2002.
- [176] Russo S.L., Camargo M.E., Fabris J.P., *Applications of control charts arima for autocorrelated data*, Practical Concepts of Quality Control, InTech, 2012.
- [177] Sagbas A., *Improving the process capability of a turning operation by the application of statistical techniques*, Materiali in tehnologije, 43(1), 55–59, 2009.
- [178] Saghir A., Faraz A., *Approximate design and performance of the robust control charts for monitoring dispersion in phase i*, Quality and Reliability Engineering International, 34(2), 175–187, 2018.
- [179] Sałaciński T., *SPC statystyczne sterowanie procesami produkcji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2009.
- [180] Sałaciński T., *Analiza zdolności narzędzi i systemów pomiarowych*, Inżynieria maszyn, 17, 74–83, 2012.
- [181] Schroeder R.G., Linderman K., Liedtke C., Choo A.S., *Six sigma: Definition and underlying theory*, Journal of Operations Management, 26(4), 536–554, 2008.
- [182] Senvar O., Tozan H., *Process capability and six sigma methodology including fuzzy and lean approaches*, Products and Services; from R&D to Final Solutions, InTech, 2010.
- [183] Sep J., Perłowski R., Pacana A., *Techniki wspomaganie zarządzania jakością*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2007.
- [184] Shahriari H., Ahmadi O., Shokouhi A.H., *A two-phase robust estimation of process dispersion using m-estimator*, 2010.
- [185] Shewhart W.A., *Economic control of quality of manufactured product*, ASQ Quality Press, 1931.

- [186] Shore H., *General control charts for attributes*, IIE transactions, 32(12), 1149–1160, 2000.
- [187] Siegenia, *Siegenia brings scpaces to life*, www.siegenia.com/pl/index.html, [Odczyt z dnia: 01.11.2018r.].
- [188] Sinha M., Willbornm W., *Quality Control*. Second Edition, Prentice Hall, 1985.
- [189] Skołud B., *Planowanie wieloasortymentowej produkcji rytmicznej*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2000.
- [190] Snee R.D., Hoerl R.W., *Going on feel*, Quality Progress, 45(5), 39, 2012.
- [191] Sower V., Motwani J.G., Savoie M.J., *β charts for short run statistical process control*, International Journal of Quality & Reliability Management, 11(6), 50–56, 1994.
- [192] Sparks R., Chakraborti S., *Detecting changes in location using distribution-free control charts with big data*, Quality and Reliability Engineering International, 33(8), 2577–2595, 2017.
- [193] Stapenhurst T., *Mastering statistical process control*, Routledge, 2013.
- [194] Stokłosa P., *Porównanie współczynników zdolności cp, cpk oraz pp, ppk*, <https://www.pronost.pl/artykuly/46-spc-msa-metrologia/291-porownanie-wspolczynnikow-zdolnosci-cp-cpk-oraz-pp-ppk>, [Odczyt z dnia: 20.01.2015].
- [195] Stoumbos Z.G., Reynolds Jr M.R., Ryan T.P., Woodall W.H., *The state of statistical process control as we proceed into the 21st century*, Journal of the American Statistical Association, 95(451), 992–998, 2000.
- [196] Stoumbos Z.G., Sullivan J.H., *Robustness to non-normality of the multivariate ewma control chart*, Journal of Quality Technology, 34(3), 260, 2002.
- [197] Sullivan J.H., Jones L.A., *A self-starting control chart for multivariate individual observations*, Technometrics, 44(1), 24–33, 2002.
- [198] Sullivan J.H., Woodall W., *A comparison of multivariate control charts for individual observations*, Journal of Quality Technology, 28(4), 398–408, 1996.
- [199] Summers D.C.S., *Quality*, 6-th Edition, Pearson Education, 2017.
- [200] Szczepańska K., *Koszty jakości: dla inżynierów*, Wydawnictwo Placet, 2009.
- [201] Szczepańska K., *Metody i techniki tqm*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 72–142, 2009.
- [202] Szkoda J., *Wykorzystanie kart kontrolnych shewharta do diagnozowania stanów statystycznego uregulowania procesów produkcyjnych*, Diagnostyka, 26, 53–58, 2002.
- [203] Szkoda J., *Sterowanie jakością procesów produkcyjnych: teoria i praktyka*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, 2004.
- [204] Tague N.R., *The quality toolbox*, tom 600, ASQ Quality Press Milwaukee, 2005.
- [205] Tatum L.G., *Robust estimation of the process standard deviation for control charts*, Technometrics, 39(2), 127–141, 1997.
- [206] Thompson J.R., Koronacki J., Nieckuła J., *Techniki zarządzania jakością: od Shewharta do metody” Six Sigma”*, Akademicka Oficyna Wydawnicza ExitG, 2005.
- [207] Torng C.C., Liao H.N., Lee P.H., Wu J.C., *Performance evaluation of a tukey’s control chart in monitoring gamma distribution and short run processes*, Hong Kong: In Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, 2009.

- [208] Tsung F., Li Y., Jin M., *Statistical process control for multistage manufacturing and service operations: a review and some extensions*, International Journal of Services Operations and Informatics, 3(2), 191–204, 2008.
- [209] Wacker J.G., *A theory of formal conceptual definitions: developing theory-building measurement instruments*, Journal of Operations Management, 22(6), 629–650, 2004.
- [210] Walanus A., *Czym się różni sześć sigma od trzy sigma?*, czytelnia Statsoft Polska, 5–10, 2002.
- [211] Walanus A., *Spc i six sigma - pożądana zmienność w podejściu do metod statystycznych*, czytelnia Statsoft Polska, 115–123, 2004.
- [212] Warsza Z.L., Volodarsky E.T., *Zastosowanie metod odpornościowych w analizie dokładności pomiarów międzylaboratoryjnych (1). zasady statystyki odpornościowej, metoda hubera czyli algorytm a*, Pomiar Automatyka Robotyka, 21, 2017.
- [213] Wasserman G., Mohsen H., Franklin L., *A programme to calculate bootstrap confidence intervals for process capability index cpk*, Communication in Statistics Simulation and Computation, 20(2/3), 397–510, 1991.
- [214] Wheeler D.J., *Short run SPC*, SPC press, 1991.
- [215] Wheeler D.J., *Advanced topics in statistical process control*, tom 470, SPC press Knoxville, TN, 1995.
- [216] Wheeler D.J., *Zrozumieć zmienność: klucz do zarządzania chaosem*, ProdPress, 2008.
- [217] Wilcox R.R., *Introduction to robust estimation and hypothesis testing*, Academic press, 2011.
- [218] Woodall W.H., *Concepts and contradictions in statistical process control*, Journal of Quality Technology, 32, 341–350, 2000.
- [219] Woodall W.H., *Controversies and contradictions in statistical process control*, Quality Control and Applied Statistics, 46(4), 387–388, 2001.
- [220] Wooluru Y., Swamy D.R., Nagesh P., *The views of long term and short term process capability indices-a comparison*, International Journal of Statistics and Economics, 16, 41–53, 2015.
- [221] Yang L., Sheu S.H., *Integrating multivariate engineering process control and multivariate statistical process control*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 29(1-2), 129–136, 2006.
- [222] Yen F.Y., Chong K. M. B. and Ha L.M., *Synthetic-type control charts for time-between-events monitoring*, PloS one, 8(6), e65440, 2013.
- [223] Yin R.K., *Case study research: Design and methods (applied social research methods)*, London and Singapore: Sage, 2009.
- [224] Zalewski R.I., *Zarządzanie jakością w produkcji żywności*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, 2008.
- [225] Zhang C., Xie M., Liu J., Goh T., *A control chart for the gamma distribution as a model of time between events*, International Journal of Production Research, 45(23), 5649–5666, 2007.
- [226] Zhang W., Hill A.V., Gilbreath G.H., *A research agenda for six sigma research*, Quality management journal, 18(1), 39–53, 2011.
- [227] Zhou M., Geng W., *A robust control chart for monitoring dispersion*, Journal of Applied Mathematics, 1–5, 2013.
- [228] Zimmer L., Montgomery D.C., Runger G.C., *Guidelines for the application of adaptive control charting schemes*, International Journal of Production Research, 38(9), 1977–1992, 2000.

Wykaz publikacji autorki

- [A1] **Czabak-Górska I.D.:** *Multivariate control charts based on Data depth for subgroup location and scale - case study*, [in: *CBU International Conference Proceedings*, vol.6, p. 1042-1049, Prague 2018, DOI: <http://dx.doi.org/10.12955/cbup.v6.1292>,
- [A2] **Czabak-Górska I.D., Lorenc M.:** *Statistical performance of X and R control charts for skewed distribution - case study*, [in: *CBU International Conference Proceedings*, vol.6, p. 1050-1055, Prague 2018, DOI: <http://dx.doi.org/10.12955/cbup.v6.1293>,
- [A3] **Czabak-Górska I.D.:** *Klasyfikacja nowoczesnych kart kontrolnych*, [w:] *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji pod red. Ryszarda Knosali, TOM II, Oficyna Wydawnicza PTZP*, s. 281 -290, Opole 2017,
- [A4] **Czabak-Górska I.D.:** *The classification and characteristics of control charts*, [in: *CBU International Conference Proceedings*, vol.5, p. 86-93, Prague 2017, DOI: <http://dx.doi.org/10.12955/cbup.v5.907>,
- [A5] **Czabak-Górska I.D., Lorenc M.:** *An analysis of occurrence of the Hidden Factory phenomenon in production – based on the selected yields – case study*, [in: *CBU International Conference Proceedings*, vol. 5, p. 94-98, Prague 2017, DOI: <http://dx.doi.org/10.12955/cbup.v5.908>,
- [A6] **Czabak-Górska I.:** *Six Sigma – przegląd i kierunki jej dalszego rozwoju*, [w:] *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji pod red. Ryszarda Knosali, TOM II, Oficyna Wydawnicza PTZP*, s. 184 -195, Opole 2016
- [A7] **Czabak-Górska I.:** „*Ukryte fabryki*” – ukryte źródło marnotrawstwa, *Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej – Mechanika z. 107, nr 358/2016*, s. 25-28, Opole-Pokrzywna 2016,,
- [A8] **Czabak-Górska I.D., Kucińska-Landwójtowicz A.:** *Wskaźniki zdolności jakościowej dla rozkładów skośnych – studium przypadku*, *Zarządzanie Przedsiębiorstwem*, 3/2016, s. 12-17, 2016,
- [A9] **Czabak-Górska I.:** *Karty kontrolne X i R dla rozkładów skośnych – studium przypadku*, *Zarządzanie Przedsiębiorstwem*, 4/2016, s. 10-17, 2016,
- [A10] **Czabak-Górska I.D., Kucińska-Landwójtowicz A.:** *Identyfikacja zaburzeń procesu produkcyjnego w oparciu o analizę błędów grubych – studium przypadku*, [w:] *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji pod red. Ryszarda Knosali, TOM II, Oficyna Wydawnicza PTZP*, s. 246 -256, Opole 2015,
- [A11] **Czabak-Górska I.D.:** *Wykorzystanie analizy błędów grubych oraz krzywych Johnsona w metodzie Six Sigma*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej – Mechanika z. 105, nr 354/2015*, s. 37-40, Opole-Pokrzywna 2015,
- [A12] **Czabak-Górska I.D., Kucińska-Landwójtowicz A.:** *Application of the Gross Error Analysis to disorders identification in manufacturing process – a case study*, [in: *CBU International Conference On Innovation, Technology Transfer and Education*, [S.l.], v. 3, p. 158-164, Prague 2015, DOI: <http://dx.doi.org/10.12955/cbup.v3.597>,
- [A13] **Czabak-Górska I.D.:** *Zastosowanie cyklu DMAIC w zarządzaniu procesem reklamacji – studium przypadku*, *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni*, z. 88 listopad 2015, s. 188- 194, Gdynia 2015,

- [A14] **Czabak-Górska I.D.**, Lorenc M.: *Identyfikacja „ukrytych fabryk” w oparciu o wskaźniki wydajności stosowane w Six Sigmie – studium przypadku*, *Logistyka*, nr 6/2015, s. 47-51, 2015,
- [A15] **Czabak-Górska I.D.**: *Six Sigma jako metoda doskonalenia jakości procesów*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej – Mechanika z. 104*, nr 353/2014, s. 35-38, Opole-Pokrzywna 2014,
- [A16] **Czabak-Górska I.D.**, Lorenc M.: *Analiza stabilności procesu produkcyjnego – studium przypadku*, *Logistyka*, nr 6/2014, s. 12075 -12079, 2014,
- [A17] **Czabak-Górska I.D.**, Partyka M.A.: *Analiza porównawcza metod regresji wielokrotnej i wielowartościowych decyzyjnych drzew logicznych dla sprawności pompy zębatej*, [w:] *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji pod red. Ryszarda Knosali*, Oficyna Wydawnicza PTZP, s. 862-872, Opole 2013,
- [A18] **Czabak-Górska I.D.**: *Strukturalne wyznaczanie niezawodności dowolnego układu szeregowo-równoległego z systemowym doбором elementów*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej – Mechanika z. 102*, nr 349/2013, s. 49-52, Opole-Pokrzywna 2013,
- [A19] **Czabak-Górska I.D.**, Partyka M.A., Tiszbierek A.: *Analiza porównawcza funkcjonalności przedsiębiorstw według Katalogu Branżowego „Napędy i Sterowanie” z zakresu lat 2012-2013*, *Napędy i Sterowanie* nr 7/8, s. 150-157, Lipiec-Sierpień 2013,
- [A20] Partyka M.A., **Czabak-Górska I.D.**: *Strukturalne wyznaczanie niezawodności dowolnego układu szeregowo-równoległego ze względu na morfologiczną tablicę funkcji niezawodności dla elementów typowych*, materiały konferencyjne XLII Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Szkoleniowej Zastosowań Matematyki PAN, s.6-7, Zakopane 2013,
- [A21] **Czabak-Górska I.D.**: *Strukturalne wyznaczanie niezawodności dowolnego układu szeregowo-równoległego ze względu na morfologiczną tablicę funkcji niezawodności dla elementów pracujących niejednocześnie*, materiały konferencyjne XLII Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Szkoleniowej Zastosowań Matematyki PAN, str. 5-6, Zakopane 2013,
- [A22] Lorenc M., **Czabak-Górska I.D.**: *Computer-assisted quality management in a manufacturing company*, [in]: *Selected aspects of production systems management*, monograph, p. 105-116, Lodz 2013,
- [A23] Lorenc M., **Czabak-Górska I.D.**: *Metody statystyczne w kontroli jakości w procesie produkcji*, *Logistyka* 6/2013, s.644-647, Listopad-Grudzień 2013.

Spis rysunków

2.1	Szczegółowy schemat metodyki przyjętej do osiągnięcia założonych celów (opracowanie własne)	15
2.2	Schemat funkcjonowania dedykowanych linii produkcyjnych, elastycznych i rekonfigurowalnych systemów produkcyjnych (opracowanie własne na podstawie [113])	17
3.1	Jakość w cyklu życia wyrobu [87]	21
3.2	Struktura zarządzania jakością [174]	23
3.3	Idea sterowania jakością w ujęciu procesowym (opracowanie własne na podstawie [203])	24
3.4	Idea Sterowania jakością w obwodach sterowania [87]	25
3.5	Idea sterowania jakością procesu wytwarzania (opracowanie własne na podstawie [174])	25
3.6	Cykl Deminga [60]	26
3.7	Działania zapobiegawcze w odniesieniu do działań korygujących (opracowanie własne) [139]	27
3.8	Graficzna prezentacja idei długoterminowej dynamiki zmienności wartości średniej (opracowanie własne)	31
3.9	Diagram ewolucji <i>SPC</i> (opracowanie własne)	33
3.10	Algorytm <i>SPC</i> jako podejścia do rozwiązywania problemów [150]	36
3.11	Schemat tradycyjnego <i>SPC</i> wg Akram, Saif i Rahim (opracowanie własne na podstawie [7])	37
3.12	Idea Statystycznego Sterowania Procesem w aspekcie redukcji zmienności (opracowanie własne na podstawie [59], [139])	38
3.13	Algorytm wykorzystywania narzędzi <i>SPC</i> w sterowaniu jakością (opracowanie własne)	39
3.14	Porównanie rozkładu kilkuelementowych próbek oraz całej populacji (opracowanie własne)	41
3.15	Idea identyfikacji dryfu wartości średniej dla a) jedno- b) kilkuelementowej próbki (opracowanie własne na podstawie [224])	41
3.16	Schemat wykresu z karty kontrolnej (opracowanie własne)	42
3.17	Idea wdrażania kart kontrolnych (opracowanie własne)	42
3.18	Zakres zmienności cechy/charakterystyki opisanej rozkładem normalnym (opracowanie własne)	43
3.19	Podział klasycznych kart kontrolnych Shewharta (opracowanie własne na podstawie [203])	44
3.20	Podział kart kontrolnych (opracowanie własne na podstawie [A3], [A4])	48
3.21	Przykładowy histogram dla pomiaru średnicy pewnego elementu (opracowanie własne)	58
3.22	Wybrane kształty histogramów (opracowanie własne na podstawie [87])	58
3.23	Wybrane kształty histogramów z granicami tolerancji (opracowanie własne na podstawie [183])	60
3.24	Przykładowy wykres łodyga-liście dla pomiaru średnicy pewnego elementu (opracowanie własne)	61
3.25	Przykładowy arkusz kontrolny (opracowanie własne)	61
3.26	Struktura diagramu diagramu Pareto-Lorenza (opracowanie własne)	62
3.27	Struktura diagramu przyczynowo-skutkowego Ishikawy (opracowanie własne)	63
3.28	Schemat diagramu koncentracji wad (opracowanie własne)	64
3.29	Przykładowy diagram zależności (opracowanie własne)	65

3.30	Schemat wzorca wyrobu (opracowanie własne na podstawie [4])	65
3.31	Różnice pomiędzy rozkładami z uwagi na: a) umiejscowienie, b) rozrzut, c) kształt, d) konfigurację umiejscowienia, rozrzutu i kształtu (opracowanie własne na podstawie [4])	66
3.32	Różnice pomiędzy dokładnością a precyzją (pracowanie własne na podstawie [133], [224])	66
3.33	Struktura zmienności całkowitej (opracowanie własne na podstawie [145])	68
3.34	Schemat procesu statystycznie stabilnego (kontrolowalnego) (opracowanie własne na podstawie [193])	70
3.35	Schemat procesu statystycznie niestabilnego (niekontrolowalnego) [193] . .	70
3.36	Przykładowe histogramy dla procesów kontrolowalnych (opracowanie własne na podstawie [193])	70
3.37	Zjawisko rozwarstwienia procesu (opracowanie własne na podstawie [62]) .	71
3.38	Schemat powiązań poszczególnych etapów realizacji <i>MMP</i> (opracowanie własne na podstawie [125])	72
3.39	Prawdopodobieństwo błędu I i II rodzaju dla: a) procesu kontrolowalnego b) procesu niekontrolowalnego (opracowanie własne)	74
3.40	Cztery główne stany procesu [151]	76
3.41	Schemat odniesienia głosu procesu do głosu klienta (opracowanie własne na podstawie [151])	76
3.42	Idea analizy zdolności jakościowej (opracowanie własne)	78
3.43	Zależności pomiędzy c_p i c_{pk} (opracowanie własne na podstawie [85]) . . .	78
3.44	Idea analizy <i>PCI</i> długo- i krótkoterminowej (opracowanie własne)	82
3.45	Idea systemu pomiarowego w ujęciu procesowym [5]	86
3.46	Schemat blokowy analizy <i>MSA</i> z uwzględnieniem wpływu operatora (opracowanie własne na podstawie [14])	87
3.47	Schemat blokowy analizy <i>MSA</i> bez uwzględnienia wpływu operatora (opracowanie własne na podstawie [179])	88
3.48	Zmienność procesu i niedokładność pomiarowa: a) tradycyjnego procesu, b) procesu o wysokiej zdolności jakościowej [143]	90
4.1	Wpływ wartości odstających na rozkład bazowy (opracowanie własne) . .	93
4.2	Schemat blokowy dla pojedynczego eksperymentu - część 1 (opracowanie własne)	96
4.3	Schemat blokowy dla pojedynczego eksperymentu eksperymentu - część 1 segment I (opracowanie własne)	97
4.4	Schemat blokowy dla pojedynczego eksperymentu - część 1 segment II (opracowanie własne)	98
4.5	Schemat blokowy dla pojedynczego eksperymentu - część 1 segment III (opracowanie własne)	98
4.6	Schemat blokowy dla pojedynczego eksperymentu - część 1 segment IV (opracowanie własne)	99
4.7	Schemat blokowy dla pojedynczego eksperymentu - część 1 segment V (opracowanie własne)	99
4.8	Schemat blokowy dla pojedynczego eksperymentu - wyznaczenie α (opracowanie własne)	100
4.9	Schemat blokowy dla pojedynczego eksperymentu - wyznaczenie β (opracowanie własne)	101
4.10	Wybrane wykresy funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu normalnego (opracowanie własne)	102
4.11	Wykresy funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu gamma (opracowanie własne)	104
4.12	Wykresy funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu Weibulla (opracowanie własne)	105
4.13	Wykresy funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu log-normalnego (opracowanie własne)	107
4.15	Histogramy rozkładów rozstępu i <i>M</i> -estymatora zmienności (opracowanie własne)	108
4.17	Histogramy rozkładów rozstępu i rozstępu odpornościowego (opracowanie własne)	109
4.18	Histogramy rozkładów średniej i <i>M</i> -estymatora położenia (opracowanie własne)	110

4.19	Histogramy rozkładów rozstępu i rozstępu odpornościowego dla rozkładu gamma i $\kappa_3 = 0,25$ (opracowanie własne)	111
4.20	Histogramy rozkładów rozstępu i rozstępu odpornościowego dla rozkładu gamma i $\kappa_3 = 2,00$ (opracowanie własne)	112
4.21	Histogramy rozkładów rozstępu i rozstępu odpornościowego dla rozkładu Weibulla i $\kappa_3 = 0,25$ (opracowanie własne)	112
4.22	Histogramy rozkładów rozstępu i rozstępu odpornościowego dla rozkładu Weibulla i $\kappa_3 = 2,00$ (opracowanie własne)	113
4.23	Histogramy rozkładów rozstępu i rozstępu odpornościowego dla rozkładu log-normalnego i $\kappa_3 = 0,25$ (opracowanie własne)	113
4.24	Histogramy estymatorów rozstępu i rozstępu odpornościowego dla rozkładu log-normalnego i $\kappa_3 = 2,00$ (opracowanie własne)	114
4.25	Histogramy rozkładów średniej i średniej odpornościowej dla rozkładu gamma i $\kappa_3 = 0,25$ (opracowanie własne)	115
4.26	Histogramy rozkładów średniej i średniej odpornościowej dla rozkładu gamma i $\kappa_3 = 2,00$ (opracowanie własne)	115
4.27	Histogramy rozkładów średniej i średniej odpornościowej dla rozkładu Weibulla i $\kappa_3 = 0,25$ (opracowanie własne)	116
4.28	Histogramy rozkładów średniej i średniej odpornościowej dla rozkładu Weibulla i $\kappa_3 = 2,00$ (opracowanie własne)	116
4.29	Histogramy rozkładów średniej i średniej odpornościowej dla rozkładu log-normalnego i $\kappa_3 = 0,25$ (opracowanie własne)	117
4.30	Histogramy rozkładów średniej i średniej odpornościowej dla rozkładu log-normalnego i $\kappa_3 = 2,00$ (opracowanie własne)	117
4.31	Histogramy dla rozkładu normalnego $N(1, 1)$ wersja A (opracowanie własne)	119
4.32	Histogramy dla rozkładu normalnego $N(1, 1)$ wersja B (opracowanie własne)	119
4.33	Histogramy dla rozkładu gamma wersja A (opracowanie własne)	119
4.34	Histogramy dla rozkładu gamma wersja B (opracowanie własne)	120
4.35	Histogramy dla rozkładu Weibulla wersja A (opracowanie własne)	120
4.36	Histogramy dla rozkładu Weibulla wersja B (opracowanie własne)	120
4.37	Histogramy dla rozkładu log-normalnego wersja A (opracowanie własne)	121
4.38	Histogramy dla rozkładu log-normalnego wersja B (opracowanie własne)	121
4.39	Histogramy dla granic kontrolnych karty średnich - rozkład normalny $N(1, 1)$ (opracowanie własne)	126
4.40	Histogramy dla górnych granic kontrolnych karty średnich - rozkład normalny $N(1, 1)$ i $n = 3$ (opracowanie własne)	127
4.41	Histogramy dla dolnych granic kontrolnych karty średnich - rozkład normalny $N(1, 1)$ i $n = 3$ (opracowanie własne)	127
4.43	Histogramy dla granic kontrolnych karty rozstępów - rozkład normalny $N(1, 1)$ (opracowanie własne)	128
4.44	Histogramy dla górnych granic kontrolnych karty rozstępów - rozkład normalny $N(1, 1)$ i $n = 3$ (opracowanie własne)	128
4.45	Histogramy dla dolnych granic kontrolnych karty rozstępów - rozkład normalny $N(1, 1)$ i $n = 3$ (opracowanie własne)	128
4.46	Histogramy rozstępów klasycznych i odpornościowych oraz rozstępów klasycznych i znormalizowanych odpornościowych - rozkład normalny $N(1, 1)$ (opracowanie własne)	129
4.47	Schematyczne ujęcie funkcji gęstości prawdopodobieństwa procesu produkcyjnego i granic kontrolnych (opracowanie własne)	130
4.48	Schemat odpornościowej karty średniej z ruchomymi granicami kontrolnymi proponowanej dla produkcji wielosortymentowej (opracowanie własne)	133
4.49	Wartość parametru siły zaburzenia k w zależności od wartości parametrów p_k i p_s rozkładu zaburzającego (opracowanie własne)	138
4.50	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład normalny oraz zaburzenie stałą (opracowanie własne)	139
4.51	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład normalny oraz zaburzenie rozkładem w wersji A (opracowanie własne)	139
4.52	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład normalny oraz zaburzenie rozkładem w wersji B (opracowanie własne)	140

4.53	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępu dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład normalny oraz zaburzenie stałą (opracowanie własne)	141
4.54	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępu dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład normalny oraz zaburzenie rozkładem w wersji A (opracowanie własne)	142
4.55	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępu dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład normalny oraz zaburzenie rozkładem w wersji B (opracowanie własne)	142
5.1	Proponowana metoda statystycznego sterowania procesem w produkcji wieloasortymentowej (opracowanie własne)	151
5.2	Idea dwuczynnikowej analizy Nested ANOVA w aspekcie zmienności (opracowanie własne na podstawie [164])	154
5.3	Logo przedsiębiorstwa - Siegenia [187]	156
5.4	TITAN axcent 24+ [187]	157
5.5	Listwa okuciowa o indeksie 615561 – 002 przed opreacją przetłoczenia (zdjęcie z przedsiębiorstwa)	158
5.6	Prasa na której odbywa się przetłoczenie listwy stałej o indeksie 615561 – 002 (zdjęcie z przedsiębiorstwa)	158
5.7	Listwa stała o indeksie 615561 – 002 (zdjęcie z przedsiębiorstwa)	159
5.8	Listwa przesuwana o indeksie 615560 – 001 (zdjęcie z przedsiębiorstwa)	159
5.9	Listwa przesuwana o indeksie 613984 – 001 (zdjęcie z przedsiębiorstwa)	159
5.10	Urządzenie kontrolno-pomiarowe - Tesa.hite 400 (a) www.hroberts-di.com (b) zdjęcie z przedsiębiorstwa)	160
5.11	Arkusze raportu <i>MSA</i> - listwa ruchoma o indeksie 615560 – 001 (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	160
5.12	Histogram i wykres $Q - Q$ - listwa stała o indeksie 615561 – 002 przetłoczenie mniejsze prawe (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	161
5.13	Histogram i wykres $Q - Q$ - listwa stała o indeksie 615561 – 002 przetłoczenie większe prawe (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	162
5.14	Histogram i wykres $Q - Q$ - listwa ruchoma o indeksie 615560 – 001 przetłoczenie mniejsze prawe (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	162
5.15	Histogram i wykres $Q - Q$ - listwa ruchoma o indeksie 615560 – 001 przetłoczenie większe prawe (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	162
5.16	Histogram i wykres $Q - Q$ - listwa ruchoma o indeksie 613948 – 001 przetłoczenie prawe (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	163
5.17	Karta fazy I dla przetłoczenia listwy stałej o indeksie 615561 – 002 (a) karta średniej (b) karta rozstępu - przetłoczenie większe (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	164
5.18	Karta fazy I dla przetłoczenia listwy stałej o indeksie 615561 – 002 (a) karta średniej (b) karta rozstępu - przetłoczenie mniejsze (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	164
5.19	Karta fazy I dla przetłoczenia listwy przesuwnej o indeksie 615560 – 001 (a) karta średniej (b) karta rozstępu - przetłoczenie większe (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	164
5.20	Karta fazy I dla przetłoczenia listwy przesuwnej o indeksie 615560 – 001 (a) karta średniej (b) karta rozstępu - przetłoczenie mniejsze (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	165
5.21	Karta fazy I dla przetłoczenia listwy przesuwnej o indeksie 613984 – 001 (a) karta średniej (b) karta rozstępu (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	165
5.22	Karta fazy I dla przetłoczenia listwy przesuwnej o indeksie 615560 – 001 (a) karta średniej (b) karta rozstępu - przetłoczenie mniejsze; stan kontrolowalny (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	167
5.23	Karta dla fazy II dla przetłoczenia listwy przesuwnej o indeksie 615560 – 001 (a) karta średniej (b) karta rozstępu - przetłoczenie mniejsze (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	168

5.24	Karta dla fazy II dla przetłoczenia listw przesuwnych o indeksie 615560 – 001 i 613984 – 001 (a) karta średniej (b) karta rozstępu - przetłoczenie większe (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa) . . .	169
5.25	Diagram Ishikawy dla operacji przetłoczenia (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	170
D.1	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład normalny i zaburzenie stałą (opracowanie własne) . . .	231
D.2	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład gamma i zaburzenie stałą (opracowanie własne)	231
D.3	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład log-normalny i zaburzenie stałą (opracowanie własne) .	232
D.4	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład Weibulla i zaburzenie stałą (opracowanie własne)	232
D.5	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład normalny i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne)	233
D.6	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład gamma i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne) .	233
D.7	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład log-normalny i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne)	234
D.8	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład Weibulla i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne)	234
D.9	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład normalny i zaburzenie w wersji B (opracowanie własne)	235
D.10	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład gamma i zaburzenie w wersji B (opracowanie własne) .	235
D.11	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład log-normalny i zaburzenie w wersji B (opracowanie własne)	236
D.12	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład Weibulla i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne)	236
D.13	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład normalny i zaburzenie stałą (opracowanie własne) . . .	237
D.14	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład gamma i zaburzenie stałą (opracowanie własne)	237
D.15	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład log-normalny i zaburzenie stałą (opracowanie własne) .	238
D.16	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład Weibulla i zaburzenie stałą (opracowanie własne) . . .	238
D.17	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład normalny i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne)	239
D.18	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład gamma i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne) .	239
D.19	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład log-normalny i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne)	240
D.20	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład Weibulla i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne)	240
D.21	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład normalny i zaburzenie w wersji B (opracowanie własne)	241
D.22	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład gamma i zaburzenie w wersji B (opracowanie własne) .	241
D.23	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład log-normalny i zaburzenie w wersji B (opracowanie własne)	242
D.24	Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład Weibulla i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne)	242
E.1	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład gamma oraz zaburzenie stałą (opracowanie własne)	243
E.2	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład log-normalny oraz zaburzenie stałą (opracowanie własne)	244

E.3	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład Weibulla oraz zaburzenie stałą (opracowanie własne)	244
E.4	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład gamma oraz zaburzenie rozkładem w wersji A (opracowanie własne)	245
E.5	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład log-normalny oraz zaburzenie rozkładem w wersji A (opracowanie własne)	245
E.6	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład Weibulla oraz zaburzenie rozkładem w wersji A (opracowanie własne)	246
E.7	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład gamma oraz zaburzenie rozkładem w wersji B (opracowanie własne)	246
E.8	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład log-normalny oraz zaburzenie rozkładem w wersji B (opracowanie własne)	247
E.9	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępu dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład gamma oraz zaburzenie stałą (opracowanie własne)	248
E.10	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępu dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład log-normalny oraz zaburzenie stałą (opracowanie własne)	249
E.11	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępu dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład Weibulla oraz zaburzenie stałą (opracowanie własne)	249
E.12	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępów dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład gamma oraz zaburzenie rozkładem w wersji A (opracowanie własne)	250
E.13	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępów dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład log-normalny oraz zaburzenie rozkładem w wersji A (opracowanie własne)	250
E.14	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępów dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład Weibulla oraz zaburzenie rozkładem w wersji A (opracowanie własne)	251
E.15	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępów dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład gamma oraz zaburzenie rozkładem w wersji B (opracowanie własne)	251
E.16	Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępów dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład log-normalny oraz zaburzenie rozkładem w wersji B (opracowanie własne)	252

Spis tabel

3.1	Wybrane definicje pojęcia jakości (opracowanie własne)	22
3.3	Wybrane definicje koncepcji Six Sigma (opracowanie własne)	28
3.4	Działania, narzędzia i metody w cyklu <i>DMAIC</i> (opracowanie własne na podstawie [57], [88])	30
3.5	Porównanie podejścia 3σ i 6σ (opracowanie własne)	31
3.6	Ocena stabilności procesu z uwagi na długoterminową zmienność [190] . .	32
3.7	Wybrane definicje metody <i>SPC</i> (opracowanie własne)	34
3.8	Charakterystyka klasycznych kart Shewharta (opracowanie własne na podstawie [202])	44
3.9	Testy konfiguracji wg Western Electrics (opracowanie własne na podstawie [46])	45
3.10	Testy konfiguracji wg Nelsona (opracowanie własne na podstawie [146]) .	46
3.11	Wybrane stałe (d_2, d_3) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ [139]	53
3.12	Wybrane stałe (d_2^*, d_3^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ i wybranych wartości κ_3 (opracowanie własne)	55
3.13	Wybrane stałe (c_4^*, d_4^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ i wybranych wartości κ_3 (opracowanie własne)	55
3.14	Charakterystyka przyczyn zmienności wg kategorii $6M$ [145]	68
3.15	Interpretacja błędów I i II rodzaju [2]	73
3.16	Wybrane definicje zdolności jakościowej procesu (opracowanie własne) . .	77
3.17	Interpretacja <i>PCI</i> według Montgomery [139]	79
3.18	Interpretacja <i>PCI</i> według Hamrola [85]	79
3.19	ppm wyznaczone w oparciu o c_{pk} - przypadek tolerowania jedno- i dwustronnego (opracowanie własne)	85
3.20	ppm wyznaczone w oparciu o różnicę $c_p - c_{pk}$ dla procesu niewycentrowanego (opracowanie własne)	85
3.21	Definicje i graficzny schemat błędów systemu pomiarowego (opracowanie własne na podstawie [5])	88
4.1	Wybrane opisy rozkładu normalnego [17]	102
4.2	Wybrane opisy rozkładu gamma [8], [95]	103
4.3	Wartość parametru kształtu p_k w zależności od wsp. skośności κ_3 dla rozkładu gamma (opracowanie własne)	103
4.4	Wybrane opisy rozkładu Weibulla [95], [170]	104
4.4	Wybrane opisy rozkładu Weibulla [95], [170] (kontynuacja)	105
4.5	Wartość parametru kształtu p_k w zależności od wsp. skośności κ_3 dla rozkładu Weibulla (opracowanie własne)	105
4.6	Wybrane opisy rozkładu log-normalnego [49]	106
4.7	Wartość parametru skali σ w zależności od wsp. skośności κ_3 dla rozkładu log-normalnego (opracowanie własne)	106
4.8	Wybrane wartości stałej d_2^M dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ i rozkładu normalnego (opracowanie własne)	109
4.9	Wartości α i ARL_0 dla karty położenia oraz danych niezaburzonych (opracowanie własne)	135
4.10	Wartości α i ARL_0 dla karty położenia oraz danych niezaburzonych - maksymalna liczba redukcji 0 (opracowanie własne)	136
4.11	Wartości α i ARL_0 dla karty położenia oraz danych niezaburzonych - maksymalna liczba redukcji 1 (opracowanie własne)	137

5.1	Działania, narzędzia i metody wspomagające, które mogą zostać wykorzystane w proponowanej metodzie statystycznego sterowania procesem (opracowanie własne)	152
5.2	Tabela jednoczynnikowej analizy Nested ANOVA [164]	155
5.3	Tabela wariancji - jednoczynnikowa analiza Nested ANOVA [164]	155
5.4	Zestawienie wyników analizy <i>MSA</i> przetłoczenia dla wszystkich elementów (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	161
5.5	Zestawienie wartości skośności κ_3 dla przetłoczenia dla wszystkich elementów (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	163
5.6	Tabela analizy Nested ANOVA dla przetłoczenia większego listwy stałej o indeksie 615561 – 002 (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	166
5.7	Tabela wariancji - Nested ANOVA dla przetłoczenia większego listwy stałej o indeksie 615561 – 002 (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	166
5.8	Tabela analizy Nested ANOVA dla przetłoczenia mniejszego listwy stałej o indeksie 615561 – 002 (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	166
5.9	Tabela wariancji - Nested ANOVA dla przetłoczenia mniejszego listwy stałej o indeksie 615561 – 002 (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	167
5.10	Wyniki analizy bieżącej zdolności jakościowej w fazie mierz (opracowanie własne na podstawie danych z przedsiębiorstwa)	167
A.1	Wybrane stałe (d_2, d_3) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ [139]	203
A.2	Wybrane stałe (d_2^*, d_3^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ (opracowanie własne)	203
A.3	Wybrane stałe (c_4^*, d_4^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ (opracowanie własne)	204
A.4	Wybrane stałe (d_2^*, d_3^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład gamma (opracowanie własne)	204
A.5	Wybrane stałe (c_4^*, d_4^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład gamma (opracowanie własne)	204
A.6	Wybrane stałe (d_2^*, d_3^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład log-normalny (opracowanie własne)	205
A.7	Wybrane stałe (c_4^*, d_4^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład log-normalny (opracowanie własne)	205
A.8	Wybrane stałe (d_2^*, d_3^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład Weibulla (opracowanie własne)	205
A.9	Wybrane stałe (c_4^*, d_4^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład Weibulla (opracowanie własne)	206
A.10	Wybrane stałe (d_2^M) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ (opracowanie własne)	206
A.11	Wybrane stałe (d_2^R, d_3^R) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ (opracowanie własne)	206
A.12	Wybrane stałe (d_2^{M*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ (opracowanie własne)	207
A.13	Wybrane stałe (d_2^{M*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład gamma (opracowanie własne)	207
A.14	Wybrane stałe (d_2^{M*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład log-normalny (opracowanie własne)	207
A.15	Wybrane stałe (d_2^{M*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład Weibulla (opracowanie własne)	208
A.16	Wybrane stałe (d_2^{R*}, d_3^{R*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ (opracowanie własne)	208
A.17	Wybrane stałe (c_4^{R*}, d_4^{R*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ (opracowanie własne)	208
A.18	Wybrane stałe (d_2^{R*}, d_3^{R*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład gamma (opracowanie własne)	209
A.19	Wybrane stałe (c_4^{R*}, d_4^{R*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład gamma (opracowanie własne)	209
A.20	Wybrane stałe (d_2^{R*}, d_3^{R*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład log-normalny (opracowanie własne)	209
A.21	Wybrane stałe (c_4^{R*}, d_4^{R*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład log-normalny (opracowanie własne)	210
A.22	Wybrane stałe (d_2^{R*}, d_3^{R*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład Weibulla (opracowanie własne)	210

A.23 Wybrane stałe (c_4^{R*}, d_4^{R*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład Weibulla (opracowanie własne)	210
B.1 Wartości MSE dla estymatorów położenia - $m = 50$ segment I (opracowanie własne)	211
B.2 Wartości MSE dla estymatorów położenia - $m = 50$ segment II wersja A (opracowanie własne)	212
B.3 Wartości MSE dla estymatorów położenia - $m = 50$ segment II wersja B (opracowanie własne)	213
B.4 Wartości MSE dla estymatorów położenia - $m = 50$ segment III wersja A (opracowanie własne)	214
B.5 Wartości MSE dla estymatorów położenia - $m = 50$ segment III wersja B (opracowanie własne)	215
B.6 Wartości MSE dla estymatorów położenia - $m = 50$ segment IV (opracowanie własne)	216
B.7 Wartości MSE dla estymatorów położenia - $m = 50$ segment V (opracowanie własne)	217
B.8 Wartości MSE dla estymatorów zmienności - $m = 50$ segment I (opracowanie własne)	218
B.9 Wartości MSE estymatorów zmienności - $m = 50$ segment II wersja A (opracowanie własne)	219
B.10 Wartości MSE estymatorów zmienności - $m = 50$ segment II wersja B (opracowanie własne)	220
B.11 Wartości MSE estymatorów zmienności - $m = 50$ segment III wersja A (opracowanie własne)	221
B.12 Wartości MSE estymatorów zmienności - $m = 50$ segment III wersja B (opracowanie własne)	222
B.13 Wartości MSE estymatorów zmienności - $m = 50$ segment IV (opracowanie własne)	223
B.14 Wartości MSE estymatorów zmienności - $m = 50$ segment V (opracowanie własne)	224
C.1 Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów położenia i 5% udziału rozkładu zaburzającego wersja A (opracowanie własne)	225
C.2 Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów położenia i 10% udziału rozkładu zaburzającego wersja A (opracowanie własne)	225
C.3 Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów położenia i 20% udziału rozkładu zaburzającego wersja A (opracowanie własne)	225
C.4 Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów położenia i 5% udziału rozkładu zaburzającego wersja B (opracowanie własne)	226
C.5 Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów położenia i 10% udziału rozkładu zaburzającego wersja B (opracowanie własne)	226
C.6 Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów położenia i 20% udziału rozkładu zaburzającego wersja B (opracowanie własne)	226
C.7 Wartości $RMSE_2$ dla estymatorów położenia i 5% udziału wartości odstającej równej 50 (opracowanie własne)	227
C.8 Wartości $RMSE_2$ dla estymatorów położenia i 10% udziału wartości odstającej równej 50 (opracowanie własne)	227
C.9 Wartości $RMSE_2$ dla estymatorów położenia i 20% udziału wartości odstającej równej 50 (opracowanie własne)	227
C.10 Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów zmienności i 5% udziału rozkładu zaburzającego wersja A (opracowanie własne)	228
C.11 Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów zmienności i 10% udziału rozkładu zaburzającego wersja A (opracowanie własne)	228
C.12 Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów zmienności i 20% udziału rozkładu zaburzającego wersja A (opracowanie własne)	228
C.13 Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów zmienności i 5% udziału rozkładu zaburzającego wersja B (opracowanie własne)	229
C.15 Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów zmienności i 20% udziału rozkładu zaburzającego wersja B (opracowanie własne)	229
C.16 Wartości $RMSE_2$ dla estymatorów zmienności i 5% udziału wartości odstającej równej 50 (opracowanie własne)	229

C.17 Wartości $RMSE_2$ dla estymatorów zmienności i 10% udziału wartości odstającej równej 50 (opracowanie własne)	230
C.18 Wartości $RMSE_2$ dla estymatorów zmienności i 20% udziału wartości odstającej równej 50 (opracowanie własne)	230



ZAŁĄCZNIKI

A. Stałe dla kart kontrolnych

A.1. Karta klasyczna \bar{X} i R

Tabela A.1. Wybrane stałe (d_2, d_3) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ [139]

n											
3		4		5		6		7		8	
d_2	d_3	d_2	d_3	d_2	d_3	d_2	d_3	d_2	d_3	d_2	d_3
1,693	0,888	2,059	0,880	2,326	0,864	2,534	0,848	2,704	0,833	2,847	0,820

A.2. Karta klasyczna \bar{X}_{SC} i R_{SC}

A.2.1. Rozkłady skośne

Tabela A.2. Wybrane stałe (d_2^*, d_3^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ (opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*
0,25	1,693	0,885	2,058	0,874	2,323	0,856	2,530	0,839	2,697	0,821	2,838	0,807
0,50	1,682	0,900	2,046	0,893	2,310	0,878	2,515	0,864	2,682	0,851	2,824	0,837
0,75	1,665	0,925	2,024	0,925	2,288	0,918	2,492	0,906	2,660	0,896	2,801	0,887
1,00	1,640	0,957	1,996	0,967	2,258	0,965	2,463	0,960	2,630	0,954	2,771	0,949
1,25	1,612	0,994	1,964	1,015	2,224	1,021	2,427	1,019	2,595	1,019	2,736	1,017
1,50	1,581	1,033	1,927	1,063	2,184	1,077	2,387	1,084	2,556	1,088	2,698	1,090
1,75	1,544	1,073	1,886	1,113	2,142	1,136	2,344	1,148	2,513	1,157	2,657	1,164
2,00	1,509	1,112	1,844	1,161	2,098	1,190	2,300	1,211	2,470	1,225	2,614	1,237
2,25	1,472	1,147	1,803	1,209	2,052	1,243	2,254	1,270	2,426	1,289	2,571	1,304
2,50	1,437	1,184	1,762	1,254	2,009	1,295	2,210	1,326	2,381	1,353	2,529	1,371
2,75	1,400	1,217	1,719	1,294	1,968	1,347	2,166	1,380	2,337	1,408	2,487	1,434
3,00	1,364	1,246	1,679	1,335	1,922	1,386	2,125	1,432	2,296	1,464	2,446	1,491

Tabela A.3. Wybrane stałe (c_4^* , d_4^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ (opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*
0,25	0,191	0,783	0,167	0,647	0,149	0,583	0,140	0,545	0,124	0,523	0,115	0,513
0,50	0,377	0,874	0,330	0,759	0,295	0,701	0,270	0,677	0,251	0,671	0,235	0,655
0,75	0,559	1,001	0,487	0,905	0,439	0,863	0,402	0,842	0,375	0,831	0,353	0,833
1,00	0,722	1,131	0,636	1,050	0,572	1,016	0,524	0,999	0,490	0,992	0,456	0,990
1,25	0,871	1,241	0,772	1,178	0,699	1,153	0,645	1,124	0,605	1,121	0,568	1,112
1,50	1,007	1,325	0,901	1,274	0,820	1,249	0,758	1,229	0,709	1,217	0,674	1,209
1,75	1,118	1,392	1,013	1,347	0,929	1,325	0,866	1,306	0,811	1,295	0,764	1,286
2,00	1,216	1,436	1,111	1,398	1,033	1,374	0,960	1,364	0,907	1,349	0,858	1,342
2,25	1,294	1,462	1,192	1,433	1,119	1,413	1,043	1,403	0,989	1,389	0,937	1,383
2,50	1,361	1,477	1,268	1,457	1,195	1,441	1,122	1,430	1,068	1,422	1,015	1,411
2,75	1,409	1,483	1,332	1,471	1,262	1,460	1,190	1,448	1,135	1,442	1,088	1,435
3,00	1,442	1,478	1,378	1,473	1,318	1,468	1,256	1,462	1,206	1,456	1,155	1,448

A.2.2. Poszczególne rozkłady

Tabela A.4. Wybrane stałe (d_2^* , d_3^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład gamma (opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*
0,25	1,689	0,893	2,056	0,886	2,320	0,871	2,530	0,856	2,700	0,842	2,842	0,828
0,50	1,679	0,905	2,043	0,903	2,309	0,891	2,516	0,879	2,687	0,867	2,830	0,856
0,75	1,664	0,930	2,023	0,931	2,288	0,924	2,493	0,914	2,665	0,907	2,807	0,897
1,00	1,641	0,959	1,998	0,969	2,258	0,967	2,465	0,963	2,632	0,957	2,775	0,953
1,25	1,611	0,993	1,966	1,016	2,224	1,017	2,427	1,018	2,594	1,016	2,736	1,012
1,50	1,579	1,032	1,926	1,061	2,184	1,075	2,383	1,079	2,552	1,084	2,692	1,082
1,75	1,541	1,076	1,880	1,113	2,134	1,133	2,335	1,143	2,503	1,152	2,643	1,155
2,00	1,499	1,117	1,832	1,166	2,084	1,194	2,282	1,209	2,450	1,222	2,593	1,232
2,25	1,455	1,159	1,781	1,215	2,028	1,251	2,228	1,275	2,396	1,290	2,540	1,304
2,50	1,411	1,204	1,731	1,270	1,974	1,312	2,173	1,338	2,341	1,360	2,489	1,373
2,75	1,366	1,245	1,678	1,319	1,923	1,370	2,121	1,402	2,287	1,422	2,434	1,443
3,00	1,320	1,280	1,627	1,366	1,864	1,418	2,066	1,460	2,237	1,491	2,385	1,509

Tabela A.5. Wybrane stałe (c_4^* , d_4^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład gamma (opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*
0,25	0,191	0,822	0,163	0,701	0,145	0,638	0,140	0,606	0,117	0,582	0,118	0,577
0,50	0,378	0,907	0,331	0,798	0,293	0,746	0,266	0,724	0,249	0,714	0,239	0,704
0,75	0,555	1,025	0,491	0,924	0,437	0,887	0,403	0,866	0,374	0,858	0,352	0,856
1,00	0,727	1,135	0,637	1,054	0,572	1,031	0,522	1,010	0,491	1,003	0,454	0,997
1,25	0,875	1,238	0,773	1,174	0,698	1,136	0,645	1,116	0,605	1,115	0,567	1,100
1,50	1,008	1,309	0,899	1,252	0,825	1,227	0,754	1,200	0,711	1,193	0,670	1,179
1,75	1,118	1,373	1,015	1,315	0,930	1,290	0,860	1,266	0,810	1,250	0,766	1,239
2,00	1,215	1,413	1,110	1,363	1,040	1,333	0,964	1,317	0,904	1,302	0,856	1,292
2,25	1,298	1,444	1,196	1,398	1,115	1,371	1,046	1,355	0,991	1,336	0,938	1,328
2,50	1,360	1,468	1,267	1,431	1,190	1,402	1,126	1,385	1,060	1,371	1,012	1,352
2,75	1,409	1,481	1,334	1,452	1,261	1,431	1,193	1,408	1,137	1,398	1,091	1,384
3,00	1,444	1,487	1,378	1,468	1,317	1,448	1,254	1,433	1,208	1,421	1,161	1,406

Tabela A.6. Wybrane stałe (d_2^*, d_3^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład log-normalny (opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*
0,25	1,688	0,893	2,054	0,887	2,322	0,874	2,530	0,859	2,700	0,844	2,842	0,832
0,50	1,678	0,910	2,042	0,908	2,310	0,898	2,517	0,888	2,687	0,878	2,831	0,865
0,75	1,660	0,935	2,021	0,942	2,288	0,939	2,496	0,931	2,666	0,924	2,811	0,919
1,00	1,635	0,965	1,994	0,981	2,260	0,985	2,467	0,983	2,641	0,983	2,786	0,982
1,25	1,613	1,000	1,967	1,024	2,232	1,039	2,439	1,041	2,611	1,046	2,756	1,048
1,50	1,586	1,033	1,934	1,070	2,194	1,088	2,404	1,100	2,578	1,109	2,726	1,117
1,75	1,554	1,065	1,901	1,112	2,161	1,139	2,368	1,159	2,543	1,172	2,694	1,186
2,00	1,528	1,100	1,867	1,152	2,126	1,186	2,336	1,215	2,509	1,231	2,660	1,250
2,25	1,498	1,126	1,838	1,195	2,090	1,230	2,298	1,262	2,476	1,288	2,622	1,306
2,50	1,472	1,155	1,806	1,230	2,059	1,273	2,264	1,310	2,440	1,342	2,590	1,367
2,75	1,444	1,176	1,774	1,257	2,028	1,316	2,230	1,351	2,406	1,387	2,558	1,420
3,00	1,418	1,203	1,746	1,296	1,993	1,346	2,199	1,395	2,373	1,430	2,526	1,467

Tabela A.7. Wybrane stałe (c_4^*, d_4^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład log-normalny (opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*
0,25	0,192	0,830	0,172	0,704	0,151	0,651	0,139	0,615	0,127	0,601	0,115	0,587
0,50	0,374	0,926	0,327	0,827	0,294	0,774	0,274	0,753	0,250	0,755	0,230	0,734
0,75	0,563	1,061	0,486	0,990	0,440	0,950	0,401	0,934	0,374	0,921	0,355	0,932
1,00	0,717	1,203	0,638	1,137	0,573	1,108	0,527	1,100	0,490	1,097	0,455	1,103
1,25	0,871	1,307	0,771	1,261	0,699	1,266	0,648	1,233	0,607	1,239	0,571	1,230
1,50	1,006	1,390	0,901	1,362	0,821	1,351	0,761	1,342	0,709	1,332	0,674	1,338
1,75	1,120	1,445	1,013	1,427	0,925	1,417	0,867	1,415	0,807	1,407	0,760	1,406
2,00	1,213	1,478	1,113	1,466	1,034	1,458	0,956	1,459	0,910	1,447	0,858	1,449
2,25	1,289	1,490	1,190	1,487	1,122	1,479	1,034	1,480	0,982	1,472	0,935	1,476
2,50	1,365	1,487	1,269	1,491	1,198	1,490	1,116	1,490	1,073	1,489	1,018	1,489
2,75	1,413	1,480	1,327	1,484	1,265	1,488	1,187	1,490	1,126	1,490	1,086	1,490
3,00	1,437	1,456	1,375	1,463	1,312	1,477	1,259	1,481	1,205	1,485	1,152	1,483

Tabela A.8. Wybrane stałe (d_2^*, d_3^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład Weibulla (opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*	d_2^*	d_3^*
0,25	1,703	0,870	2,064	0,849	2,327	0,823	2,530	0,801	2,692	0,779	2,828	0,760
0,50	1,690	0,884	2,053	0,868	2,311	0,846	2,513	0,826	2,673	0,807	2,811	0,790
0,75	1,671	0,911	2,028	0,904	2,288	0,890	2,487	0,872	2,650	0,856	2,784	0,844
1,00	1,644	0,947	1,996	0,950	2,255	0,943	2,456	0,934	2,618	0,921	2,751	0,912
1,25	1,612	0,989	1,960	1,006	2,215	1,006	2,415	0,999	2,579	0,996	2,716	0,990
1,50	1,578	1,035	1,920	1,058	2,174	1,069	2,374	1,072	2,538	1,072	2,677	1,071
1,75	1,537	1,078	1,876	1,114	2,130	1,136	2,330	1,141	2,493	1,148	2,633	1,151
2,00	1,501	1,119	1,833	1,166	2,083	1,191	2,283	1,208	2,451	1,221	2,590	1,228
2,25	1,461	1,155	1,789	1,216	2,038	1,249	2,238	1,273	2,405	1,290	2,550	1,302
2,50	1,426	1,192	1,748	1,261	1,993	1,301	2,193	1,330	2,362	1,356	2,508	1,372
2,75	1,390	1,229	1,705	1,305	1,953	1,355	2,149	1,387	2,319	1,414	2,470	1,439
3,00	1,354	1,256	1,666	1,343	1,908	1,395	2,110	1,441	2,278	1,471	2,426	1,496

Tabela A.9. Wybrane stałe (c_4^*, d_4^*) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład Weibulla
(opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*	c_4^*	d_4^*
0,25	0,189	0,696	0,166	0,537	0,150	0,459	0,140	0,414	0,126	0,386	0,111	0,374
0,50	0,379	0,788	0,330	0,651	0,297	0,583	0,272	0,555	0,254	0,544	0,234	0,527
0,75	0,561	0,918	0,484	0,801	0,441	0,753	0,402	0,725	0,377	0,715	0,353	0,712
1,00	0,723	1,054	0,633	0,959	0,572	0,911	0,524	0,889	0,490	0,877	0,459	0,870
1,25	0,867	1,177	0,773	1,099	0,700	1,057	0,642	1,024	0,604	1,008	0,565	1,005
1,50	1,006	1,278	0,902	1,206	0,814	1,168	0,760	1,144	0,707	1,127	0,677	1,109
1,75	1,114	1,356	1,011	1,298	0,932	1,268	0,873	1,237	0,815	1,226	0,765	1,213
2,00	1,222	1,416	1,111	1,364	1,025	1,330	0,962	1,316	0,907	1,297	0,861	1,286
2,25	1,294	1,453	1,192	1,416	1,120	1,391	1,049	1,374	0,994	1,357	0,939	1,344
2,50	1,359	1,477	1,269	1,451	1,196	1,429	1,126	1,416	1,070	1,407	1,017	1,391
2,75	1,404	1,489	1,336	1,476	1,259	1,460	1,191	1,447	1,142	1,439	1,088	1,432
3,00	1,446	1,490	1,380	1,488	1,324	1,478	1,254	1,471	1,206	1,461	1,151	1,454

A.3. Karta odpornościowa \bar{X}_R i R_R

A.3.1. M -estymator

Tabela A.10. Wybrane stałe (d_2^M) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ (opracowanie własne)

n					
3	4	5	6	7	8
d_2^M	d_2^M	d_2^M	d_2^M	d_2^M	d_2^M
0,586	0,763	0,759	0,823	0,832	0,861

A.3.2. Rozstęp odpornościowy

Tabela A.11. Wybrane stałe (d_2^R, d_3^R) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ (opracowanie własne)

n											
3		4		5		6		7		8	
d_2^R	d_3^R	d_2^R	d_3^R	d_2^R	d_3^R	d_2^R	d_3^R	d_2^R	d_3^R	d_2^R	d_3^R
1,692	1,274	2,058	1,230	2,324	1,182	2,532	1,144	2,701	1,098	2,850	1,071

A.4. Karta odpornościowa \bar{X}_{RSC} i R_{RSC}

A.4.1. M -estymator

Rozkłady skośne

Tabela A.12. Wybrane stałe (d_2^{M*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ (opracowanie własne)

κ_3	n					
	3	4	5	6	7	8
	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}
0,25	0,585	0,765	0,760	0,825	0,835	0,865
0,50	0,577	0,756	0,749	0,815	0,822	0,853
0,75	0,563	0,741	0,731	0,796	0,803	0,833
1,00	0,546	0,721	0,708	0,771	0,776	0,806
1,25	0,525	0,697	0,679	0,741	0,744	0,773
1,50	0,503	0,670	0,647	0,707	0,707	0,736
1,75	0,478	0,641	0,614	0,671	0,669	0,696
2,00	0,454	0,613	0,579	0,635	0,629	0,655
2,25	0,430	0,582	0,544	0,599	0,590	0,615
2,50	0,406	0,554	0,511	0,563	0,551	0,575
2,75	0,384	0,526	0,478	0,528	0,513	0,537
3,00	0,362	0,500	0,447	0,495	0,478	0,500

Poszczególne rozkłady

Tabela A.13. Wybrane stałe (d_2^{M*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład gamma (opracowanie własne)

κ_3	n					
	3	4	5	6	7	8
	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}
0,25	0,584	0,761	0,755	0,819	0,828	0,858
0,50	0,576	0,754	0,746	0,810	0,817	0,848
0,75	0,564	0,739	0,730	0,793	0,800	0,829
1,00	0,547	0,720	0,708	0,770	0,775	0,805
1,25	0,525	0,697	0,679	0,742	0,744	0,773
1,50	0,500	0,670	0,645	0,706	0,706	0,735
1,75	0,472	0,637	0,607	0,666	0,662	0,690
2,00	0,441	0,604	0,564	0,622	0,614	0,641
2,25	0,409	0,566	0,519	0,576	0,563	0,589
2,50	0,377	0,530	0,474	0,528	0,510	0,535
2,75	0,346	0,492	0,428	0,480	0,457	0,481
3,00	0,316	0,457	0,384	0,434	0,405	0,428

Tabela A.14. Wybrane stałe (d_2^{M*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład log-normalny (opracowanie własne)

κ_3	n					
	3	4	5	6	7	8
	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}
0,25	0,584	0,760	0,755	0,818	0,828	0,857
0,50	0,576	0,750	0,743	0,807	0,815	0,844
0,75	0,564	0,736	0,726	0,789	0,795	0,824
1,00	0,550	0,717	0,706	0,765	0,772	0,799
1,25	0,532	0,696	0,682	0,740	0,744	0,771
1,50	0,515	0,674	0,658	0,713	0,716	0,742
1,75	0,497	0,651	0,633	0,686	0,687	0,713
2,00	0,480	0,631	0,608	0,661	0,660	0,684
2,25	0,463	0,609	0,585	0,636	0,633	0,656
2,50	0,447	0,589	0,563	0,612	0,608	0,631
2,75	0,432	0,570	0,543	0,589	0,585	0,607
3,00	0,418	0,553	0,523	0,569	0,563	0,584

Tabela A.15. Wybrane stałe (d_2^{M*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład Weibulla
(opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}	d_2^{M*}	
0,25	0,587	0,775	0,769	0,838	0,848	0,880						
0,50	0,578	0,765	0,758	0,827	0,835	0,869						
0,75	0,562	0,749	0,737	0,806	0,813	0,846						
1,00	0,542	0,725	0,709	0,776	0,780	0,813						
1,25	0,517	0,696	0,675	0,741	0,742	0,774						
1,50	0,493	0,667	0,639	0,702	0,699	0,730						
1,75	0,467	0,635	0,602	0,662	0,657	0,685						
2,00	0,441	0,604	0,564	0,623	0,614	0,641						
2,25	0,417	0,572	0,529	0,585	0,574	0,599						
2,50	0,394	0,544	0,495	0,549	0,534	0,559						
2,75	0,373	0,517	0,464	0,515	0,499	0,522						
3,00	0,352	0,491	0,435	0,483	0,466	0,487						

A.4.2. Rozstęp odpornościowy

Rozkłady skośne

Tabela A.16. Wybrane stałe (d_2^{R*}, d_3^{R*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ (opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}
0,25	1,692	1,267	2,056	1,224	2,323	1,175	2,530	1,138	2,697	1,091	2,838	1,062
0,50	1,682	1,272	2,044	1,233	2,310	1,180	2,514	1,145	2,683	1,097	2,824	1,068
0,75	1,665	1,281	2,022	1,247	2,288	1,192	2,492	1,158	2,660	1,110	2,801	1,082
1,00	1,639	1,289	1,994	1,267	2,257	1,209	2,462	1,178	2,631	1,130	2,771	1,102
1,25	1,612	1,305	1,963	1,294	2,224	1,233	2,426	1,205	2,594	1,156	2,736	1,130
1,50	1,580	1,326	1,925	1,322	2,183	1,261	2,386	1,237	2,556	1,189	2,698	1,166
1,75	1,545	1,346	1,884	1,353	2,141	1,292	2,345	1,275	2,513	1,227	2,657	1,205
2,00	1,509	1,372	1,842	1,387	2,098	1,331	2,300	1,316	2,470	1,271	2,614	1,250
2,25	1,471	1,399	1,801	1,423	2,052	1,372	2,254	1,359	2,426	1,320	2,571	1,300
2,50	1,436	1,431	1,760	1,460	2,009	1,416	2,210	1,407	2,382	1,373	2,528	1,353
2,75	1,399	1,461	1,718	1,496	1,968	1,466	2,166	1,458	2,337	1,431	2,487	1,414
3,00	1,363	1,493	1,678	1,535	1,922	1,514	2,124	1,510	2,297	1,493	2,445	1,476

Tabela A.17. Wybrane stałe (c_4^{R*}, d_4^{R*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ (opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}
0,25	0,191	1,066	0,167	0,980	0,149	0,749	0,140	0,736	0,124	0,608	0,115	0,591
0,50	0,378	1,105	0,332	1,026	0,297	0,788	0,273	0,780	0,253	0,650	0,237	0,633
0,75	0,561	1,157	0,490	1,088	0,443	0,858	0,406	0,845	0,378	0,715	0,357	0,701
1,00	0,724	1,222	0,639	1,164	0,576	0,946	0,528	0,931	0,495	0,802	0,460	0,780
1,25	0,871	1,291	0,774	1,239	0,701	1,042	0,648	1,014	0,608	0,896	0,571	0,869
1,50	1,006	1,355	0,899	1,308	0,820	1,128	0,759	1,105	0,709	0,986	0,674	0,958
1,75	1,116	1,404	1,010	1,366	0,925	1,207	0,862	1,180	0,808	1,071	0,761	1,041
2,00	1,213	1,443	1,106	1,410	1,026	1,277	0,954	1,249	0,901	1,148	0,851	1,113
2,25	1,290	1,468	1,185	1,443	1,108	1,334	1,032	1,300	0,977	1,213	0,927	1,180
2,50	1,358	1,483	1,259	1,466	1,181	1,378	1,107	1,347	1,050	1,267	0,998	1,231
2,75	1,405	1,487	1,323	1,481	1,247	1,416	1,172	1,389	1,116	1,319	1,065	1,280
3,00	1,439	1,483	1,369	1,488	1,302	1,440	1,233	1,419	1,181	1,359	1,128	1,328

Poszczególne rozkłady

Tabela A.18. Wybrane stałe (d_2^{R*}, d_3^{R*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład gamma (opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}
0,25	1,688	1,272	2,055	1,230	2,320	1,181	2,531	1,146	2,700	1,101	2,842	1,072
0,50	1,678	1,276	2,039	1,236	2,310	1,187	2,514	1,150	2,689	1,107	2,830	1,077
0,75	1,664	1,282	2,020	1,248	2,286	1,194	2,495	1,162	2,666	1,114	2,807	1,088
1,00	1,640	1,287	1,996	1,269	2,258	1,207	2,465	1,177	2,631	1,130	2,775	1,104
1,25	1,611	1,303	1,965	1,294	2,224	1,231	2,426	1,204	2,595	1,155	2,736	1,129
1,50	1,578	1,326	1,923	1,329	2,182	1,264	2,383	1,241	2,552	1,191	2,691	1,168
1,75	1,543	1,359	1,879	1,369	2,133	1,308	2,335	1,288	2,504	1,242	2,643	1,220
2,00	1,498	1,398	1,830	1,419	2,084	1,369	2,283	1,352	2,448	1,306	2,593	1,287
2,25	1,455	1,451	1,780	1,474	2,028	1,440	2,226	1,425	2,396	1,392	2,540	1,372
2,50	1,411	1,507	1,730	1,538	1,973	1,521	2,174	1,514	2,341	1,492	2,487	1,470
2,75	1,365	1,572	1,678	1,609	1,921	1,619	2,120	1,615	2,288	1,608	2,434	1,587
3,00	1,319	1,639	1,624	1,681	1,864	1,727	2,065	1,723	2,238	1,740	2,385	1,721

Tabela A.19. Wybrane stałe (c_4^{R*}, d_4^{R*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład gamma (opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}
0,25	0,191	1,092	0,163	0,998	0,147	0,774	0,141	0,758	0,118	0,630	0,119	0,613
0,50	0,379	1,122	0,333	1,042	0,295	0,809	0,268	0,795	0,251	0,670	0,241	0,645
0,75	0,555	1,166	0,493	1,095	0,439	0,868	0,406	0,854	0,377	0,723	0,355	0,709
1,00	0,728	1,217	0,640	1,170	0,575	0,949	0,525	0,929	0,496	0,806	0,459	0,782
1,25	0,876	1,291	0,776	1,239	0,703	1,041	0,651	1,018	0,611	0,894	0,573	0,872
1,50	1,009	1,356	0,902	1,313	0,830	1,134	0,761	1,111	0,719	0,993	0,679	0,967
1,75	1,119	1,408	1,018	1,369	0,936	1,223	0,868	1,189	0,819	1,085	0,776	1,061
2,00	1,215	1,451	1,113	1,415	1,046	1,297	0,974	1,269	0,916	1,169	0,870	1,136
2,25	1,299	1,480	1,199	1,450	1,123	1,361	1,055	1,323	1,003	1,250	0,955	1,212
2,50	1,361	1,490	1,269	1,473	1,195	1,409	1,136	1,379	1,075	1,308	1,029	1,276
2,75	1,410	1,488	1,336	1,487	1,267	1,448	1,203	1,424	1,153	1,368	1,109	1,336
3,00	1,444	1,477	1,381	1,491	1,324	1,478	1,264	1,457	1,224	1,421	1,180	1,392

Tabela A.20. Wybrane stałe (d_2^{R*}, d_3^{R*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład log-normalny (opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}
0,25	1,686	1,271	2,052	1,228	2,322	1,185	2,529	1,145	2,701	1,103	2,843	1,072
0,50	1,677	1,280	2,040	1,237	2,309	1,191	2,516	1,156	2,687	1,109	2,831	1,080
0,75	1,661	1,284	2,019	1,249	2,288	1,199	2,494	1,165	2,666	1,120	2,811	1,093
1,00	1,633	1,288	1,992	1,262	2,260	1,212	2,467	1,179	2,643	1,136	2,786	1,107
1,25	1,613	1,298	1,965	1,281	2,232	1,226	2,439	1,197	2,611	1,151	2,756	1,125
1,50	1,585	1,307	1,933	1,296	2,193	1,236	2,403	1,212	2,579	1,164	2,726	1,144
1,75	1,554	1,312	1,899	1,312	2,162	1,246	2,369	1,228	2,542	1,180	2,694	1,160
2,00	1,529	1,319	1,865	1,325	2,126	1,257	2,334	1,243	2,510	1,197	2,660	1,175
2,25	1,498	1,321	1,836	1,339	2,089	1,267	2,298	1,254	2,477	1,210	2,622	1,188
2,50	1,473	1,330	1,805	1,351	2,058	1,278	2,262	1,266	2,441	1,222	2,590	1,202
2,75	1,443	1,332	1,773	1,360	2,028	1,290	2,229	1,276	2,405	1,231	2,558	1,216
3,00	1,417	1,334	1,745	1,370	1,993	1,291	2,199	1,285	2,374	1,241	2,525	1,227

Tabela A.21. Wybrane stałe (c_4^{R*}, d_4^{R*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład log-normalny (opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}
0,25	0,192	1,093	0,173	0,997	0,152	0,777	0,140	0,758	0,128	0,640	0,116	0,615
0,50	0,375	1,134	0,327	1,047	0,295	0,817	0,273	0,807	0,250	0,680	0,231	0,662
0,75	0,561	1,182	0,484	1,108	0,439	0,885	0,398	0,862	0,371	0,745	0,353	0,722
1,00	0,714	1,242	0,633	1,177	0,566	0,963	0,520	0,943	0,483	0,816	0,447	0,784
1,25	0,866	1,296	0,761	1,248	0,687	1,041	0,635	1,015	0,593	0,891	0,556	0,865
1,50	0,999	1,352	0,885	1,305	0,801	1,110	0,739	1,090	0,684	0,963	0,647	0,933
1,75	1,111	1,396	0,993	1,361	0,898	1,172	0,834	1,148	0,774	1,036	0,725	1,007
2,00	1,203	1,428	1,091	1,401	1,000	1,236	0,916	1,210	0,867	1,102	0,810	1,057
2,25	1,278	1,451	1,164	1,430	1,082	1,283	0,988	1,255	0,928	1,144	0,877	1,118
2,50	1,354	1,471	1,241	1,454	1,156	1,325	1,059	1,291	1,004	1,194	0,945	1,156
2,75	1,404	1,483	1,301	1,472	1,220	1,366	1,127	1,332	1,057	1,235	1,004	1,194
3,00	1,429	1,489	1,349	1,481	1,267	1,384	1,191	1,364	1,123	1,267	1,062	1,240

Tabela A.22. Wybrane stałe (d_2^{R*}, d_3^{R*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład Weibulla (opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}	d_2^{R*}	d_3^{R*}
0,25	1,703	1,257	2,062	1,214	2,327	1,160	2,530	1,124	2,691	1,070	2,828	1,042
0,50	1,690	1,260	2,052	1,226	2,311	1,163	2,513	1,129	2,674	1,076	2,811	1,047
0,75	1,671	1,276	2,027	1,244	2,289	1,182	2,487	1,147	2,650	1,096	2,784	1,065
1,00	1,644	1,292	1,995	1,271	2,255	1,207	2,456	1,177	2,618	1,126	2,752	1,096
1,25	1,611	1,315	1,959	1,307	2,216	1,242	2,415	1,214	2,576	1,164	2,716	1,137
1,50	1,578	1,344	1,918	1,342	2,174	1,283	2,374	1,259	2,538	1,211	2,677	1,185
1,75	1,537	1,368	1,875	1,379	2,129	1,323	2,330	1,307	2,493	1,258	2,633	1,234
2,00	1,500	1,400	1,832	1,418	2,083	1,366	2,283	1,352	2,453	1,310	2,590	1,288
2,25	1,461	1,425	1,788	1,457	2,038	1,409	2,237	1,397	2,404	1,359	2,550	1,339
2,50	1,426	1,455	1,746	1,492	1,996	1,450	2,193	1,441	2,362	1,405	2,508	1,387
2,75	1,389	1,481	1,704	1,521	1,954	1,489	2,149	1,483	2,318	1,453	2,470	1,440
3,00	1,354	1,505	1,665	1,553	1,909	1,523	2,109	1,522	2,278	1,498	2,426	1,480

Tabela A.23. Wybrane stałe (c_4^{R*}, d_4^{R*}) dla $n = 3, 4, 5, 6, 7, 8$ - rozkład Weibulla (opracowanie własne)

κ_3	n											
	3		4		5		6		7		8	
	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}	c_4^{R*}	d_4^{R*}
0,25	0,189	1,015	0,165	0,944	0,148	0,696	0,139	0,693	0,125	0,555	0,109	0,547
0,50	0,381	1,058	0,334	0,991	0,302	0,739	0,277	0,738	0,258	0,599	0,239	0,592
0,75	0,566	1,123	0,493	1,061	0,451	0,820	0,412	0,818	0,388	0,677	0,363	0,672
1,00	0,729	1,205	0,643	1,146	0,586	0,927	0,539	0,920	0,505	0,785	0,475	0,773
1,25	0,872	1,286	0,783	1,229	0,714	1,045	0,658	1,010	0,621	0,903	0,583	0,870
1,50	1,009	1,356	0,911	1,307	0,829	1,141	0,776	1,114	0,725	1,003	0,695	0,975
1,75	1,117	1,407	1,018	1,366	0,943	1,227	0,885	1,202	0,830	1,094	0,782	1,057
2,00	1,223	1,451	1,115	1,415	1,032	1,297	0,971	1,268	0,919	1,174	0,874	1,147
2,25	1,293	1,474	1,193	1,448	1,120	1,358	1,053	1,323	1,001	1,244	0,948	1,211
2,50	1,357	1,488	1,266	1,473	1,193	1,400	1,125	1,372	1,072	1,298	1,020	1,261
2,75	1,402	1,491	1,332	1,486	1,255	1,435	1,185	1,410	1,139	1,352	1,083	1,311
3,00	1,444	1,483	1,375	1,491	1,315	1,458	1,244	1,437	1,197	1,388	1,143	1,353

B. Tabele z wartościami MSE - porównanie skuteczności klasycznych i odpornościowych estymatorów

B.1. Położenie - \bar{x} i \bar{x}_R

Tabela B.1. Wartości MSE dla estymatorów położenia - $m = 50$ segment I (opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n											
		3		4		5		6		7		8	
		\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R
Normalny	0,00	0,0067	0,0067	0,0049	0,0051	0,0039	0,0040	0,0033	0,0032	0,0029	0,0029	0,0025	0,0025
Gamma	0,25	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	0,50	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
	0,75	0,0010	0,0009	0,0007	0,0007	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
	1,00	0,0016	0,0017	0,0012	0,0013	0,0010	0,0010	0,0008	0,0009	0,0007	0,0008	0,0006	0,0008
	1,25	0,0026	0,0027	0,0019	0,0020	0,0016	0,0017	0,0013	0,0015	0,0012	0,0013	0,0010	0,0013
	1,50	0,0037	0,0037	0,0028	0,0029	0,0023	0,0024	0,0019	0,0023	0,0016	0,0021	0,0014	0,0020
	1,75	0,0052	0,0053	0,0039	0,0038	0,0031	0,0034	0,0026	0,0031	0,0022	0,0030	0,0019	0,0029
	2,00	0,0066	0,0067	0,0050	0,0051	0,0040	0,0045	0,0033	0,0043	0,0028	0,0041	0,0024	0,0041
Log-normalny	0,25	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	0,50	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	0,75	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0003
	1,00	0,0011	0,0011	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0005	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004	0,0005
	1,25	0,0016	0,0017	0,0012	0,0012	0,0010	0,0010	0,0008	0,0009	0,0007	0,0008	0,0006	0,0008
	1,50	0,0023	0,0023	0,0017	0,0017	0,0014	0,0015	0,0011	0,0013	0,0010	0,0012	0,0009	0,0011
	1,75	0,0030	0,0029	0,0022	0,0023	0,0018	0,0018	0,0015	0,0016	0,0013	0,0016	0,0011	0,0015
	2,00	0,0037	0,0037	0,0028	0,0028	0,0023	0,0024	0,0019	0,0022	0,0016	0,0021	0,0014	0,0020
Weibulla	0,25	0,0010	0,0010	0,0008	0,0008	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
	0,50	0,0015	0,0016	0,0012	0,0011	0,0009	0,0009	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0006	0,0006
	0,75	0,0021	0,0021	0,0016	0,0016	0,0013	0,0013	0,0011	0,0012	0,0009	0,0010	0,0008	0,0009
	1,00	0,0028	0,0028	0,0021	0,0022	0,0017	0,0018	0,0014	0,0016	0,0012	0,0015	0,0010	0,0014
	1,25	0,0036	0,0036	0,0028	0,0028	0,0022	0,0024	0,0018	0,0021	0,0016	0,0019	0,0014	0,0019
	1,50	0,0046	0,0046	0,0034	0,0035	0,0028	0,0030	0,0023	0,0027	0,0020	0,0026	0,0017	0,0025
	1,75	0,0055	0,0056	0,0044	0,0043	0,0034	0,0038	0,0028	0,0035	0,0024	0,0033	0,0021	0,0033
	2,00	0,0064	0,0068	0,0050	0,0052	0,0040	0,0045	0,0033	0,0042	0,0028	0,0041	0,0024	0,0041

Tabela B.2. Wartości MSE dla estymatorów położenia - $m = 50$ segment II wersja A
(opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n											
		3		4		5		6		7		8	
		\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R
$\epsilon_1 = 5\%$													
Normalny	0,00	0,0316	0,0314	0,0275	0,0257	0,0280	0,0252	0,0257	0,0222	0,0265	0,0223	0,0248	0,0209
Gamma	0,25	0,0012	0,0011	0,0010	0,0009	0,0011	0,0008	0,0010	0,0007	0,0010	0,0007	0,0010	0,0006
	0,50	0,0016	0,0015	0,0013	0,0011	0,0013	0,0010	0,0012	0,0008	0,0012	0,0008	0,0011	0,0007
	0,75	0,0023	0,0021	0,0018	0,0015	0,0017	0,0013	0,0015	0,0010	0,0015	0,0009	0,0013	0,0008
	1,00	0,0032	0,0029	0,0025	0,0021	0,0022	0,0016	0,0020	0,0012	0,0018	0,0011	0,0017	0,0009
	1,25	0,0044	0,0040	0,0034	0,0028	0,0029	0,0022	0,0025	0,0017	0,0023	0,0014	0,0022	0,0012
	1,50	0,0057	0,0055	0,0045	0,0037	0,0037	0,0029	0,0033	0,0022	0,0029	0,0019	0,0026	0,0016
	1,75	0,0075	0,0069	0,0057	0,0048	0,0049	0,0036	0,0041	0,0029	0,0038	0,0025	0,0032	0,0022
	2,00	0,0095	0,0088	0,0072	0,0061	0,0063	0,0047	0,0051	0,0038	0,0046	0,0034	0,0040	0,0031
Log-normalny	0,25	6,7597	6,2732	5,9415	4,9957	6,4258	4,8540	5,9414	3,9988	6,2854	3,8006	5,9413	3,2183
	0,50	6,7602	6,2718	5,9413	4,9931	6,4243	4,8505	5,9422	3,9952	6,2865	3,7957	5,9408	3,2121
	0,75	6,7586	6,2681	5,9429	4,9927	6,4263	4,8469	5,9419	3,9846	6,2853	3,7880	5,9411	3,2062
	1,00	6,7600	6,2680	5,9426	4,9859	6,4268	4,8412	5,9420	3,9780	6,2876	3,7775	5,9409	3,1972
	1,25	6,7617	6,2660	5,9435	4,9782	6,4284	4,8266	5,9402	3,9729	6,2864	3,7677	5,9417	3,1927
	1,50	6,7592	6,2629	5,9397	4,9746	6,4271	4,8230	5,9426	3,9649	6,2857	3,7564	5,9440	3,1808
	1,75	6,7628	6,2596	5,9440	4,9684	6,4282	4,8136	5,9452	3,9492	6,2887	3,7478	5,9434	3,1710
	2,00	6,7610	6,2615	5,9453	4,9613	6,4311	4,8032	5,9445	3,9438	6,2835	3,7416	5,9433	3,1595
Weibulla	0,25	0,0375	0,0356	0,0323	0,0270	0,0337	0,0249	0,0308	0,0199	0,0319	0,0185	0,0299	0,0151
	0,50	0,0523	0,0484	0,0442	0,0358	0,0464	0,0331	0,0414	0,0258	0,0434	0,0238	0,0401	0,0192
	0,75	0,0787	0,0704	0,0662	0,0530	0,0667	0,0480	0,0598	0,0361	0,0626	0,0321	0,0572	0,0262
	1,00	0,1248	0,1136	0,1029	0,0812	0,1044	0,0712	0,0915	0,0545	0,0937	0,0478	0,0867	0,0375
	1,25	0,2037	0,1804	0,1656	0,1311	0,1612	0,1110	0,1464	0,0849	0,1462	0,0738	0,1371	0,0585
	1,50	0,3563	0,3074	0,2741	0,2146	0,2763	0,1808	0,2353	0,1413	0,2403	0,1178	0,2196	0,0889
	1,75	0,6023	0,5378	0,4590	0,3677	0,4601	0,3080	0,4017	0,2340	0,4026	0,1837	0,3475	0,1486
	2,00	1,0834	0,9501	0,7884	0,6657	0,8215	0,5147	0,6423	0,3948	0,6415	0,3216	0,6002	0,2459
$\epsilon_1 = 10\%$													
Normalny	0,00	0,0963	0,0928	0,0947	0,0887	0,0935	0,0851	0,0932	0,0825	0,0928	0,0806	0,0922	0,0793
Gamma	0,25	0,0038	0,0036	0,0037	0,0033	0,0037	0,0030	0,0037	0,0028	0,0037	0,0026	0,0037	0,0025
	0,50	0,0043	0,0040	0,0041	0,0036	0,0040	0,0032	0,0039	0,0029	0,0039	0,0028	0,0038	0,0026
	0,75	0,0049	0,0046	0,0047	0,0039	0,0044	0,0034	0,0043	0,0030	0,0042	0,0027	0,0042	0,0025
	1,00	0,0062	0,0056	0,0056	0,0044	0,0052	0,0037	0,0049	0,0031	0,0047	0,0027	0,0046	0,0024
	1,25	0,0077	0,0069	0,0067	0,0051	0,0059	0,0042	0,0057	0,0033	0,0054	0,0027	0,0052	0,0022
	1,50	0,0094	0,0086	0,0079	0,0060	0,0070	0,0046	0,0065	0,0035	0,0061	0,0029	0,0058	0,0024
	1,75	0,0115	0,0102	0,0099	0,0073	0,0082	0,0052	0,0074	0,0041	0,0070	0,0033	0,0067	0,0026
	2,00	0,0137	0,0123	0,0114	0,0084	0,0098	0,0063	0,0090	0,0047	0,0082	0,0038	0,0075	0,0033
Log-normalny	0,25	23,766	22,305	23,765	20,562	23,765	18,894	23,767	17,378	23,765	16,167	23,766	15,125
	0,50	23,767	22,310	23,764	20,556	23,766	18,886	23,765	17,389	23,765	16,138	23,766	15,122
	0,75	23,764	22,293	23,764	20,551	23,767	18,875	23,766	17,392	23,767	16,130	23,766	15,101
	1,00	23,770	22,287	23,762	20,547	23,770	18,869	23,768	17,380	23,763	16,120	23,768	15,102
	1,25	23,768	22,286	23,772	20,531	23,769	18,858	23,766	17,372	23,765	16,097	23,763	15,093
	1,50	23,767	22,285	23,765	20,526	23,765	18,844	23,768	17,341	23,770	16,092	23,767	15,069
	1,75	23,776	22,278	23,765	20,526	23,767	18,824	23,768	17,340	23,770	16,081	23,768	15,053
	2,00	23,766	22,276	23,773	20,504	23,768	18,800	23,766	17,326	23,770	16,067	23,769	15,057
Weibulla	0,25	0,1227	0,1133	0,1192	0,1008	0,1155	0,0896	0,1157	0,0791	0,1149	0,0704	0,1146	0,0632
	0,50	0,1644	0,1540	0,1601	0,1331	0,1555	0,1170	0,1554	0,1028	0,1533	0,0897	0,1520	0,0795
	0,75	0,2378	0,2206	0,2291	0,1889	0,2238	0,1592	0,2171	0,1398	0,2146	0,1217	0,2138	0,1069
	1,00	0,3696	0,3336	0,3454	0,2849	0,3315	0,2374	0,3301	0,2051	0,3181	0,1764	0,3171	0,1520
	1,25	0,5914	0,5401	0,5482	0,4417	0,5173	0,3685	0,5104	0,3078	0,5002	0,2630	0,4830	0,2283
	1,50	0,9446	0,8640	0,8935	0,7063	0,8179	0,5911	0,7915	0,4894	0,7776	0,4148	0,7647	0,3488
	1,75	1,5738	1,4230	1,4410	1,1393	1,3446	0,9308	1,2487	0,7879	1,2403	0,6435	1,2189	0,5408
	2,00	2,7131	2,4583	2,4022	1,9886	2,2127	1,5410	2,0495	1,2223	2,0283	1,0322	1,9489	0,8641
$\epsilon_1 = 20\%$													
Normalny	0,00	0,3655	0,3600	0,3649	0,3489	0,3632	0,3432	0,3626	0,3390	0,3630	0,3350	0,3630	0,3345
Gamma	0,25	0,0146	0,0140	0,0146	0,0132	0,0146	0,0126	0,0145	0,0120	0,0145	0,0117	0,0145	0,0114
	0,50	0,0152	0,0147	0,0150	0,0135	0,0150	0,0126	0,0147	0,0120	0,0147	0,0115	0,0147	0,0110
	0,75	0,0161	0,0154	0,0159	0,0139	0,0156	0,0124	0,0153	0,0116	0,0151	0,0109	0,0151	0,0103
	1,00	0,0177	0,0161	0,0173	0,0141	0,0166	0,0126	0,0160	0,0111	0,0159	0,0101	0,0156	0,0094
	1,25	0,0199	0,0182	0,0188	0,0149	0,0176	0,0124	0,0173	0,0107	0,0169	0,0096	0,0163	0,0084
	1,50	0,0224	0,0198	0,0203	0,0155	0,0190	0,0125	0,0183	0,0103	0,0177	0,0087	0,0172	0,0075
	1,75	0,0249	0,0221	0,0225	0,0167	0,0208	0,0128	0,0198	0,0099	0,0189	0,0084	0,0183	0,0070
	2,00	0,0281	0,0240	0,0246	0,0184	0,0228	0,0139	0,0216	0,0101	0,0205	0,0082	0,0199	0,0066
Log-normalny	0,25	95,061	91,165	95,064	86,402	95,065	82,236	95,063	79,008	95,062	76,546	95,061	74,705
	0,50	95,065	91,134	95,060	86,434	95,063	82,268	95,064	79,002	95,064	76,498	95,063	74,739
	0,75	95,065	91,136	95,063	86,420	95,065	82,208	95,063	79,000	95,063	76,502	95,063	74,707
	1,00	95,075	91,131	95,072	86,434	95,070	82,247	95,067	78,963	95,065	76,526	95,063	74,751
	1,25	95,068	91,141	95,057	86,363	95,062	82,252	95,072	78,933	95,063	76,500	95,056	74,666
	1,50	95,071	91,113	95,058	86,394	95,066	82,223	95,065	78,920	95,075	76,480	95,056	74,696
	1,75	95,069	91,128	95,064	86,345	95,063	82,197	95,060	78,888	95,070	76,465	95,055	74,679
	2,00	95,064	91,086	95,053	86,367	95,078	82,169	95,071	78,931	95,066	76,477	95,063	74,667
Weibulla	0,25	0,4665	0,4384	0,4578	0,3950	0,4568	0,3602	0,4506	0,3303	0,4529	0,3075	0,4510	0,2859
	0,50	0,6200	0,5748	0,6088	0,5155	0,6003	0,4642	0,5977	0,4209	0,5945	0,3872	0,5879	0,3575
	0,75	0,8664	0,8145	0,8461	0,7204	0,8460	0,6396	0,8333	0,5729	0,8335	0,5212	0,8218	0,4720
	1,00	1,3051	1,1999	1,2711	1,0476	1,2414							

Tabela B.3. Wartości MSE dla estymatorów położenia - $m = 50$ segment II wersja B
(opracowanie własne)

Rozkład		n											
		3		4		5		6		7		8	
		\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R
$\varepsilon_1 = 5\%$													
Normalny	0,00	0,0133	0,0128	0,0095	0,0090	0,0081	0,0071	0,0067	0,0057	0,0059	0,0050	0,0051	0,0042
Gamma	0,25	0,0011	0,0011	0,0010	0,0009	0,0010	0,0008	0,0009	0,0007	0,0010	0,0007	0,0009	0,0006
	0,50	0,0014	0,0014	0,0012	0,0011	0,0012	0,0010	0,0011	0,0009	0,0011	0,0009	0,0011	0,0008
	0,75	0,0020	0,0019	0,0016	0,0014	0,0015	0,0013	0,0014	0,0011	0,0013	0,0010	0,0012	0,0009
	1,00	0,0026	0,0026	0,0022	0,0019	0,0020	0,0015	0,0017	0,0013	0,0017	0,0011	0,0015	0,0010
	1,25	0,0036	0,0034	0,0028	0,0024	0,0025	0,0019	0,0022	0,0015	0,0020	0,0013	0,0018	0,0011
	1,50	0,0047	0,0044	0,0036	0,0031	0,0032	0,0024	0,0028	0,0019	0,0026	0,0016	0,0023	0,0014
	1,75	0,0061	0,0056	0,0046	0,0040	0,0041	0,0030	0,0034	0,0025	0,0031	0,0020	0,0027	0,0018
	2,00	0,0075	0,0069	0,0059	0,0049	0,0049	0,0037	0,0041	0,0032	0,0038	0,0027	0,0033	0,0025
Log-normalny	0,25	6,7603	6,2740	5,9416	4,9959	6,4269	4,8505	5,9414	3,9944	6,2859	3,7981	5,9414	3,2236
Weibulla	0,50	6,7591	6,2704	5,9416	4,9926	6,4260	4,8566	5,9412	3,9920	6,2852	3,7926	5,9414	3,2143
	0,75	6,7593	6,2678	5,9407	4,9932	6,4273	4,8401	5,9423	3,9874	6,2863	3,7819	5,9409	3,2055
	1,00	6,7591	6,2656	5,9391	4,9865	6,4252	4,8370	5,9416	3,9807	6,2856	3,7765	5,9429	3,2057
	1,25	6,7619	6,2651	5,9434	4,9795	6,4272	4,8298	5,9425	3,9720	6,2883	3,7721	5,9411	3,1938
	1,50	6,7556	6,2610	5,9435	4,9751	6,4302	4,8182	5,9425	3,9585	6,2854	3,7535	5,9433	3,1759
	1,75	6,7638	6,2548	5,9414	4,9663	6,4300	4,8121	5,9418	3,9481	6,2892	3,7476	5,9396	3,1762
	2,00	6,7638	6,2532	5,9450	4,9561	6,4312	4,8029	5,9433	3,9466	6,2895	3,7385	5,9434	3,1578
	2,00	6,8310	6,3355	6,0057	5,0396	6,4898	4,8937	6,0022	4,0268	6,3503	3,8235	6,0035	3,2415
0,75	6,8333	6,3304	6,0006	5,0324	6,4922	4,8856	6,0052	4,0198	6,3518	3,8152	6,0049	3,2303	
1,00	6,8352	6,3288	6,0056	5,0260	6,4921	4,8741	6,0041	4,0063	6,3541	3,8017	6,0041	3,2214	
1,25	6,8356	6,3206	6,0058	5,0143	6,4927	4,8626	6,0044	3,9965	6,3477	3,7872	6,0055	3,2014	
1,50	6,8329	6,3149	6,0059	5,0072	6,4951	4,8501	6,0060	3,9795	6,3530	3,7714	6,0020	3,1903	
1,75	6,8378	6,3159	6,0079	4,9952	6,4958	4,8398	6,0052	3,9710	6,3551	3,7595	6,0027	3,1777	
2,00	6,8357	6,3120	6,0048	4,9870	6,4968	4,8289	6,0095	3,9508	6,3523	3,7423	6,0032	3,1562	
$\varepsilon_1 = 10\%$													
Normalny	0,00	0,0202	0,0194	0,0161	0,0146	0,0134	0,0117	0,0120	0,0095	0,0107	0,0083	0,0098	0,0073
Gamma	0,25	0,0037	0,0035	0,0037	0,0033	0,0037	0,0031	0,0037	0,0029	0,0036	0,0028	0,0036	0,0027
	0,50	0,0040	0,0039	0,0039	0,0036	0,0038	0,0034	0,0038	0,0032	0,0037	0,0032	0,0038	0,0031
	0,75	0,0045	0,0044	0,0042	0,0039	0,0042	0,0036	0,0040	0,0034	0,0040	0,0033	0,0040	0,0032
	1,00	0,0053	0,0050	0,0048	0,0042	0,0046	0,0038	0,0045	0,0034	0,0043	0,0032	0,0042	0,0030
	1,25	0,0061	0,0056	0,0054	0,0047	0,0052	0,0039	0,0049	0,0035	0,0047	0,0031	0,0046	0,0028
	1,50	0,0070	0,0066	0,0063	0,0051	0,0059	0,0042	0,0055	0,0035	0,0051	0,0031	0,0049	0,0028
	1,75	0,0084	0,0077	0,0072	0,0058	0,0064	0,0046	0,0061	0,0036	0,0058	0,0031	0,0054	0,0027
	2,00	0,0100	0,0089	0,0084	0,0066	0,0074	0,0050	0,0068	0,0039	0,0064	0,0032	0,0060	0,0027
Log-normalny	0,25	23,766	22,307	23,766	20,553	23,766	18,895	23,765	17,402	23,766	16,168	23,766	15,131
Weibulla	0,50	23,766	22,309	23,764	20,555	23,764	18,873	23,766	17,406	23,766	16,157	23,766	15,133
	0,75	23,770	22,296	23,768	20,544	23,765	18,875	23,766	17,376	23,766	16,153	23,766	15,129
	1,00	23,763	22,300	23,771	20,555	23,768	18,868	23,764	17,374	23,766	16,141	23,766	15,103
	1,25	23,762	22,285	23,763	20,544	23,768	18,833	23,767	17,345	23,768	16,108	23,763	15,102
	1,50	23,761	22,284	23,765	20,530	23,760	18,831	23,771	17,353	23,764	16,095	23,765	15,073
	1,75	23,775	22,289	23,775	20,515	23,764	18,817	23,763	17,334	23,764	16,084	23,769	15,057
	2,00	23,769	22,264	23,777	20,506	23,766	18,820	23,773	17,335	23,770	16,074	23,765	15,061
	2,00	24,010	22,528	24,011	20,776	24,007	19,074	24,008	17,563	24,015	16,300	24,009	15,307
0,50	24,011	22,525	24,013	20,763	24,012	19,062	24,012	17,567	24,015	16,299	24,009	15,269	
0,75	24,016	22,530	24,014	20,752	24,016	19,040	24,013	17,540	24,013	16,289	24,013	15,252	
1,00	24,011	22,519	24,010	20,739	24,010	19,031	24,011	17,543	24,013	16,276	24,013	15,238	
1,25	24,011	22,504	24,014	20,724	24,009	19,016	24,007	17,522	24,013	16,240	24,007	15,234	
1,50	24,023	22,502	24,017	20,711	24,016	18,988	24,011	17,490	24,011	16,233	24,015	15,208	
1,75	24,005	22,489	24,003	20,700	24,009	18,966	24,015	17,469	24,009	16,223	24,011	15,196	
2,00	24,011	22,491	24,017	20,680	24,014	18,958	24,003	17,464	24,016	16,189	24,020	15,147	
$\varepsilon_1 = 20\%$													
Normalny	0,00	0,0409	0,0392	0,0348	0,0312	0,0302	0,0261	0,0278	0,0218	0,0258	0,0201	0,0243	0,0184
Gamma	0,25	0,0145	0,0140	0,0145	0,0134	0,0145	0,0129	0,0144	0,0126	0,0144	0,0124	0,0145	0,0122
	0,50	0,0148	0,0145	0,0148	0,0140	0,0147	0,0137	0,0146	0,0134	0,0145	0,0133	0,0145	0,0132
	0,75	0,0152	0,0150	0,0150	0,0145	0,0150	0,0141	0,0148	0,0137	0,0148	0,0135	0,0148	0,0134
	1,00	0,0160	0,0155	0,0156	0,0147	0,0153	0,0140	0,0152	0,0136	0,0152	0,0133	0,0149	0,0130
	1,25	0,0168	0,0161	0,0162	0,0147	0,0158	0,0138	0,0157	0,0132	0,0154	0,0127	0,0154	0,0122
	1,50	0,0178	0,0167	0,0171	0,0150	0,0165	0,0135	0,0161	0,0126	0,0159	0,0118	0,0157	0,0113
	1,75	0,0191	0,0179	0,0180	0,0152	0,0172	0,0134	0,0168	0,0120	0,0165	0,0110	0,0161	0,0105
	2,00	0,0209	0,0192	0,0193	0,0156	0,0178	0,0131	0,0174	0,0117	0,0172	0,0104	0,0166	0,0096
Log-normalny	0,25	95,063	91,146	95,064	86,430	95,062	82,241	95,063	78,963	95,062	76,507	95,062	74,693
Weibulla	0,50	95,063	91,124	95,064	86,437	95,066	82,278	95,063	78,967	95,059	76,496	95,062	74,710
	0,75	95,069	91,101	95,064	86,412	95,064	82,254	95,064	78,989	95,060	76,512	95,064	74,709
	1,00	95,066	91,136	95,067	86,412	95,066	82,249	95,068	78,946	95,068	76,504	95,062	74,689
	1,25	95,062	91,121	95,055	86,417	95,063	82,261	95,065	78,973	95,063	76,498	95,069	74,692
	1,50	95,067	91,121	95,057	86,399	95,068	82,229	95,063	78,939	95,071	76,476	95,065	74,665
	1,75	95,058	91,070	95,061	86,366	95,053	82,209	95,051	78,925	95,062	76,521	95,064	74,651
	2,00	95,080	91,147	95,060	86,346	95,083	82,196	95,058	78,932	95,066	76,459	95,068	74,658
	2,00	96,045	92,080	96,045	87,300	96,041	83,111	96,041	79,835	96,046	77,349	96,039	75,479
0,50	96,043	92,071	96,044	87,299	96,036	83,070	96,038	79,783	96,040	77,274	96,042	75,457	
0,75	96,045	92,054	96,034	87,307	96,041	83,074	96,041	79,763	96,052	77,321	96,037	75,456	
1,00	96,038	92,035	96,052	87,241	96,041	83,112	96,033	79,761	96,050	77,242	96,052	75,457	
1,25	96,057	92,026	96,048	87,237	96,042	83,077	96,053	79,733	96,035	77,235	96,040	75,439	
1,50	96,040	92,033	96,034	87,233	96,044	83,029	96,032	79,705	96,039	77,211	96,038	75,407	
1,75	96,014	92,											

Tabela B.4. Wartości MSE dla estymatorów położenia - $m = 50$ segment III wersja A (opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n											
		3		4		5		6		7		8	
		\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R
$\varepsilon_1 = 5\%$													
Normalny	0,00	0,0319	0,0321	0,0274	0,0273	0,0282	0,0285	0,0259	0,0260	0,0269	0,0268	0,0250	0,0251
Gamma	0,25	6,8297	6,9020	6,0017	6,0003	6,4925	6,5297	6,0023	5,9998	6,3503	6,3750	6,0032	5,9989
	0,50	6,8296	6,8975	6,0020	5,9958	6,4929	6,5243	6,0032	5,9915	6,3505	6,3654	6,0025	5,9888
	0,75	6,8282	6,8990	6,0058	5,9881	6,4929	6,5115	6,0033	5,9788	6,3507	6,3511	6,0035	5,9727
	1,00	6,8326	6,8939	6,0042	5,9797	6,4916	6,4944	6,0070	5,9615	6,3506	6,3285	6,0023	5,9496
	1,25	6,8340	6,8910	6,0042	5,9680	6,4913	6,4794	6,0040	5,9381	6,3502	6,2990	6,0035	5,9217
	1,50	6,8349	6,8800	6,0059	5,9507	6,4903	6,4578	6,0031	5,9129	6,3545	6,2736	6,0044	5,8866
	1,75	6,8379	6,8744	6,0119	5,9392	6,4917	6,4315	6,0030	5,8834	6,3502	6,2365	6,0037	5,8507
	2,00	6,8326	6,8655	5,9994	5,9180	6,4932	6,4082	6,0097	5,8559	6,3500	6,1973	6,0059	5,8114
Log-normalny	0,25	6,7600	6,8319	5,9407	5,9403	6,4261	6,4641	5,9417	5,9391	6,2855	6,3103	5,9412	5,9386
0,50	6,7604	6,8287	5,9413	5,9356	6,4244	6,4580	5,9415	5,9322	6,2859	6,3025	5,9419	5,9315	
0,75	6,7612	6,8277	5,9429	5,9317	6,4259	6,4497	5,9403	5,9230	6,2852	6,2902	5,9413	5,9172	
1,00	6,7615	6,8240	5,9433	5,9247	6,4259	6,4392	5,9421	5,9089	6,2844	6,2745	5,9436	5,9004	
1,25	6,7609	6,8210	5,9409	5,9163	6,4267	6,4279	5,9401	5,8943	6,2868	6,2574	5,9405	5,8810	
1,50	6,7625	6,8184	5,9438	5,9070	6,4295	6,4124	5,9404	5,8767	6,2856	6,2407	5,9453	5,8620	
1,75	6,7552	6,8098	5,9406	5,9035	6,4280	6,3972	5,9451	5,8647	6,2873	6,2191	5,9430	5,8422	
2,00	6,7654	6,8097	5,9484	5,8920	6,4247	6,3902	5,9439	5,8517	6,2871	6,1993	5,9475	5,8195	
Weibulla	0,25	6,8319	6,9058	6,0034	5,9964	6,4933	6,5254	6,0027	5,9941	6,3506	6,3701	6,0023	5,9907
0,50	6,8327	6,9020	6,0030	5,9928	6,4913	6,5171	6,0018	5,9816	6,3527	6,3525	6,0037	5,9762	
0,75	6,8287	6,8957	6,0021	5,9801	6,4943	6,4987	6,0037	5,9639	6,3511	6,3315	6,0035	5,9528	
1,00	6,8303	6,8896	6,0034	5,9700	6,4937	6,4857	6,0019	5,9449	6,3507	6,3070	6,0022	5,9273	
1,25	6,8347	6,8837	6,0030	5,9580	6,4963	6,4653	6,0068	5,9218	6,3507	6,2832	6,0042	5,9023	
1,50	6,8364	6,8751	6,0083	5,9486	6,4955	6,4437	6,0024	5,9015	6,3501	6,2586	6,0043	5,8729	
1,75	6,8323	6,8758	6,0131	5,9357	6,4923	6,4294	6,0091	5,8808	6,3539	6,2297	6,0040	5,8435	
2,00	6,8399	6,8694	6,0061	5,9180	6,4953	6,4069	6,0114	5,8530	6,3558	6,1989	6,0060	5,8117	
$\varepsilon_1 = 1\%$													
Normalny	0,00	0,0955	0,0964	0,0943	0,0943	0,0938	0,0934	0,0935	0,0929	0,0926	0,0925	0,0918	0,0926
Gamma	0,25	24,011	24,009	24,010	24,007	24,010	24,005	24,010	24,004	24,011	24,005	24,010	24,003
	0,50	24,013	24,003	24,011	23,998	24,010	23,994	24,009	23,990	24,011	23,987	24,011	23,983
	0,75	24,006	24,000	24,007	23,982	24,011	23,970	24,009	23,963	24,010	23,956	24,012	23,951
	1,00	24,011	23,985	24,010	23,966	24,013	23,945	24,011	23,933	24,010	23,914	24,010	23,908
	1,25	24,010	23,986	24,017	23,946	24,009	23,914	24,010	23,887	24,010	23,866	24,012	23,849
	1,50	24,006	23,974	24,019	23,912	24,014	23,867	24,006	23,838	24,016	23,807	24,012	23,787
	1,75	24,020	23,967	24,020	23,892	24,011	23,829	24,021	23,782	24,011	23,745	24,003	23,717
	2,00	24,022	23,950	24,019	23,852	24,014	23,783	24,012	23,715	24,011	23,684	24,009	23,646
Log-normalny	0,25	23,766	23,765	23,764	23,762	23,766	23,762	23,764	23,761	23,766	23,761	23,766	23,761
0,50	23,766	23,761	23,768	23,754	23,766	23,752	23,765	23,749	23,767	23,747	23,764	23,745	
0,75	23,767	23,755	23,765	23,748	23,766	23,739	23,766	23,730	23,767	23,724	23,769	23,717	
1,00	23,761	23,751	23,767	23,731	23,763	23,714	23,765	23,710	23,765	23,693	23,765	23,685	
1,25	23,770	23,745	23,762	23,720	23,767	23,693	23,761	23,680	23,764	23,659	23,764	23,653	
1,50	23,776	23,733	23,764	23,697	23,759	23,674	23,765	23,643	23,765	23,623	23,759	23,610	
1,75	23,769	23,732	23,774	23,681	23,770	23,653	23,767	23,614	23,770	23,591	23,772	23,566	
2,00	23,765	23,723	23,780	23,660	23,768	23,623	23,766	23,589	23,769	23,556	23,775	23,527	
Weibulla	0,25	24,012	24,010	24,008	24,000	24,008	23,995	24,009	23,996	24,011	23,991	24,012	23,988
0,50	24,010	24,000	24,011	23,988	24,014	23,974	24,011	23,970	24,010	23,959	24,008	23,961	
0,75	24,015	23,991	24,008	23,970	24,011	23,950	24,004	23,937	24,014	23,924	24,010	23,912	
1,00	24,015	23,984	24,005	23,941	24,005	23,918	24,011	23,898	24,013	23,882	24,014	23,870	
1,25	24,018	23,968	24,017	23,933	24,004	23,885	24,020	23,856	24,014	23,825	24,020	23,819	
1,50	24,008	23,967	24,011	23,891	24,007	23,843	24,012	23,806	24,018	23,784	24,009	23,761	
1,75	24,023	23,942	24,016	23,870	24,009	23,817	24,012	23,758	24,009	23,730	24,013	23,694	
2,00	24,018	23,933	24,020	23,859	24,009	23,786	24,019	23,726	24,015	23,677	24,017	23,640	
$\varepsilon_1 = 2\%$													
Normalny	0,00	0,3656	0,3653	0,3639	0,3643	0,3630	0,3640	0,3640	0,3620	0,3637	0,3623	0,3630	0,3616
Gamma	0,25	96,042	96,036	96,042	96,036	96,041	96,032	96,039	96,030	96,040	96,029	96,041	96,029
	0,50	96,038	96,032	96,044	96,019	96,043	96,007	96,040	96,005	96,045	95,999	96,041	95,996
	0,75	96,035	96,015	96,031	95,992	96,042	95,972	96,046	95,961	96,036	95,943	96,038	95,926
	1,00	96,034	96,005	96,036	95,963	96,048	95,911	96,038	95,901	96,038	95,865	96,041	95,855
	1,25	96,044	95,988	96,051	95,916	96,049	95,868	96,048	95,818	96,033	95,782	96,042	95,762
	1,50	96,034	95,948	96,029	95,847	96,063	95,787	96,039	95,717	96,030	95,685	96,052	95,649
	1,75	96,073	95,934	96,035	95,820	96,039	95,699	96,035	95,618	96,045	95,546	96,038	95,516
	2,00	96,044	95,901	96,035	95,749	96,038	95,626	96,038	95,526	96,047	95,446	96,034	95,391
Log-normalny	0,25	95,063	95,058	95,061	95,058	95,064	95,058	95,063	95,052	95,063	95,053	95,062	95,055
0,50	95,060	95,058	95,065	95,048	95,065	95,037	95,063	95,031	95,064	95,025	95,065	95,023	
0,75	95,065	95,051	95,055	95,032	95,058	95,005	95,068	94,991	95,060	94,985	95,063	94,979	
1,00	95,066	95,038	95,073	95,002	95,055	94,974	95,064	94,955	95,053	94,930	95,071	94,923	
1,25	95,056	95,023	95,058	94,972	95,066	94,942	95,065	94,896	95,067	94,873	95,063	94,856	
1,50	95,062	95,003	95,062	94,950	95,072	94,892	95,061	94,855	95,066	94,809	95,063	94,790	
1,75	95,064	94,999	95,055	94,925	95,053	94,849	95,053	94,789	95,070	94,737	95,061	94,705	
2,00	95,069	94,984	95,064	94,892	95,072	94,807	95,063	94,734	95,076	94,691	95,076	94,647	
Weibulla	0,25	96,039	96,031	96,041	96,023	96,045	96,009	96,031	96,007	96,041	96,007	96,038	96,005
0,50	96,040	96,018	96,045	95,998	96,039	95,978	96,037	95,972	96,038	95,945	96,038	95,949	
0,75	96,023	96,001	96,038	95,963	96,049	95,930	96,051	95,907	96,043	95,878	96,038	95,876	
1,00	96,042	95,997	96,045	95,931	96,037	95,871	96,051	95,842	96,036	95,818	96,050	95,791	
1,25	96,037	95,959	96,048	95,890	96,051	95,818	96,040	95,759	96,052	95,736	96,043	95,690	
1,50	96,040	95,948	96,0										

Tabela B.5. Wartości *MSE* dla estymatorów położenia - $m = 50$ segment III wersja B (opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n											
		3		4		5		6		7		8	
		\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R
$\epsilon_1 = 5\%$													
Normalny	0,00	0,0133	0,0133	0,0099	0,0096	0,0082	0,0080	0,0067	0,0067	0,0061	0,0062	0,0054	0,0053
Gamma	0,25	6,8297	6,9019	6,0025	6,0018	6,4922	6,5299	6,0022	5,9992	6,3508	6,3756	6,0027	5,9992
	0,50	6,8300	6,8994	6,0028	5,9969	6,4936	6,5234	6,0034	5,9919	6,3513	6,3655	6,0013	5,9887
	0,75	6,8291	6,8961	6,0060	5,9915	6,4924	6,5107	6,0025	5,9787	6,3512	6,3505	6,0011	5,9727
	1,00	6,8332	6,8937	6,0038	5,9793	6,4912	6,4975	6,0037	5,9629	6,3520	6,3293	6,0031	5,9476
	1,25	6,8269	6,8886	6,0035	5,9706	6,4944	6,4839	6,0048	5,9377	6,3489	6,3007	6,0056	5,9231
	1,50	6,8354	6,8791	6,0005	5,9559	6,4988	6,4595	6,0008	5,9113	6,3476	6,2710	6,0045	5,8883
	1,75	6,8336	6,8801	6,0050	5,9397	6,4910	6,4361	6,0025	5,8845	6,3524	6,2369	6,0048	5,8530
	2,00	6,8395	6,8721	6,0130	5,9289	6,4963	6,4090	6,0060	5,8562	6,3549	6,2023	6,0044	5,8127
Log-normalny	0,25	6,7600	6,8321	5,9413	5,9400	6,4263	6,4645	5,9414	5,9389	6,2862	6,3108	5,9415	5,9384
	0,50	6,7605	6,8298	5,9409	5,9376	6,4257	6,4592	5,9407	5,9334	6,2867	6,3031	5,9410	5,9298
	0,75	6,7589	6,8290	5,9416	5,9326	6,4259	6,4502	5,9423	5,9217	6,2854	6,2915	5,9407	5,9179
	1,00	6,7614	6,8234	5,9434	5,9250	6,4258	6,4417	5,9430	5,9100	6,2854	6,2768	5,9413	5,9000
	1,25	6,7624	6,8216	5,9433	5,9171	6,4274	6,4301	5,9417	5,8951	6,2843	6,2587	5,9413	5,8827
	1,50	6,7552	6,8155	5,9425	5,9079	6,4259	6,4168	5,9411	5,8793	6,2852	6,2390	5,9426	5,8630
	1,75	6,7658	6,8088	5,9448	5,9029	6,4303	6,4018	5,9381	5,8629	6,2888	6,2198	5,9428	5,8426
	2,00	6,7639	6,8164	5,9411	5,8896	6,4235	6,3942	5,9402	5,8505	6,2848	6,2030	5,9440	5,8206
Weibulla	0,25	6,8307	6,8994	6,0051	5,9992	6,4933	6,5245	6,0044	5,9929	6,3495	6,3679	6,0036	5,9920
	0,50	6,8313	6,8956	6,0037	5,9896	6,4931	6,5182	6,0025	5,9800	6,3517	6,3532	6,0040	5,9725
	0,75	6,8329	6,8898	6,0069	5,9822	6,4933	6,4990	6,0055	5,9630	6,3521	6,3323	6,0034	5,9556
	1,00	6,8296	6,8888	6,0055	5,9704	6,4924	6,4826	6,0048	5,9442	6,3516	6,3071	6,0031	5,9300
	1,25	6,8375	6,8824	6,0056	5,9598	6,4925	6,4643	6,0033	5,9163	6,3530	6,2836	6,0043	5,8971
	1,50	6,8329	6,8822	6,0012	5,9459	6,4952	6,4450	6,0061	5,9044	6,3536	6,2536	6,0040	5,8714
	1,75	6,8312	6,8704	6,0054	5,9354	6,4930	6,4288	5,9998	5,8727	6,3512	6,2324	6,0075	5,8429
	2,00	6,8350	6,8628	6,0074	5,9221	6,4959	6,4061	6,0051	5,8536	6,3522	6,2043	6,0036	5,8157
$\epsilon_1 = 1\%$													
Normalny	0,00	0,0205	0,0202	0,0159	0,0160	0,0138	0,0133	0,0122	0,0119	0,0106	0,0109	0,0098	0,0098
Gamma	0,25	24,011	24,010	24,011	24,007	24,011	24,006	24,009	24,004	24,010	24,003	24,010	24,003
	0,50	24,010	24,008	24,010	23,997	24,013	23,992	24,010	23,989	24,010	23,987	24,012	23,985
	0,75	24,012	24,002	24,010	23,984	24,011	23,971	24,016	23,963	24,010	23,957	24,009	23,953
	1,00	24,011	23,999	24,011	23,970	24,010	23,948	24,007	23,928	24,009	23,920	24,007	23,910
	1,25	24,005	23,982	24,007	23,937	24,008	23,915	24,010	23,887	24,011	23,865	24,017	23,858
	1,50	24,023	23,981	24,015	23,922	24,005	23,870	24,015	23,834	24,010	23,808	24,010	23,793
	1,75	24,020	23,951	24,013	23,879	24,017	23,829	24,011	23,773	24,014	23,743	24,009	23,721
	2,00	24,015	23,928	24,016	23,856	24,023	23,790	24,009	23,724	24,018	23,684	24,012	23,641
Log-normalny	0,25	23,766	23,765	23,767	23,764	23,765	23,762	23,765	23,761	23,766	23,760	23,766	23,760
	0,50	23,770	23,763	23,767	23,755	23,764	23,754	23,766	23,749	23,767	23,745	23,766	23,745
	0,75	23,767	23,753	23,764	23,746	23,764	23,736	23,765	23,729	23,766	23,723	23,766	23,718
	1,00	23,768	23,752	23,762	23,729	23,768	23,717	23,765	23,705	23,764	23,696	23,768	23,691
	1,25	23,769	23,739	23,766	23,718	23,767	23,694	23,761	23,679	23,767	23,661	23,765	23,652
	1,50	23,765	23,742	23,778	23,702	23,767	23,668	23,772	23,645	23,762	23,626	23,766	23,609
	1,75	23,765	23,726	23,770	23,687	23,762	23,645	23,768	23,617	23,760	23,590	23,769	23,572
	2,00	23,772	23,722	23,761	23,666	23,763	23,627	23,761	23,586	23,770	23,551	23,765	23,534
Weibulla	0,25	24,006	24,013	24,011	24,004	24,012	24,000	24,010	23,996	24,012	23,992	24,010	23,988
	0,50	24,012	24,000	24,015	23,985	24,012	23,971	24,012	23,967	24,006	23,962	24,010	23,957
	0,75	24,005	23,991	24,008	23,976	24,014	23,946	24,013	23,935	24,009	23,927	24,013	23,912
	1,00	24,020	23,981	24,011	23,942	24,017	23,915	24,011	23,899	24,013	23,879	24,012	23,870
	1,25	24,012	23,972	24,011	23,918	24,011	23,889	24,010	23,856	24,007	23,828	24,012	23,807
	1,50	24,011	23,973	24,022	23,900	24,008	23,851	24,019	23,808	24,014	23,779	24,006	23,767
	1,75	24,020	23,952	24,011	23,874	24,022	23,814	24,016	23,772	24,018	23,722	24,013	23,691
	2,00	24,021	23,949	24,015	23,862	24,006	23,779	24,013	23,724	24,024	23,671	24,017	23,649
$\epsilon_1 = 20\%$													
Normalny	0,00	0,0409	0,0403	0,0347	0,0348	0,0306	0,0308	0,0276	0,0279	0,0256	0,0257	0,0245	0,0246
Gamma	0,25	96,042	96,037	96,042	96,034	96,040	96,030	96,041	96,029	96,041	96,031	96,039	96,029
	0,50	96,047	96,030	96,047	96,024	96,039	96,006	96,038	96,000	96,039	95,997	96,038	95,992
	0,75	96,050	96,021	96,045	96,000	96,041	95,972	96,033	95,958	96,036	95,947	96,045	95,926
	1,00	96,037	96,025	96,040	95,956	96,056	95,931	96,044	95,895	96,046	95,882	96,044	95,856
	1,25	96,051	95,971	96,051	95,908	96,033	95,858	96,039	95,817	96,030	95,789	96,040	95,759
	1,50	96,044	95,957	96,052	95,867	96,030	95,777	96,036	95,720	96,038	95,676	96,045	95,655
	1,75	96,031	95,943	96,046	95,806	96,040	95,699	96,040	95,641	96,053	95,571	96,045	95,525
	2,00	96,025	95,898	96,040	95,754	96,056	95,627	96,026	95,537	96,034	95,450	96,032	95,380
Log-normalny	0,25	95,062	95,062	95,063	95,060	95,063	95,057	95,063	95,056	95,062	95,052	95,064	95,052
	0,50	95,063	95,058	95,064	95,045	95,062	95,040	95,062	95,034	95,066	95,030	95,065	95,027
	0,75	95,060	95,053	95,063	95,028	95,063	95,007	95,062	94,996	95,066	94,986	95,061	94,982
	1,00	95,073	95,034	95,067	95,007	95,065	94,977	95,064	94,956	95,064	94,938	95,062	94,924
	1,25	95,069	95,018	95,071	94,965	95,074	94,936	95,062	94,901	95,070	94,884	95,062	94,858
	1,50	95,056	95,011	95,064	94,952	95,076	94,889	95,060	94,850	95,065	94,821	95,061	94,786
	1,75	95,075	95,016	95,051	94,931	95,072	94,846	95,062	94,792	95,082	94,745	95,063	94,708
	2,00	95,077	94,980	95,061	94,905	95,066	94,817	95,060	94,733	95,078	94,681	95,055	94,648
Weibulla	0,25	96,035	96,027	96,039	96,025	96,040	96,021	96,038	96,011	96,039	96,004	96,040	95,997
	0,50	96,034	96,009	96,047	95,992	96,035	95,980	96,047	95,968	96,043	95,946	96,035	95,951
	0,75	96,049	96,029	96,035	95,960	96,046	95,924	96,048	95,905	96,045	95,892	96,042	95,870
	1,00	96,043	96,003	96,034	95,936	96,045	95,867	96,033	95,835	96,031	95,817	96,055	95,787
	1,25	96,036	95,983	96,050	95,880	96,046	95,811	96,037	95,754	96,061	95,741	96,046	95,687
	1,50	96,04											

Tabela B.6. Wartości *MSE* dla estymatorów położenia - $m = 50$ segment IV
(opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n											
		3		4		5		6		7		8	
		\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R
$\epsilon_1 = 5\%$													
Normalny	0,00	6,8317	6,3459	6,0106	5,0602	6,4862	4,9140	6,0028	4,0504	6,3509	3,8483	6,0064	3,2610
Gamma	0,25	6,8300	6,3377	6,0027	5,0472	6,4924	4,9064	6,0025	4,0413	6,3502	3,8392	6,0023	3,2537
	0,50	6,8294	6,3336	6,0011	5,0440	6,4935	4,8998	6,0027	4,0317	6,3500	3,8293	6,0025	3,2451
	0,75	6,8292	6,3361	6,0042	5,0386	6,4923	4,8955	6,0016	4,0241	6,3501	3,8256	6,0041	3,2328
	1,00	6,8292	6,3250	6,0044	5,0348	6,4940	4,8801	6,0031	4,0127	6,3490	3,8062	6,0042	3,2313
	1,25	6,8325	6,3228	6,0052	5,0241	6,4910	4,8695	6,0053	4,0089	6,3534	3,8013	6,0045	3,2152
	1,50	6,8307	6,3265	6,0080	5,0172	6,4933	4,8557	6,0021	3,9852	6,3549	3,7765	6,0045	3,1943
	1,75	6,8391	6,3216	6,0086	5,0042	6,4918	4,8438	6,0041	3,9691	6,3490	3,7606	6,0033	3,1748
	2,00	6,8356	6,3093	6,0063	4,9858	6,4957	4,8229	6,0041	3,9499	6,3479	3,7466	6,0043	3,1649
Log-normalny	0,25	6,7602	6,2732	5,9418	4,9955	6,4266	4,8550	5,9414	3,9973	6,2858	3,8005	5,9412	3,2162
	0,50	6,7604	6,2714	5,9423	4,9936	6,4272	4,8529	5,9417	3,9981	6,2862	3,7921	5,9419	3,2143
	0,75	6,7616	6,2683	5,9404	4,9929	6,4265	4,8507	5,9415	3,9872	6,2866	3,7843	5,9411	3,2080
	1,00	6,7623	6,2651	5,9436	4,9814	6,4311	4,8368	5,9424	3,9794	6,2849	3,7778	5,9418	3,2014
	1,25	6,7622	6,2619	5,9437	4,9798	6,4263	4,8331	5,9410	3,9709	6,2890	3,7677	5,9432	3,1913
	1,50	6,7596	6,2598	5,9459	4,9732	6,4230	4,8246	5,9436	3,9636	6,2859	3,7601	5,9429	3,1814
	1,75	6,7606	6,2633	5,9442	4,9677	6,4317	4,8128	5,9433	3,9520	6,2843	3,7513	5,9414	3,1702
	2,00	6,7721	6,2492	5,9424	4,9592	6,4311	4,8029	5,9418	3,9427	6,2872	3,7380	5,9424	3,1617
Weibulla	0,25	6,8282	6,3340	6,0021	5,0445	6,4927	4,8993	6,0013	4,0328	6,3508	3,8263	6,0015	3,2445
	0,50	6,8313	6,3320	6,0043	5,0389	6,4940	4,8953	6,0041	4,0265	6,3495	3,8279	6,0020	3,2410
	0,75	6,8326	6,3258	6,0031	5,0333	6,4947	4,8809	6,0064	4,0158	6,3541	3,8106	6,0038	3,2321
	1,00	6,8319	6,3253	6,0087	5,0297	6,4965	4,8752	6,0024	4,0045	6,3527	3,8046	6,0024	3,2187
	1,25	6,8357	6,3215	6,0048	5,0173	6,4941	4,8635	6,0009	3,9909	6,3485	3,7872	6,0030	3,1970
	1,50	6,8354	6,3202	6,0028	5,0150	6,4941	4,8526	6,0067	3,9833	6,3510	3,7666	6,0009	3,1865
	1,75	6,8384	6,3114	6,0020	4,9997	6,4873	4,8382	6,0086	3,9560	6,3541	3,7562	6,0044	3,1731
	2,00	6,8345	6,3208	6,0122	4,9937	6,4959	4,8221	6,0039	3,9519	6,3520	3,7377	6,0051	3,1639
$\epsilon_1 = 10\%$													
Normalny	0,00	24,005	22,543	24,021	20,790	24,011	19,091	24,023	17,602	24,023	16,332	24,018	15,294
Gamma	0,25	24,009	22,525	24,009	20,770	24,011	19,081	24,010	17,591	24,011	16,325	24,011	15,283
	0,50	24,008	22,531	24,008	20,772	24,012	19,081	24,011	17,569	24,008	16,303	24,010	15,285
	0,75	24,012	22,529	24,010	20,766	24,009	19,067	24,007	17,567	24,009	16,300	24,012	15,268
	1,00	24,007	22,522	24,014	20,742	24,012	19,040	24,015	17,557	24,012	16,286	24,010	15,260
	1,25	24,017	22,505	24,015	20,727	24,011	19,026	24,015	17,528	24,014	16,247	24,013	15,237
	1,50	24,018	22,498	24,012	20,715	24,012	19,008	24,014	17,494	24,012	16,234	24,012	15,209
	1,75	24,025	22,496	24,012	20,698	24,014	18,994	24,010	17,498	24,011	16,220	24,011	15,182
	2,00	24,006	22,495	24,010	20,678	24,011	18,968	24,015	17,452	24,015	16,198	24,011	15,157
Log-normalny	0,25	23,766	22,297	23,766	20,561	23,766	18,888	23,766	17,395	23,765	16,162	23,766	15,131
	0,50	23,764	22,298	23,763	20,563	23,764	18,892	23,766	17,401	23,766	16,141	23,765	15,120
	0,75	23,764	22,303	23,764	20,552	23,762	18,863	23,765	17,385	23,765	16,139	23,763	15,114
	1,00	23,765	22,293	23,770	20,552	23,768	18,861	23,764	17,373	23,768	16,114	23,765	15,109
	1,25	23,771	22,290	23,769	20,534	23,768	18,851	23,768	17,366	23,769	16,117	23,768	15,099
	1,50	23,771	22,286	23,769	20,515	23,770	18,839	23,767	17,343	23,766	16,088	23,767	15,081
	1,75	23,768	22,282	23,765	20,505	23,769	18,822	23,766	17,330	23,766	16,092	23,765	15,052
	2,00	23,771	22,272	23,765	20,502	23,767	18,799	23,766	17,302	23,764	16,068	23,767	15,044
Weibulla	0,25	24,010	22,534	24,006	20,769	24,012	19,073	24,010	17,597	24,012	16,314	24,011	15,287
	0,50	24,010	22,526	24,013	20,764	24,008	19,065	24,012	17,563	24,011	16,293	24,012	15,277
	0,75	24,007	22,523	24,013	20,746	24,008	19,033	24,011	17,542	24,010	16,305	24,010	15,246
	1,00	24,020	22,507	24,007	20,742	24,007	19,028	24,010	17,528	24,009	16,276	24,012	15,229
	1,25	24,019	22,514	24,016	20,732	24,009	19,013	24,011	17,508	24,015	16,258	24,011	15,233
	1,50	24,009	22,503	24,016	20,708	24,011	18,987	24,007	17,500	24,009	16,226	24,019	15,210
	1,75	24,017	22,495	24,018	20,689	24,010	18,979	24,019	17,478	24,017	16,210	24,016	15,184
	2,00	23,998	22,492	24,014	20,666	24,009	18,958	24,010	17,440	24,016	16,168	24,015	15,159
$\epsilon_1 = 20\%$													
Normalny	0,00	96,042	92,065	96,030	87,305	96,045	83,131	96,030	79,819	96,038	77,344	96,045	75,546
Gamma	0,25	96,040	75,477	96,042	92,065	96,039	87,307	96,037	83,120	96,037	79,809	96,040	77,319
	0,50	96,038	75,461	96,039	92,084	96,034	87,341	96,040	83,123	96,038	79,781	96,039	77,300
	0,75	96,036	75,452	96,035	92,097	96,047	87,305	96,038	83,090	96,038	79,759	96,032	77,334
	1,00	96,035	75,470	96,037	92,043	96,037	87,298	96,047	83,039	96,037	79,789	96,046	77,283
	1,25	96,040	75,463	96,046	92,057	96,056	87,262	96,058	83,064	96,037	79,762	96,036	77,254
	1,50	96,038	75,476	96,041	92,042	96,034	87,262	96,045	83,033	96,040	79,732	96,036	77,244
	1,75	96,054	75,412	96,055	92,034	96,038	87,209	96,037	83,032	96,030	79,731	96,029	77,225
	2,00	96,043	75,411	96,054	91,999	96,031	87,188	96,044	82,981	96,027	79,669	96,054	77,250
Log-normalny	0,25	95,063	91,164	95,062	86,419	95,063	82,264	95,063	79,013	95,062	76,488	95,063	74,705
	0,50	95,057	91,126	95,058	86,445	95,063	82,295	95,066	78,991	95,062	76,507	95,064	74,707
	0,75	95,056	91,126	95,064	86,419	95,060	82,243	95,061	79,010	95,062	76,547	95,062	74,715
	1,00	95,064	91,101	95,061	86,407	95,070	82,224	95,060	78,977	95,062	76,503	95,060	74,658
	1,25	95,065	91,121	95,056	86,398	95,068	82,199	95,075	78,927	95,065	76,484	95,065	74,702
	1,50	95,061	91,088	95,058	86,372	95,067	82,236	95,059	78,919	95,062	76,493	95,061	74,653
	1,75	95,074	91,089	95,066	86,365	95,072	82,194	95,056	78,934	95,065	76,493	95,067	74,676
	2,00	95,072	91,099	95,058	86,360	95,059	82,207	95,070	78,933	95,060	76,476	95,053	74,644
Weibulla	0,25	96,053	92,099	96,041	87,279	96,044	83,133	96,043	79,759	96,039	77,314	96,037	75,484
	0,50	96,042	92,053	96,043	87,295	96,040	83,093	96,049	79,787	96,039	77,307	96,038	75,482
	0,75	96,030	92,062	96,038	87,294	96,027	83,096	96,045	79,746	96,043	77,317	96,047	75,485
	1,00	96,046	92,068	96,047	87,295	96,045	83,039	96,041	79,731	96,042	77,262	96,055	75,454
	1,25	96,039	92,040	96,053	87,277	96,045	83,033	96,028	79,733	96,036	77,264	96,047	75,451

Tabela B.7. Wartości MSE dla estymatorów położenia - $m = 50$ segment V
(opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n											
		3		4		5		6		7		8	
		\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R
$\varepsilon_1 = 5\%$													
Normalny	0,00	6,8361	6,9059	6,0070	6,0095	6,4969	6,5357	6,0032	6,0071	6,3536	6,3809	6,0055	6,0029
Gamma	0,25	6,8307	6,9021	6,0023	6,0006	6,4915	6,5304	6,0027	6,0000	6,3502	6,3747	6,0020	5,9987
	0,50	6,8324	6,9004	6,0020	5,9977	6,4921	6,5242	6,0034	5,9912	6,3505	6,3650	6,0019	5,9884
	0,75	6,8298	6,8978	6,0034	5,9882	6,4939	6,5134	6,0045	5,9799	6,3518	6,3499	6,0015	5,9713
	1,00	6,8337	6,8964	6,0036	5,9800	6,4955	6,4953	6,0046	5,9596	6,3501	6,3283	6,0053	5,9470
	1,25	6,8356	6,8847	6,0066	5,9641	6,4915	6,4781	6,0017	5,9382	6,3492	6,3029	6,0042	5,9225
	1,50	6,8354	6,8832	6,0079	5,9569	6,4927	6,4592	5,9994	5,9118	6,3534	6,2709	6,0039	5,8888
	1,75	6,8356	6,8722	6,0024	5,9345	6,4925	6,4267	6,0031	5,8829	6,3530	6,2388	6,0033	5,8586
	2,00	6,8408	6,8682	6,0054	5,9295	6,4965	6,4045	6,0067	5,8535	6,3601	6,2035	6,0069	5,8162
Log-normalny	0,25	6,7604	6,8317	5,9413	5,9400	6,4262	6,4639	5,9424	5,9393	6,2857	6,3105	5,9413	5,9384
	0,50	6,7601	6,8297	5,9416	5,9368	6,4271	6,4593	5,9414	5,9322	6,2854	6,3028	5,9411	5,9311
	0,75	6,7617	6,8291	5,9404	5,9298	6,4267	6,4498	5,9413	5,9225	6,2857	6,2911	5,9416	5,9167
	1,00	6,7604	6,8270	5,9428	5,9240	6,4290	6,4391	5,9406	5,9094	6,2866	6,2747	5,9423	5,9034
	1,25	6,7607	6,8222	5,9398	5,9177	6,4266	6,4311	5,9436	5,8936	6,2855	6,2564	5,9433	5,8803
	1,50	6,7649	6,8161	5,9448	5,9075	6,4268	6,4124	5,9423	5,8801	6,2870	6,2385	5,9392	5,8629
	1,75	6,7593	6,8137	5,9417	5,8960	6,4300	6,4019	5,9457	5,8635	6,2888	6,2199	5,9417	5,8415
	2,00	6,7628	6,8132	5,9443	5,8867	6,4282	6,3872	5,9434	5,8448	6,2849	6,2006	5,9444	5,8176
Weibulla	0,25	6,8309	6,9014	6,0009	5,9979	6,4931	6,5230	6,0031	5,9939	6,3500	6,3692	6,0041	5,9919
	0,50	6,8288	6,8967	6,0054	5,9905	6,4957	6,5126	6,0041	5,9811	6,3510	6,3515	6,0053	5,9760
	0,75	6,8317	6,8889	6,0074	5,9844	6,4954	6,4990	6,0036	5,9626	6,3534	6,3344	6,0025	5,9576
	1,00	6,8350	6,8929	6,0018	5,9721	6,4923	6,4830	6,0032	5,9434	6,3518	6,3109	6,0014	5,9300
	1,25	6,8359	6,8868	6,0075	5,9589	6,4940	6,4656	5,9995	5,9240	6,3507	6,2815	6,0045	5,8997
	1,50	6,8368	6,8789	6,0020	5,9493	6,4938	6,4438	6,0024	5,8972	6,3508	6,2552	6,0008	5,8737
	1,75	6,8305	6,8740	6,0040	5,9307	6,4961	6,4283	6,0074	5,8765	6,3540	6,2319	6,0063	5,8445
	2,00	6,8334	6,8693	6,0069	5,9245	6,4953	6,4091	6,0038	5,8535	6,3507	6,1975	6,0061	5,8100
$\varepsilon_1 = 10\%$													
Normalny	0,00	24,011	24,012	24,007	24,016	24,010	24,004	24,014	24,013	24,022	24,011	24,015	24,015
Gamma	0,25	24,010	24,010	24,010	24,005	24,010	24,007	24,011	24,005	24,011	24,004	24,009	24,002
	0,50	24,010	24,004	24,010	23,997	24,010	23,993	24,010	23,987	24,012	23,986	24,010	23,982
	0,75	24,011	23,998	24,014	23,984	24,017	23,971	24,012	23,964	24,010	23,956	24,010	23,950
	1,00	24,012	23,994	24,015	23,965	24,014	23,944	24,009	23,928	24,012	23,919	24,014	23,906
	1,25	24,004	23,987	24,027	23,948	24,008	23,912	24,015	23,889	24,013	23,868	24,017	23,857
	1,50	24,014	23,975	24,005	23,909	24,020	23,866	24,009	23,843	24,010	23,811	24,015	23,787
	1,75	24,023	23,947	24,005	23,881	24,017	23,833	24,008	23,784	24,005	23,748	24,015	23,724
	2,00	24,021	23,935	24,019	23,857	24,005	23,772	24,009	23,711	24,016	23,677	24,013	23,640
Log-normalny	0,25	23,765	23,764	23,766	23,763	23,765	23,762	23,766	23,761	23,766	23,761	23,766	23,760
	0,50	23,765	23,764	23,768	23,758	23,764	23,755	23,765	23,749	23,768	23,744	23,766	23,744
	0,75	23,768	23,762	23,764	23,747	23,763	23,736	23,767	23,729	23,765	23,725	23,764	23,720
	1,00	23,768	23,756	23,767	23,730	23,767	23,719	23,762	23,703	23,767	23,697	23,767	23,690
	1,25	23,767	23,741	23,766	23,717	23,767	23,692	23,762	23,677	23,767	23,667	23,769	23,656
	1,50	23,768	23,737	23,775	23,703	23,766	23,669	23,765	23,644	23,766	23,621	23,765	23,611
	1,75	23,766	23,724	23,771	23,682	23,773	23,648	23,765	23,612	23,765	23,590	23,763	23,571
	2,00	23,765	23,706	23,773	23,665	23,779	23,622	23,776	23,579	23,766	23,556	23,765	23,529
Weibulla	0,25	24,007	24,007	24,009	23,998	24,017	23,993	24,010	23,995	24,016	23,992	24,011	23,990
	0,50	24,009	24,004	24,008	23,983	24,006	23,976	24,014	23,966	24,011	23,963	24,014	23,957
	0,75	24,019	23,988	24,008	23,968	24,016	23,950	24,017	23,940	24,015	23,923	24,008	23,913
	1,00	24,019	23,986	24,018	23,946	24,012	23,918	24,010	23,895	24,017	23,879	24,009	23,870
	1,25	24,022	23,975	24,012	23,929	24,013	23,895	24,008	23,855	24,016	23,834	24,012	23,818
	1,50	24,012	23,956	24,019	23,906	24,014	23,850	24,012	23,813	24,014	23,783	24,010	23,760
	1,75	24,011	23,947	24,025	23,876	24,026	23,824	24,011	23,757	24,014	23,732	24,013	23,699
	2,00	24,018	23,943	24,022	23,851	24,022	23,774	24,023	23,724	24,018	23,675	24,023	23,644
$\varepsilon_1 = 20\%$													
Normalny	0,00	96,054	96,052	96,029	96,035	96,039	96,021	96,049	96,045	96,047	96,036	96,048	96,046
Gamma	0,25	96,039	96,040	96,039	96,036	96,041	96,031	96,040	96,031	96,039	96,029	96,042	96,030
	0,50	96,043	96,033	96,042	96,024	96,038	96,014	96,038	96,004	96,043	96,001	96,039	95,992
	0,75	96,043	96,009	96,036	95,992	96,037	95,974	96,037	95,953	96,043	95,944	96,038	95,939
	1,00	96,042	95,994	96,034	95,945	96,042	95,916	96,036	95,902	96,046	95,871	96,046	95,853
	1,25	96,047	95,976	96,046	95,918	96,034	95,863	96,044	95,809	96,034	95,777	96,036	95,762
	1,50	96,045	95,947	96,030	95,864	96,046	95,786	96,045	95,723	96,043	95,692	96,048	95,653
	1,75	96,038	95,936	96,041	95,818	96,037	95,719	96,040	95,633	96,029	95,576	96,045	95,515
	2,00	96,024	95,910	96,051	95,745	96,053	95,620	96,043	95,506	96,035	95,434	96,026	95,385
Log-normalny	0,25	95,060	95,062	95,063	95,056	95,063	95,057	95,061	95,056	95,064	95,054	95,062	95,052
	0,50	95,058	95,059	95,058	95,049	95,063	95,039	95,061	95,037	95,064	95,029	95,062	95,025
	0,75	95,065	95,051	95,061	95,032	95,065	95,011	95,059	95,002	95,063	94,984	95,059	94,977
	1,00	95,058	95,033	95,061	95,006	95,062	94,978	95,062	94,956	95,061	94,935	95,068	94,929
	1,25	95,058	95,024	95,066	94,983	95,059	94,939	95,066	94,905	95,068	94,885	95,060	94,861
	1,50	95,064	95,012	95,058	94,939	95,061	94,901	95,060	94,840	95,066	94,821	95,060	94,792
	1,75	95,066	95,019	95,055	94,916	95,061	94,847	95,071	94,787	95,058	94,763	95,066	94,713
	2,00	95,061	94,995	95,067	94,877	95,061	94,805	95,064	94,728	95,062	94,688	95,065	94,642
Weibulla	0,25	96,044	96,025	96,038	96,017	96,037	96,021	96,037	96,010	96,036	96,002	96,035	96,000
	0,50	96,043	96,033	96,033	95,994	96,034	95,984	96,039	95,953	96,036	95,948	96,038	95,947
	0,75	96,043	96,001	96,053	95,959	96,035	95,930	96,035	95,909	96,033	95,887	96,042	95,871
	1,00	96,038	95,978	96,044	95,928	96,046	95,866	96,048	95,838	96,030	95,812	96,053	95,788
	1,25	96,058	95,974	96,063	95,888	96,042	95,807	96,038	95,751	96,052	95,726	96,037	95,699
	1,50												

B.2. Zmienność - R i R_R

Tabela B.8. Wartości MSE dla estymatorów zmienności - $m = 50$ segment I
(opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n											
		3		4		5		6		7		8	
		R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R
Normalny	0,00	0,0055	0,0114	0,0036	0,0071	0,0028	0,0051	0,0023	0,0041	0,0019	0,0033	0,0017	0,0029
Gamma	0,25	0,0055	0,0111	0,0037	0,0070	0,0028	0,0053	0,0023	0,0041	0,0020	0,0034	0,0017	0,0029
	0,50	0,0058	0,0118	0,0039	0,0074	0,0030	0,0053	0,0024	0,0042	0,0021	0,0033	0,0018	0,0029
	0,75	0,0065	0,0118	0,0043	0,0078	0,0033	0,0056	0,0027	0,0043	0,0023	0,0036	0,0021	0,0030
	1,00	0,0067	0,0122	0,0047	0,0081	0,0038	0,0057	0,0030	0,0045	0,0027	0,0038	0,0024	0,0032
	1,25	0,0078	0,0132	0,0053	0,0087	0,0042	0,0060	0,0035	0,0049	0,0030	0,0040	0,0027	0,0034
	1,50	0,0086	0,0141	0,0060	0,0093	0,0049	0,0068	0,0041	0,0055	0,0036	0,0043	0,0033	0,0037
	1,75	0,0099	0,0155	0,0069	0,0105	0,0056	0,0075	0,0050	0,0060	0,0043	0,0050	0,0037	0,0044
	2,00	0,0112	0,0174	0,0081	0,0122	0,0064	0,0083	0,0055	0,0069	0,0049	0,0058	0,0045	0,0050
Log-normalny	0,25	0,0056	0,0110	0,0038	0,0072	0,0029	0,0052	0,0023	0,0042	0,0020	0,0033	0,0017	0,0029
	0,50	0,0058	0,0116	0,0039	0,0074	0,0030	0,0053	0,0025	0,0041	0,0021	0,0034	0,0019	0,0030
	0,75	0,0064	0,0122	0,0044	0,0078	0,0033	0,0054	0,0028	0,0044	0,0024	0,0035	0,0021	0,0030
	1,00	0,0069	0,0123	0,0048	0,0080	0,0037	0,0056	0,0032	0,0046	0,0027	0,0036	0,0024	0,0032
	1,25	0,0078	0,0134	0,0055	0,0083	0,0042	0,0058	0,0037	0,0048	0,0031	0,0039	0,0029	0,0034
	1,50	0,0086	0,0137	0,0061	0,0091	0,0050	0,0063	0,0041	0,0051	0,0038	0,0041	0,0034	0,0035
	1,75	0,0091	0,0143	0,0068	0,0094	0,0055	0,0066	0,0047	0,0055	0,0043	0,0043	0,0039	0,0037
	2,00	0,0103	0,0146	0,0076	0,0101	0,0062	0,0069	0,0054	0,0056	0,0048	0,0046	0,0044	0,0039
Weibulla	0,25	0,0051	0,0108	0,0034	0,0071	0,0026	0,0050	0,0020	0,0039	0,0016	0,0031	0,0014	0,0027
	0,50	0,0055	0,0112	0,0036	0,0071	0,0027	0,0052	0,0021	0,0041	0,0018	0,0032	0,0016	0,0028
	0,75	0,0061	0,0118	0,0039	0,0075	0,0029	0,0053	0,0024	0,0043	0,0021	0,0033	0,0018	0,0029
	1,00	0,0067	0,0125	0,0046	0,0081	0,0036	0,0057	0,0029	0,0046	0,0025	0,0036	0,0022	0,0032
	1,25	0,0075	0,0135	0,0052	0,0090	0,0041	0,0061	0,0034	0,0051	0,0030	0,0040	0,0027	0,0036
	1,50	0,0084	0,0144	0,0061	0,0096	0,0047	0,0069	0,0040	0,0055	0,0035	0,0045	0,0032	0,0039
	1,75	0,0097	0,0157	0,0069	0,0108	0,0055	0,0077	0,0048	0,0063	0,0042	0,0050	0,0038	0,0044
	2,00	0,0113	0,0170	0,0080	0,0115	0,0066	0,0087	0,0056	0,0070	0,0048	0,0057	0,0044	0,0048

Tabela B.9. Wartości MSE estymatorów zmienności - $m = 50$ segment II wersja A
(opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n											
		3		4		5		6		7		8	
		R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R
$\varepsilon_1 = 5\%$													
Normalny	0,00	0,0341	0,0380	0,0301	0,0241	0,0330	0,0218	0,0325	0,0169	0,0356	0,0162	0,0352	0,0139
Gamma	0,25	13,654	0,1012	13,790	0,7083	17,184	0,0473	18,477	0,0992	22,006	0,0270	23,467	0,0274
	0,50	16,734	0,1042	16,866	0,8788	21,001	0,0496	22,504	0,1079	26,689	0,0288	28,492	0,0326
	0,75	18,019	0,1110	18,242	0,9669	22,649	0,0528	24,264	0,1245	28,697	0,0302	30,673	0,0347
	1,00	19,080	0,1185	19,233	1,0309	23,947	0,0550	25,543	0,1327	30,397	0,0334	32,293	0,0379
	1,25	20,172	0,1245	20,216	1,1518	25,093	0,0611	26,755	0,1490	31,643	0,0360	33,742	0,0430
	1,50	21,293	0,1358	21,344	1,2817	26,297	0,0692	28,123	0,1611	33,207	0,0392	35,242	0,0455
	1,75	22,504	0,1548	22,533	1,4236	27,860	0,0788	29,474	0,1938	34,671	0,0450	36,719	0,0574
	2,00	24,024	0,1698	23,921	1,5961	29,284	0,0899	31,077	0,2223	36,469	0,0523	38,505	0,0632
Log-normalny	0,25	3507171	1057,1	3555589	145576	4444887	234,40	4788781	13652	5713235	36,022	6139143	1655,1
	0,50	13432	17,198	13642	589,64	17016	3,4278	18356	56,010	21944	0,6829	23541	6,7086
	0,75	501,61	1,6276	509,48	22,553	637,34	0,3478	683,36	2,2699	817,30	0,0816	875,93	0,2900
	1,00	46,486	0,3946	46,783	2,3898	58,233	0,1011	62,655	0,2601	74,348	0,0415	79,357	0,0545
	1,25	6,6871	0,2108	6,7518	0,4378	8,2778	0,0725	8,8491	0,0774	10,465	0,0372	11,113	0,0309
	1,50	1,2105	0,1534	1,1942	0,1458	1,4650	0,0629	1,5235	0,0493	1,7751	0,0364	1,8588	0,0295
	1,75	0,2309	0,0957	0,2200	0,0714	0,2548	0,0494	0,2578	0,0391	0,2900	0,0335	0,2898	0,0279
	2,00	0,0421	0,0404	0,0365	0,0340	0,0367	0,0295	0,0341	0,0256	0,0342	0,0236	0,0325	0,0215
Weibulla	0,25	17,289	0,1006	17,581	0,8769	22,007	0,0446	23,775	0,1084	28,426	0,0255	30,420	0,0295
	0,50	18,922	0,1030	18,127	0,9190	22,700	0,0477	24,498	0,1129	29,441	0,0277	31,462	0,0316
	0,75	18,572	0,1085	18,813	0,9867	23,512	0,0523	25,405	0,1228	30,244	0,0292	32,407	0,0337
	1,00	19,402	0,1181	19,637	1,0610	24,481	0,0566	26,317	0,1269	31,268	0,0330	33,457	0,0379
	1,25	20,372	0,1308	20,522	1,1820	25,578	0,0631	27,305	0,1502	32,485	0,0368	34,523	0,0404
	1,50	21,345	0,1415	21,525	1,3009	26,633	0,0704	28,466	0,1730	33,734	0,0428	35,861	0,0457
	1,75	22,665	0,1553	22,743	1,3975	27,845	0,0773	29,626	0,1984	35,094	0,0462	37,026	0,0532
	2,00	23,884	0,1730	23,910	1,6378	29,334	0,0906	31,092	0,2128	36,405	0,0525	38,425	0,0653
$\varepsilon_1 = 10\%$													
Normalny	0,00	0,0937	0,0890	0,0934	0,0749	0,0949	0,0672	0,0969	0,0613	0,0987	0,0584	0,0992	0,0551
Gamma	0,25	43,437	0,2402	47,263	5,6188	52,437	0,1916	57,406	1,0007	62,445	0,1379	66,741	0,2949
	0,50	53,014	0,2460	57,605	6,7396	63,894	0,1986	70,081	1,1686	75,736	0,1450	81,105	0,3455
	0,75	57,094	0,2581	62,431	7,5338	68,815	0,2151	75,745	1,3063	81,469	0,1568	87,288	0,3812
	1,00	60,743	0,2695	65,759	8,2003	72,812	0,2280	79,537	1,3713	86,150	0,1703	91,787	0,4109
	1,25	64,026	0,2951	68,944	8,8819	76,202	0,2548	83,576	1,5403	90,420	0,1867	96,053	0,4476
	1,50	67,507	0,3284	73,204	9,7857	80,034	0,2832	87,454	1,7074	94,250	0,2051	100,31	0,5025
	1,75	71,558	0,3589	77,362	10,759	84,682	0,3199	91,989	1,9784	98,808	0,2308	104,92	0,5874
	2,00	76,133	0,4112	82,163	12,187	89,046	0,3703	96,932	2,3114	103,41	0,2692	109,67	0,6762
Log-normalny	0,25	11168183	5416,7	12220036	1226663	13587232	1947,1	15030589	155225	16383930	782,65	17598847	33224
	0,50	42872	84,474	47076	4720,6	52318	29,407	57962	608,70	63070	12,758	68114	124,28
	0,75	1602,9	8,5869	1766,2	185,07	1962,0	2,8520	2165,2	25,159	2367,5	1,1217	2544,8	5,4072
	1,00	148,41	1,9248	162,83	18,514	180,22	0,7895	198,90	2,9152	216,29	0,3379	232,58	0,7468
	1,25	21,375	0,8312	23,371	3,3345	25,771	0,4153	28,253	0,7136	30,594	0,2258	32,816	0,2615
	1,50	3,8539	0,5109	4,1550	0,8955	4,5248	0,3024	4,8955	0,3175	5,2275	0,1906	5,5477	0,1768
	1,75	0,7260	0,2810	0,7501	0,3222	0,7864	0,1978	0,8277	0,1890	0,8577	0,1472	0,8871	0,1377
	2,00	0,1134	0,0956	0,1087	0,1108	0,1043	0,0909	0,1006	0,0932	0,0981	0,0844	0,0894	0,0833
Weibulla	0,25	54,960	0,2363	60,314	6,7648	67,049	0,1855	73,800	1,1357	80,571	0,1304	86,794	0,3296
	0,50	56,798	0,2469	62,083	7,1187	69,241	0,1973	76,272	1,2277	83,275	0,1405	89,503	0,3528
	0,75	59,123	0,2585	64,402	7,6276	71,627	0,2127	78,927	1,2750	86,034	0,1546	92,247	0,3777
	1,00	61,736	0,2817	67,363	8,2086	74,532	0,2348	81,910	1,3940	88,776	0,1712	95,401	0,4009
	1,25	64,640	0,3070	70,292	9,0385	77,920	0,2620	85,353	1,5641	92,011	0,1901	98,644	0,4726
	1,50	67,958	0,3362	73,935	9,9445	81,366	0,2894	88,501	1,7404	95,562	0,2153	102,08	0,5143
	1,75	72,060	0,3670	77,909	11,033	85,169	0,3250	92,803	1,9697	99,575	0,2382	105,66	0,6012
	2,00	75,711	0,4185	82,000	12,290	89,567	0,3710	96,645	2,2397	103,61	0,2702	109,82	0,6614
$\varepsilon_1 = 20\%$													
Normalny	0,00	0,2680	0,1989	0,2586	0,2700	0,2476	0,2283	0,2375	0,2554	0,2284	0,2398	0,2193	0,2527
Gamma	0,25	136,72	0,4876	138,05	45,613	140,24	0,7687	141,1791	14,482	141,78	0,8701	141,25	6,0540
	0,50	166,81	0,4971	168,86	55,717	170,87	0,8174	172,3510	17,496	172,36	0,9194	171,28	7,2751
	0,75	180,36	0,5227	181,76	61,247	184,05	0,8675	186,1479	19,266	185,81	0,9866	184,77	7,8319
	1,00	190,77	0,5502	192,07	66,366	194,69	0,9443	195,9053	20,984	196,01	1,0870	194,68	8,6297
	1,25	201,52	0,5967	201,70	72,820	204,46	1,0348	205,6852	23,167	205,06	1,1867	203,39	9,5999
	1,50	212,87	0,6693	213,21	79,605	214,78	1,1545	215,6857	25,940	214,57	1,3471	212,18	10,616
	1,75	225,39	0,7484	225,70	89,064	226,45	1,3091	226,4937	29,347	223,94	1,5226	221,96	12,211
	2,00	239,81	0,8531	239,79	100,96	239,42	1,5088	238,3864	33,912	236,21	1,7536	231,78	14,398
Log-normalny	0,25	35387278	46479	35939051	10867516	36786251	30515	37413370	2843002	37775229	19467	37893062	934497
	0,50	136519	744,57	139428	42218	142820	499,50	145754	11516	147388	290,61	148397	3712,3
	0,75	5135,2	68,638	5253,1	1656,0	5386,6	44,967	5512,2	466,68	5582,1	26,586	5623,6	161,82
	1,00	477,52	13,880	487,62	164,85	498,56	9,7075	510,32	50,786	517,43	6,2151	520,69	19,574
	1,25	68,979	4,6259	70,448	26,856	72,024	3,7986	73,271	9,9382	74,145	2,7990	74,733	4,7643
	1,50	12,464	2,1728	12,549	6,1337	12,777	2,0453	12,883	3,0559	12,947	1,6892	12,922	1,9530
	1,75	2,3138	0,9869	2,2690	1,6754	2,2493	1,0248	2,2270	1,1994	2,1920	0,9339	2,1436	0,9825
	2,00	0,3360	0,2866	0,3174	0,4098	0,2958	0,3506	0,2749	0,3983	0,2590	0,3685	0,2414	0,3904
Weibulla	0,25	172,91	0,4899	175,79	56,078	179,26	0,7426	181,62	17,309	183,35	0,8276	183,43	6,8811
	0,50	179,13	0,4986	181,14	58,743	185,27	0,7893	188,24	18,066	189,51	0,8947	189,15	7,2751
	0,75	185,45	0,5300	188,17	62,380	191,47	0,8690	194,50	19,292	195,35	0,9679	195,49	7,8952
	1,00	194,38	0,5643	196,29	67,320</								

Tabela B.10. Wartości MSE estymatorów zmienności - $m = 50$ segment II wersja B (opracowanie własne)

Rozkład		κ_3	n											
			3		4		5		6		7		8	
			R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R
$\epsilon_1 = 5\%$														
Normalny	0,00	0,0528	0,0384	0,0506	0,0176	0,0596	0,0144	0,0617	0,0105	0,0720	0,0095	0,0760	0,0080	
Gamma	0,25	13,7021	0,1009	13,7756	0,7351	17,2071	0,0463	18,4473	0,0941	21,8845	0,0269	23,4880	0,0289	
	0,50	16,7204	0,1041	16,8404	0,8769	20,9920	0,0488	22,3942	0,1140	26,6896	0,0285	28,4961	0,0321	
	0,75	18,0071	0,1077	18,2125	0,9830	22,6362	0,0521	24,3673	0,1232	28,7794	0,0300	30,6024	0,0370	
	1,00	19,1212	0,1154	19,2625	1,0277	23,9493	0,0555	25,4912	0,1305	30,2958	0,0332	32,2446	0,0385	
	1,25	20,1795	0,1244	20,1630	1,1819	25,0541	0,0633	26,8341	0,1515	31,7513	0,0362	33,6469	0,0416	
	1,50	21,2665	0,1356	21,3120	1,2836	26,3356	0,0684	28,0907	0,1667	33,2236	0,0397	35,2485	0,0501	
	1,75	22,5129	0,1524	22,5647	1,4546	27,7462	0,0786	29,5674	0,1913	34,7410	0,0459	36,7645	0,0510	
	2,00	23,9769	0,1710	23,9797	1,6094	29,2784	0,0882	30,9725	0,2154	36,4441	0,0516	38,4849	0,0589	
Log-normalny	0,25	0,5385	0,1022	0,5356	0,0700	0,6593	0,0407	0,6965	0,0280	0,8246	0,0237	0,8752	0,0177	
Weibulla	0,50	0,0665	0,0558	0,0632	0,0266	0,0740	0,0233	0,0774	0,0159	0,0890	0,0150	0,0940	0,0119	
	0,75	0,0380	0,0352	0,0345	0,0172	0,0393	0,0150	0,0394	0,0108	0,0446	0,0102	0,0471	0,0083	
	1,00	0,0839	0,0309	0,0759	0,0158	0,0848	0,0136	0,0885	0,0099	0,1043	0,0091	0,1019	0,0075	
	1,25	0,3345	0,0328	0,2420	0,0170	0,2788	0,0128	0,2986	0,0099	0,3298	0,0089	0,3260	0,0077	
	1,50	1,0421	0,0356	1,2389	0,0198	1,8652	0,0138	1,3114	0,0101	1,2626	0,0093	1,1906	0,0078	
	1,75	10,4009	0,0446	3,0383	0,0242	3,9518	0,0144	4,3118	0,0114	3,9878	0,0094	5,5262	0,0080	
	2,00	23,5646	0,0623	16,2851	0,0370	12,4137	0,0158	17,1619	0,0117	19,7037	0,0099	18,6070	0,0082	
	Gamma	0,25	17,2646	0,1017	17,5816	0,8518	21,9561	0,0452	23,7704	0,1100	28,4350	0,0256	30,4912	0,0290
Weibulla	0,50	17,9107	0,1027	18,1345	0,8985	22,7512	0,0476	24,4918	0,1149	29,3250	0,0273	31,3678	0,0310	
	0,75	18,5721	0,1077	18,8572	0,9938	23,5432	0,0512	25,3810	0,1174	30,1304	0,0304	32,4372	0,0345	
	1,00	19,4460	0,1146	19,6900	1,0582	24,4126	0,0569	26,2385	0,1348	31,2262	0,0329	33,4711	0,0361	
	1,25	20,3893	0,1303	20,5966	1,1613	25,5984	0,0640	27,3858	0,1509	32,4382	0,0371	34,5311	0,0437	
	1,50	21,3969	0,1403	21,5887	1,2968	26,6576	0,0720	28,4489	0,1633	33,6666	0,0427	35,7787	0,0487	
	1,75	22,5857	0,1570	22,6518	1,4583	27,9424	0,0786	29,6999	0,1959	35,1454	0,0461	37,2075	0,0546	
	2,00	23,8992	0,1725	23,9953	1,5545	29,3349	0,0920	31,0634	0,2161	36,4001	0,0518	38,6457	0,0603	
	$\epsilon_1 = 10\%$													
Normalny	0,00	0,1619	0,1002	0,1755	0,0516	0,1964	0,0411	0,2198	0,0320	0,2482	0,0288	0,2701	0,0258	
Gamma	0,25	43,3848	0,2409	47,2262	5,5625	52,3364	0,1904	57,5259	0,9618	62,5808	0,1379	66,8727	0,3026	
	0,50	52,9175	0,2488	57,6073	6,8085	63,8746	0,2007	70,0355	1,1779	75,8051	0,1451	81,2272	0,3374	
	0,75	57,2000	0,2621	62,3725	7,4894	68,9556	0,2136	75,5640	1,3128	81,7052	0,1550	87,2985	0,3852	
	1,00	60,5244	0,2775	65,7534	8,1264	73,0055	0,2279	79,6609	1,4309	86,0405	0,1693	91,8726	0,4197	
	1,25	64,1369	0,2973	69,2319	8,7690	76,3957	0,2572	83,5470	1,5321	90,2036	0,1854	96,2844	0,4390	
	1,50	67,4282	0,3242	73,0168	9,7133	79,9976	0,2887	87,6219	1,7244	94,2508	0,2075	100,4497	0,5015	
	1,75	71,3778	0,3657	77,2501	10,7273	84,5366	0,3192	91,8336	1,9611	98,5975	0,2343	105,0729	0,6105	
	2,00	76,0580	0,4097	81,9774	12,4336	89,1368	0,3698	96,8626	2,2803	103,7206	0,2696	109,5949	0,7156	
Log-normalny	0,25	1,6934	0,2853	1,8334	0,3941	2,0179	0,1787	2,1904	0,1654	2,3734	0,1164	2,5354	0,1021	
Weibulla	0,50	0,1952	0,1455	0,2098	0,0941	0,2302	0,0808	0,2484	0,0632	0,2684	0,0578	0,2873	0,0494	
	0,75	0,1020	0,0836	0,1099	0,0456	0,1165	0,0428	0,1282	0,0325	0,1390	0,0313	0,1525	0,0270	
	1,00	0,2208	0,0715	0,2237	0,0395	0,2460	0,0347	0,2622	0,0267	0,3076	0,0246	0,3164	0,0217	
	1,25	0,7367	0,0759	1,0215	0,0441	0,8232	0,0331	0,8475	0,0260	1,0664	0,0234	1,0164	0,0209	
	1,50	2,6896	0,0909	2,2589	0,0577	3,3380	0,0336	2,7940	0,0268	5,4750	0,0233	3,1429	0,0206	
	1,75	10,9809	0,1166	16,4713	0,0792	9,8515	0,0351	10,6804	0,0286	12,7735	0,0246	11,9089	0,0212	
	2,00	36,5370	0,1655	36,7954	0,1460	47,8422	0,0390	38,5780	0,0301	398,9494	0,0253	49,9368	0,0222	
	Gamma	0,25	54,9574	0,2428	60,1782	6,7321	67,0285	0,1855	73,9879	1,1397	80,7586	0,1314	86,7660	0,3256
Weibulla	0,50	56,8528	0,2469	61,9894	7,1205	69,3362	0,1974	76,1659	1,2210	83,2599	0,1430	89,5123	0,3402	
	0,75	59,1224	0,2627	64,6369	7,5391	71,4886	0,2123	78,9737	1,2994	86,0092	0,1542	92,4552	0,3803	
	1,00	61,6394	0,2797	67,2552	8,2235	74,4835	0,2367	81,6142	1,3952	88,7425	0,1717	95,3668	0,4151	
	1,25	64,5840	0,3099	70,4266	8,9426	78,1110	0,2632	85,3410	1,5611	92,1758	0,1906	98,6481	0,4636	
	1,50	67,7326	0,3406	73,9382	9,7832	81,0853	0,2933	88,8501	1,7358	95,5418	0,2156	102,0194	0,5260	
	1,75	72,0994	0,3724	77,7631	10,8795	84,9893	0,3261	92,6512	2,0103	99,6538	0,2427	105,6848	0,5969	
	2,00	75,9276	0,4140	81,7524	12,5304	89,3643	0,3670	96,9593	2,2710	103,2209	0,2732	110,0722	0,6866	
	$\epsilon_1 = 20\%$													
Normalny	0,00	0,5774	0,3752	0,6269	0,2229	0,6999	0,1873	0,7668	0,1458	0,8521	0,1348	0,9294	0,1193	
Gamma	0,25	136,9121	0,4816	137,7903	45,6435	140,0939	0,7688	141,4159	14,3565	141,8048	0,8659	141,1622	0,6081	
	0,50	167,2818	0,4972	168,3457	55,6841	170,8527	0,8095	172,2235	17,4953	172,5464	0,9204	171,9440	7,2129	
	0,75	180,5490	0,5211	181,9919	61,7996	183,8756	0,8696	186,1543	19,1870	185,7930	0,9873	184,8748	7,9742	
	1,00	191,1868	0,5496	192,3627	67,2004	194,2919	0,9275	195,8280	21,1944	195,8453	1,0771	194,7200	8,5287	
	1,25	201,7324	0,5993	201,9474	72,8299	204,5371	1,0389	205,3963	23,1514	205,2455	1,1857	203,6968	9,6154	
	1,50	213,0862	0,6558	213,0311	79,5575	214,1979	1,1584	215,6537	25,8786	214,3970	1,3332	212,6631	10,7168	
	1,75	225,1719	0,7454	225,8231	90,0547	225,9751	1,3170	226,1291	29,3035	224,5516	1,5127	221,9707	12,4181	
	2,00	239,9213	0,8552	239,2114	101,6239	239,0335	1,5233	238,5667	34,0141	235,6859	1,7583	232,0095	14,3312	
Log-normalny	0,25	5,3488	0,8382	5,3796	2,5144	5,4800	0,9348	5,5348	1,3858	5,5754	0,8551	5,5612	0,9649	
Weibulla	0,50	0,6285	0,4406	0,6397	0,4245	0,6641	0,3557	0,6862	0,3330	0,7049	0,3068	0,7183	0,2861	
	0,75	0,3372	0,2517	0,3537	0,1732	0,3767	0,1647	0,4027	0,1381	0,4305	0,1351	0,4629	0,1218	
	1,00	0,6906	0,2336	0,7121	0,1448	0,7881	0,1290	0,8537	0,1051	0,9391	0,0999	1,0291	0,0898	
	1,25	2,1469	0,2655	2,1369	0,1697	2,3535	0,1246	2,6572	0,1004	2,8619	0,0941	3,1419	0,0822	
	1,50	9,9231	0,3313	7,2468	0,2449	7,6425	0,1294	7,7578	0,1067	9,2925	0,0936	10,4147	0,0837	
	1,75	37,6590	0,4444	24,7824	0,3812	24,5811	0,1491	39,7159	0,1207	33,2051	0,0968	31,1479	0,0857	
	2,00	78,4912	0,6844	264,1789	0,6032	85,7037	0,1630	82,4692	0,1388	103,1425	0,1028	116,5321	0,0887	
	Gamma	0,25	172,4553	0,4808	175,9557	55,9130	178,9578	0,7503	18					

Tabela B.11. Wartości MSE estymatorów zmienności - $m = 50$ segment III wersja A (opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n											
		3		4		5		6		7		8	
		R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R
$\varepsilon_1 = 5\%$													
Normalny	0,00	0,0054	0,0112	0,0036	0,0072	0,0028	0,0053	0,0023	0,0040	0,0020	0,0033	0,0017	0,0029
Gamma	0,25	0,0211	0,0298	0,0163	0,0247	0,0152	0,0209	0,0137	0,0191	0,0132	0,0179	0,0124	0,0165
	0,50	0,0165	0,0227	0,0127	0,0157	0,0116	0,0138	0,0107	0,0116	0,0102	0,0109	0,0096	0,0098
	0,75	0,0150	0,0211	0,0122	0,0154	0,0112	0,0124	0,0102	0,0103	0,0097	0,0095	0,0091	0,0086
	1,00	0,0160	0,0206	0,0119	0,0144	0,0112	0,0114	0,0098	0,0096	0,0099	0,0088	0,0092	0,0078
	1,25	0,0164	0,0203	0,0122	0,0144	0,0111	0,0109	0,0103	0,0091	0,0101	0,0081	0,0093	0,0071
	1,50	0,0174	0,0208	0,0130	0,0146	0,0117	0,0109	0,0107	0,0089	0,0104	0,0075	0,0098	0,0067
	1,75	0,0189	0,0219	0,0141	0,0151	0,0129	0,0109	0,0117	0,0092	0,0111	0,0074	0,0104	0,0068
	2,00	0,0198	0,0236	0,0155	0,0163	0,0139	0,0114	0,0122	0,0095	0,0118	0,0078	0,0111	0,0067
Log-normalny	0,25	76587	5645,7	53954	193212	44214	8405,7	38124	168207	34487	11460	31619	154034
	0,50	364,37	86,779	264,42	842,71	224,35	123,75	196,74	737,79	181,21	161,25	167,12	682,06
	0,75	16,308	6,9631	12,170	35,468	10,486	9,5721	9,3087	31,374	8,6762	11,760	8,0672	29,085
	1,00	1,7525	1,0929	1,3241	3,6313	1,1572	1,4181	1,0322	3,2561	0,9697	1,6374	0,9037	3,0183
	1,25	0,2851	0,2473	0,2178	0,5809	0,1907	0,2851	0,1718	0,5194	0,1618	0,3191	0,1519	0,4823
	1,50	0,0605	0,0688	0,0464	0,1198	0,0410	0,0720	0,0363	0,1041	0,0342	0,0738	0,0313	0,0958
	1,75	0,0190	0,0275	0,0138	0,0305	0,0117	0,0200	0,0102	0,0246	0,0090	0,0186	0,0083	0,0209
	2,00	0,0111	0,0170	0,0081	0,0126	0,0066	0,0091	0,0057	0,0081	0,0050	0,0065	0,0046	0,0060
Weibulla	0,25	0,2508	0,0140	0,1685	0,7609	0,1268	0,0084	0,1055	0,6421	0,0911	0,0065	0,0811	0,5777
	0,50	0,2624	0,0142	0,1725	0,7971	0,1316	0,0083	0,1098	0,6747	0,0955	0,0065	0,0840	0,6067
	0,75	0,2727	0,0148	0,1805	0,8471	0,1371	0,0087	0,1145	0,7215	0,0981	0,0067	0,0881	0,6497
	1,00	0,2860	0,0156	0,1903	0,9172	0,1439	0,0091	0,1186	0,7921	0,1023	0,0070	0,0917	0,7174
	1,25	0,3016	0,0160	0,2005	1,0087	0,1523	0,0094	0,1256	0,8801	0,1068	0,0076	0,0952	0,8015
	1,50	0,3184	0,0174	0,2127	1,1082	0,1593	0,0100	0,1310	0,9936	0,1121	0,0078	0,0996	0,9149
	1,75	0,3438	0,0188	0,2239	1,2381	0,1699	0,0109	0,1394	1,1293	0,1190	0,0084	0,1047	1,0500
	2,00	0,3612	0,0201	0,2380	1,3829	0,1781	0,0114	0,1464	1,2950	0,1243	0,0091	0,1098	1,2135
$\varepsilon_1 = 10\%$													
Normalny	0,00	0,0086	0,0136	0,0069	0,0101	0,0062	0,0085	0,0056	0,0074	0,0053	0,0065	0,0051	0,0061
Gamma	0,25	0,0318	0,0400	0,0286	0,0337	0,0275	0,0309	0,0266	0,0297	0,0265	0,0280	0,0260	0,0274
	0,50	0,0319	0,0394	0,0289	0,0327	0,0277	0,0300	0,0267	0,0277	0,0257	0,0271	0,0254	0,0263
	0,75	0,0313	0,0364	0,0281	0,0310	0,0272	0,0277	0,0268	0,0261	0,0255	0,0241	0,0253	0,0242
	1,00	0,0311	0,0354	0,0283	0,0303	0,0269	0,0246	0,0260	0,0236	0,0255	0,0220	0,0252	0,0210
	1,25	0,0320	0,0328	0,0279	0,0272	0,0263	0,0222	0,0260	0,0201	0,0254	0,0183	0,0251	0,0174
	1,50	0,0325	0,0307	0,0280	0,0255	0,0254	0,0188	0,0256	0,0175	0,0247	0,0157	0,0249	0,0142
	1,75	0,0328	0,0303	0,0286	0,0258	0,0267	0,0172	0,0256	0,0165	0,0254	0,0126	0,0246	0,0125
	2,00	0,0343	0,0306	0,0291	0,0243	0,0266	0,0164	0,0261	0,0153	0,0256	0,0111	0,0252	0,0101
Log-normalny	0,25	4973,4	5226,0	4879,9	5061,6	4872,8	4997,5	4805,0	4932,6	4796,9	4869,2	4775,1	4895,0
	0,50	73,521	79,693	72,462	75,510	71,190	74,936	70,868	73,587	70,643	73,656	70,521	73,120
	0,75	5,7987	6,3970	5,6884	6,0637	5,5861	6,0147	5,5626	5,9193	5,5374	5,9398	5,5095	5,9311
	1,00	0,8695	0,9705	0,8449	0,9281	0,8271	0,9289	0,8222	0,9079	0,8121	0,9041	0,8098	0,8980
	1,25	0,1724	0,2103	0,1661	0,1931	0,1621	0,1923	0,1598	0,1882	0,1569	0,1872	0,1559	0,1849
	1,50	0,0415	0,0576	0,0384	0,0491	0,0370	0,0466	0,0352	0,0452	0,0337	0,0449	0,0331	0,0431
	1,75	0,0149	0,0230	0,0119	0,0163	0,0100	0,0140	0,0091	0,0126	0,0087	0,0119	0,0078	0,0109
	2,00	0,0102	0,0154	0,0073	0,0103	0,0060	0,0075	0,0051	0,0059	0,0046	0,0050	0,0040	0,0043
Weibulla	0,25	0,0147	0,0197	0,0129	0,0163	0,0122	0,0146	0,0118	0,0135	0,0115	0,0129	0,0114	0,0122
	0,50	0,0147	0,0202	0,0134	0,0161	0,0124	0,0147	0,0118	0,0137	0,0115	0,0127	0,0114	0,0125
	0,75	0,0150	0,0206	0,0136	0,0168	0,0128	0,0147	0,0121	0,0140	0,0118	0,0132	0,0116	0,0125
	1,00	0,0157	0,0216	0,0141	0,0173	0,0132	0,0154	0,0126	0,0140	0,0122	0,0133	0,0121	0,0129
	1,25	0,0168	0,0217	0,0145	0,0178	0,0137	0,0155	0,0130	0,0148	0,0127	0,0134	0,0125	0,0133
	1,50	0,0181	0,0234	0,0156	0,0192	0,0144	0,0163	0,0140	0,0150	0,0133	0,0137	0,0130	0,0135
	1,75	0,0188	0,0244	0,0161	0,0200	0,0152	0,0171	0,0144	0,0159	0,0138	0,0147	0,0132	0,0139
	2,00	0,0204	0,0255	0,0169	0,0210	0,0158	0,0175	0,0149	0,0162	0,0145	0,0152	0,0140	0,0142
$\varepsilon_1 = 20\%$													
Normalny	0,00	0,0190	0,0238	0,0175	0,0208	0,0168	0,0186	0,0164	0,0179	0,0161	0,0172	0,0157	0,0166
Gamma	0,25	0,1044	0,1157	0,0999	0,1058	0,0989	0,1032	0,0970	0,1002	0,0966	0,0994	0,0961	0,0973
	0,50	0,1030	0,1110	0,0995	0,1010	0,0971	0,0978	0,0959	0,0941	0,0946	0,0934	0,0942	0,0911
	0,75	0,0984	0,1013	0,0972	0,0953	0,0939	0,0887	0,0935	0,0860	0,0921	0,0835	0,0917	0,0839
	1,00	0,0957	0,0884	0,0925	0,0866	0,0911	0,0749	0,0891	0,0752	0,0900	0,0721	0,0887	0,0711
	1,25	0,0921	0,0778	0,0862	0,0748	0,0855	0,0636	0,0859	0,0619	0,0857	0,0567	0,0864	0,0570
	1,50	0,0894	0,0672	0,0845	0,0651	0,0818	0,0495	0,0834	0,0503	0,0825	0,0431	0,0842	0,0420
	1,75	0,0855	0,0584	0,0815	0,0581	0,0803	0,0387	0,0799	0,0391	0,0804	0,0313	0,0812	0,0315
	2,00	0,0832	0,0537	0,0779	0,0528	0,0780	0,0313	0,0793	0,0313	0,0788	0,0226	0,0796	0,0218
Log-normalny	0,25	19377	19908	19281	19550	19047	19411	18897	19395	18951	19276	18939	19168
	0,50	286,15	299,50	282,45	293,17	283,57	291,36	282,10	289,36	280,86	289,41	278,79	288,87
	0,75	22,641	24,140	22,210	23,464	22,209	23,422	21,999	23,210	21,939	23,162	21,798	23,204
	1,00	3,3688	3,6739	3,2935	3,5212	3,2523	3,5837	3,2211	3,5684	3,2074	3,5374	3,1742	3,5410
	1,25	0,6474	0,7443	0,6296	0,7148	0,6193	0,7245	0,6174	0,7176	0,6149	0,7178	0,6068	0,7156
	1,50	0,1370	0,1758	0,1305	0,1606	0,1282	0,1603	0,1257	0,1599	0,1224	0,1613	0,1195	0,1597
	1,75	0,0287	0,0436	0,0252	0,0362	0,0230	0,0350	0,0217	0,0329	0,0208	0,0327	0,0196	0,0315
	2,00	0,0098	0,0164	0,0072	0,0107	0,0059	0,0085	0,0050	0,0072	0,0044	0,0062	0,0039	0,0055
Weibulla	0,25	0,0445	0,0487	0,0424	0,0458	0,0420	0,0441	0,0415	0,0429	0,0414	0,0426	0,0412	0,0422
	0,50	0,0445	0,0494	0,0432	0,0461	0,0422	0,0439	0,0415	0,0434	0,0409	0,0425	0,0414	0,0423
	0,75	0,0447	0,0497	0,0431	0,0462	0,0427	0,0448	0,0419	0,0437	0,0414	0,0428	0,0416	0,0421
	1,00	0,0452	0,0508	0,0437	0,0464	0,0430	0,0445	0,0423	0,0435	0,0418	0,0423	0,0415	0,0422
	1,25	0,0461	0,0506	0,0440	0,0477	0,0432	0,0446	0,0433	0,0439	0,0426	0,0431	0,0420	0,0432
	1,50	0,0472	0,0517	0,0438	0,0476	0,0440	0,0459						

Tabela B.12. Wartości MSE estymatorów zmienności - $m = 50$ segment III wersja B
(opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n											
		3		4		5		6		7		8	
		R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R
$\varepsilon_1 = 5\%$													
Normalny	0,00	0,0380	0,0477	0,0310	0,0340	0,0321	0,0323	0,0295	0,0275	0,0304	0,0283	0,0290	0,0257
Gamma	0,25	0,0068	0,0119	0,0044	0,0113	0,0035	0,0061	0,0026	0,0078	0,0023	0,0045	0,0021	0,0059
	0,50	0,0058	0,0119	0,0039	0,0074	0,0029	0,0054	0,0024	0,0044	0,0020	0,0035	0,0018	0,0030
	0,75	0,0062	0,0120	0,0042	0,0075	0,0032	0,0055	0,0027	0,0043	0,0023	0,0035	0,0020	0,0030
	1,00	0,0069	0,0122	0,0047	0,0080	0,0036	0,0057	0,0030	0,0045	0,0026	0,0036	0,0023	0,0031
	1,25	0,0074	0,0131	0,0052	0,0085	0,0042	0,0060	0,0035	0,0048	0,0031	0,0039	0,0027	0,0034
	1,50	0,0083	0,0139	0,0059	0,0094	0,0048	0,0067	0,0040	0,0053	0,0035	0,0043	0,0032	0,0036
	1,75	0,0096	0,0153	0,0069	0,0104	0,0055	0,0073	0,0047	0,0061	0,0042	0,0049	0,0037	0,0042
	2,00	0,0108	0,0169	0,0079	0,0120	0,0064	0,0085	0,0054	0,0069	0,0050	0,0057	0,0044	0,0047
Log-normalny	0,25	0,0144	0,0136	0,0099	0,0313	0,0076	0,0090	0,0063	0,0252	0,0054	0,0085	0,0049	0,0215
	0,50	0,0107	0,0153	0,0081	0,0127	0,0067	0,0089	0,0060	0,0085	0,0054	0,0067	0,0052	0,0063
	0,75	0,0215	0,0204	0,0177	0,0141	0,0174	0,0105	0,0171	0,0084	0,0167	0,0077	0,0162	0,0065
	1,00	0,0735	0,0306	0,0631	0,0236	0,0637	0,0144	0,0588	0,0126	0,0689	0,0100	0,0643	0,0091
	1,25	0,2702	0,0561	0,2350	0,0487	0,2529	0,0232	0,2312	0,0196	0,3111	0,0146	0,2718	0,0128
	1,50	1,0228	0,1054	0,8947	0,0897	1,1492	0,0362	1,9490	0,0315	1,3326	0,0223	1,0072	0,0199
	1,75	4,9896	0,2171	4,2342	0,1987	14,230	0,0562	2,5288	0,0517	4,3707	0,0337	5,6808	0,0293
	2,00	15,768	0,5048	13,607	0,5783	30,114	0,1034	23,075	0,0844	26,037	0,0536	106,47	0,0435
Weibulla	0,25	0,2515	0,0136	0,1678	0,7565	0,1271	0,0083	0,1052	0,6444	0,0905	0,0066	0,0815	0,5763
	0,50	0,2631	0,0143	0,1727	0,7961	0,1323	0,0084	0,1096	0,6735	0,0954	0,0065	0,0840	0,6053
	0,75	0,2728	0,0149	0,1813	0,8490	0,1365	0,0087	0,1134	0,7217	0,0980	0,0069	0,0877	0,6507
	1,00	0,2882	0,0153	0,1907	0,9196	0,1434	0,0090	0,1177	0,7927	0,1023	0,0069	0,0919	0,7175
	1,25	0,3038	0,0160	0,1986	1,0086	0,1520	0,0093	0,1249	0,8816	0,1070	0,0075	0,0960	0,7997
	1,50	0,3200	0,0176	0,2127	1,1077	0,1599	0,0101	0,1306	0,9984	0,1126	0,0078	0,0993	0,9109
	1,75	0,3415	0,0183	0,2249	1,2388	0,1688	0,0109	0,1381	1,1303	0,1187	0,0085	0,1041	1,0509
	2,00	0,3620	0,0200	0,2393	1,3835	0,1792	0,0115	0,1462	1,2894	0,1247	0,0089	0,1110	1,2143
$\varepsilon_1 = 10\%$													
Normalny	0,00	0,1039	0,1192	0,0995	0,1069	0,0975	0,1036	0,0954	0,0992	0,0956	0,0983	0,0945	0,0977
Gamma	0,25	0,0057	0,0113	0,0039	0,0073	0,0031	0,0053	0,0025	0,0044	0,0023	0,0036	0,0020	0,0031
	0,50	0,0061	0,0115	0,0041	0,0075	0,0033	0,0053	0,0027	0,0044	0,0024	0,0035	0,0022	0,0032
	0,75	0,0065	0,0118	0,0045	0,0077	0,0035	0,0055	0,0030	0,0045	0,0026	0,0036	0,0024	0,0032
	1,00	0,0070	0,0119	0,0049	0,0081	0,0038	0,0059	0,0033	0,0047	0,0029	0,0038	0,0027	0,0033
	1,25	0,0075	0,0130	0,0053	0,0089	0,0043	0,0061	0,0036	0,0051	0,0033	0,0040	0,0030	0,0034
	1,50	0,0085	0,0142	0,0060	0,0093	0,0048	0,0065	0,0042	0,0054	0,0038	0,0043	0,0033	0,0037
	1,75	0,0096	0,0148	0,0068	0,0103	0,0056	0,0075	0,0049	0,0059	0,0043	0,0048	0,0038	0,0042
	2,00	0,0107	0,0167	0,0076	0,0117	0,0063	0,0083	0,0055	0,0067	0,0048	0,0055	0,0044	0,0047
Log-normalny	0,25	0,0058	0,0114	0,0038	0,0072	0,0029	0,0051	0,0024	0,0043	0,0021	0,0034	0,0018	0,0029
	0,50	0,0123	0,0160	0,0101	0,0105	0,0089	0,0078	0,0086	0,0065	0,0082	0,0055	0,0082	0,0048
	0,75	0,0467	0,0286	0,0416	0,0227	0,0401	0,0154	0,0419	0,0137	0,0407	0,0113	0,0418	0,0106
	1,00	0,1710	0,0557	0,1598	0,0507	0,1509	0,0299	0,1661	0,0274	0,1656	0,0217	0,1778	0,0207
	1,25	0,5820	0,1232	0,5755	0,1126	0,6366	0,0542	0,6530	0,0524	0,6346	0,0379	0,6844	0,0362
	1,50	2,3329	0,2422	2,5447	0,2400	2,2894	0,0964	2,2527	0,0909	2,6773	0,0623	3,1146	0,0616
	1,75	11,941	0,4956	9,5030	0,5213	7,1695	0,1678	8,4422	0,1562	97,723	0,0966	10,630	0,0947
	2,00	94,130	1,0273	40,327	1,5516	30,032	0,2826	26,337	0,2790	90,711	0,1479	104,37	0,1434
Weibulla	0,25	0,0147	0,0195	0,0131	0,0168	0,0121	0,0147	0,0119	0,0136	0,0114	0,0128	0,0113	0,0124
	0,50	0,0150	0,0199	0,0133	0,0166	0,0123	0,0144	0,0118	0,0136	0,0116	0,0129	0,0114	0,0124
	0,75	0,0153	0,0205	0,0136	0,0168	0,0126	0,0148	0,0122	0,0138	0,0121	0,0130	0,0116	0,0127
	1,00	0,0159	0,0216	0,0140	0,0179	0,0132	0,0154	0,0127	0,0142	0,0124	0,0133	0,0120	0,0127
	1,25	0,0163	0,0221	0,0148	0,0181	0,0134	0,0156	0,0132	0,0143	0,0129	0,0138	0,0127	0,0132
	1,50	0,0179	0,0230	0,0156	0,0192	0,0143	0,0164	0,0138	0,0150	0,0134	0,0139	0,0131	0,0134
	1,75	0,0188	0,0243	0,0164	0,0202	0,0151	0,0171	0,0142	0,0156	0,0138	0,0145	0,0134	0,0140
	2,00	0,0202	0,0258	0,0175	0,0213	0,0158	0,0175	0,0152	0,0164	0,0147	0,0151	0,0137	0,0142
$\varepsilon_1 = 20\%$													
Normalny	0,00	0,3797	0,4061	0,3736	0,3887	0,3708	0,3831	0,3709	0,3735	0,3688	0,3708	0,3667	0,3739
Gamma	0,25	0,0066	0,0118	0,0051	0,0083	0,0040	0,0063	0,0038	0,0054	0,0034	0,0046	0,0032	0,0042
	0,50	0,0068	0,0121	0,0052	0,0083	0,0043	0,0062	0,0037	0,0053	0,0036	0,0045	0,0033	0,0042
	0,75	0,0070	0,0124	0,0052	0,0084	0,0045	0,0064	0,0039	0,0052	0,0037	0,0044	0,0034	0,0040
	1,00	0,0077	0,0125	0,0055	0,0085	0,0047	0,0063	0,0040	0,0053	0,0038	0,0044	0,0036	0,0040
	1,25	0,0080	0,0128	0,0061	0,0090	0,0051	0,0064	0,0044	0,0054	0,0039	0,0044	0,0037	0,0039
	1,50	0,0087	0,0136	0,0065	0,0095	0,0054	0,0067	0,0047	0,0053	0,0043	0,0044	0,0040	0,0040
	1,75	0,0096	0,0146	0,0072	0,0102	0,0059	0,0071	0,0052	0,0058	0,0049	0,0045	0,0043	0,0041
	2,00	0,0104	0,0163	0,0078	0,0111	0,0066	0,0080	0,0055	0,0067	0,0051	0,0053	0,0046	0,0046
Log-normalny	0,25	0,0060	0,0116	0,0039	0,0074	0,0031	0,0055	0,0025	0,0043	0,0022	0,0037	0,0019	0,0031
	0,50	0,0263	0,0229	0,0248	0,0184	0,0237	0,0132	0,0235	0,0120	0,0237	0,0101	0,0242	0,0094
	0,75	0,1266	0,0622	0,1288	0,0573	0,1288	0,0380	0,1346	0,0368	0,1412	0,0313	0,1467	0,0306
	1,00	0,5123	0,1478	0,4895	0,1453	0,5020	0,0860	0,5739	0,0857	0,5660	0,0661	0,5814	0,0654
	1,25	1,6902	0,3128	1,9334	0,3265	1,9441	0,1651	2,0091	0,1652	2,1900	0,1199	2,2264	0,1170
	1,50	6,2838	0,6756	6,1742	0,6926	6,5031	0,2858	8,1215	0,2959	6,2703	0,1990	7,2427	0,1894
	1,75	39,467	1,3885	28,935	1,4373	25,839	0,5015	26,706	0,4979	45,313	0,3111	28,024	0,3048
	2,00	118,26	2,6883	118,91	3,6118	71,933	0,8348	72,929	0,8157	128,32	0,4572	167,19	0,4498
Weibulla	0,25	0,0449	0,0488	0,0425	0,0459	0,0418	0,0438	0,0417	0,0432	0,0412	0,0430	0,0411	0,0420
	0,50	0,0443	0,0492	0,0432	0,0465	0,0419	0,0439	0,0418	0,0436	0,0413	0,0426	0,0416	0,0421
	0,75	0,0449	0,0491	0,0432	0,0460	0,0425	0,0441	0,0418	0,0436	0,0418	0,0428	0,0414	0,0424
	1,00	0,0451	0,0504	0,0432	0,0470	0,0431	0,0443	0,0426	0,0440	0,0420	0,0428	0,0419	0,0426
	1,25	0,0457	0,0507	0,0438	0,0476	0,0430	0,0447	0,0426	0,0439	0,0425	0,0434	0,0424	0,0431
	1,50	0,0474	0,0521	0,0449									

Tabela B.13. Wartości *MSE* estymatorów zmienności - $m = 50$ segment IV
(opracowanie własne)

		n											
		3		4		5		6		7		8	
Rozkład	κ_3	R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R
$\epsilon_1 = 5\%$													
Normalny	0,00	18,669	0,1005	18,914	0,9548	23,597	0,0442	25,291	0,1125	30,146	0,0253	32,186	0,0316
Gamma	0,25	13,646	0,1011	13,795	0,7276	17,236	0,0466	18,479	0,0964	21,956	0,0267	23,423	0,0284
	0,50	16,675	0,1041	16,821	0,8752	20,964	0,0481	22,423	0,1090	26,792	0,0288	28,439	0,0324
	0,75	18,055	0,1073	18,234	0,9823	22,689	0,0525	24,284	0,1247	28,827	0,0300	30,612	0,0333
	1,00	19,107	0,1153	19,220	1,0452	23,925	0,0555	25,548	0,1370	30,287	0,0330	32,301	0,0383
	1,25	20,183	0,1232	20,212	1,1243	25,111	0,0619	26,779	0,1472	31,812	0,0356	33,703	0,0420
	1,50	21,274	0,1360	21,360	1,2952	26,325	0,0679	28,126	0,1657	33,207	0,0401	35,288	0,0468
	1,75	22,509	0,1517	22,566	1,4279	27,809	0,0786	29,554	0,1866	34,722	0,0455	36,831	0,0515
	2,00	24,035	0,1736	23,949	1,5942	29,349	0,0902	31,066	0,2108	36,398	0,0524	38,413	0,0620
Log-normalny	0,25	11,152	0,1000	11,248	0,5895	13,946	0,0465	14,939	0,0808	17,836	0,0268	19,004	0,0266
	0,50	15,210	0,1026	15,370	0,8193	19,054	0,0491	20,462	0,1082	24,321	0,0283	25,920	0,0321
	0,75	17,010	0,1087	17,187	0,9574	21,275	0,0519	22,742	0,1130	27,001	0,0302	28,762	0,0343
	1,00	18,341	0,1124	18,402	1,0371	22,739	0,0552	24,327	0,1271	28,756	0,0321	30,566	0,0381
	1,25	19,291	0,1219	19,371	1,1005	23,981	0,0611	25,577	0,1473	30,230	0,0353	31,945	0,0402
	1,50	20,354	0,1283	20,446	1,2192	25,228	0,0648	26,613	0,1524	31,362	0,0379	33,092	0,0436
	1,75	21,433	0,1379	21,370	1,2832	26,263	0,0684	27,815	0,1675	32,710	0,0410	34,405	0,0492
	2,00	22,433	0,1415	22,437	1,3573	27,410	0,0754	28,724	0,1895	33,745	0,0425	35,518	0,0520
Weibulla	0,25	17,255	0,1001	17,627	0,8739	22,008	0,0447	23,743	0,1081	28,310	0,0257	30,513	0,0291
	0,50	17,890	0,1036	18,141	0,8882	22,663	0,0466	24,578	0,1154	29,414	0,0276	31,461	0,0315
	0,75	18,619	0,1086	18,902	0,9741	23,505	0,0513	25,355	0,1234	30,297	0,0297	32,424	0,0348
	1,00	19,395	0,1196	19,672	1,0483	24,473	0,0561	26,154	0,1363	31,213	0,0332	33,406	0,0371
	1,25	20,366	0,1294	20,520	1,1605	25,528	0,0637	27,285	0,1483	32,469	0,0372	34,567	0,0432
	1,50	21,359	0,1427	21,631	1,2785	26,726	0,0699	28,412	0,1735	33,797	0,0431	35,824	0,0503
	1,75	22,693	0,1579	22,675	1,4470	27,958	0,0784	29,659	0,1928	35,044	0,0467	37,214	0,0535
	2,00	23,903	0,1736	23,888	1,6200	29,324	0,0910	31,106	0,2090	36,438	0,0526	38,616	0,0621
$\epsilon_1 = 10\%$													
Normalny	0,00	59,321	0,2414	64,812	7,3458	71,665	0,1809	78,937	1,2108	85,623	0,1298	91,616	0,3558
Gamma	0,25	43,390	0,2412	47,251	5,6247	52,264	0,1889	57,373	0,9652	62,323	0,1355	66,646	0,3027
	0,50	52,945	0,2487	57,920	6,7493	63,730	0,2012	70,111	1,1774	75,755	0,1451	81,141	0,3395
	0,75	57,341	0,2630	62,469	7,4670	68,952	0,2150	75,609	1,3140	81,682	0,1560	87,442	0,3990
	1,00	60,543	0,2726	65,895	8,1233	72,783	0,2308	79,420	1,3934	86,301	0,1688	91,854	0,4109
	1,25	64,017	0,2983	68,977	8,9930	76,274	0,2571	83,467	1,5345	90,139	0,1862	96,057	0,4575
	1,50	67,487	0,3237	72,960	9,7278	80,134	0,2856	87,516	1,7270	93,950	0,2076	100,40	0,5119
	1,75	71,461	0,3609	77,480	10,799	84,730	0,3206	92,008	2,0074	98,366	0,2314	104,82	0,5919
	2,00	75,951	0,4135	82,229	12,369	89,295	0,3665	96,860	2,2714	103,65	0,2677	109,53	0,6844
Log-normalny	0,25	35,383	0,2441	38,523	4,6477	42,387	0,1894	46,498	0,8235	50,616	0,1365	54,131	0,2634
	0,50	48,248	0,2457	52,520	6,4013	58,050	0,2012	63,839	1,0847	69,179	0,1452	73,795	0,3298
	0,75	53,937	0,2604	58,790	7,2553	64,880	0,2152	71,086	1,2317	76,708	0,1562	81,723	0,3698
	1,00	58,340	0,2665	63,031	7,8398	69,337	0,2274	75,781	1,3532	81,613	0,1691	86,917	0,4090
	1,25	61,406	0,2848	66,542	8,4901	72,863	0,2479	79,505	1,5149	85,364	0,1820	91,037	0,4412
	1,50	64,732	0,2982	69,862	9,2599	76,640	0,2669	83,182	1,6190	89,253	0,1944	94,460	0,4930
	1,75	68,096	0,3189	73,402	10,017	79,963	0,2845	86,526	1,7839	92,835	0,2079	97,637	0,5159
	2,00	71,132	0,3414	76,993	10,914	83,186	0,3087	89,944	1,9268	96,172	0,2232	100,97	0,5668
Weibulla	0,25	54,881	0,2433	60,254	6,7516	66,966	0,1862	73,803	1,1672	80,600	0,1309	86,732	0,3232
	0,50	56,862	0,2471	62,011	7,0163	69,287	0,1966	76,330	1,1994	83,292	0,1419	89,385	0,3563
	0,75	59,040	0,2651	64,506	7,6119	71,268	0,2136	79,164	1,2826	85,828	0,1531	92,272	0,3792
	1,00	61,668	0,2797	67,410	8,3592	74,531	0,2316	81,843	1,4266	88,919	0,1729	95,435	0,4113
	1,25	64,651	0,3104	70,492	8,9565	77,928	0,2619	85,166	1,5684	92,234	0,1901	98,743	0,4606
	1,50	67,981	0,3386	73,899	9,8466	81,213	0,2906	88,666	1,7602	95,803	0,2170	101,90	0,5192
	1,75	71,852	0,3788	78,044	10,960	85,103	0,3279	92,298	1,9964	99,487	0,2439	105,82	0,5957
	2,00	76,008	0,4119	81,823	12,175	89,601	0,3726	96,975	2,2468	103,38	0,2679	109,91	0,6615
$\epsilon_1 = 20\%$													
Normalny	0,00	186,24	0,4768	188,96	60,715	191,09	0,7349	194,23	18,768	194,76	0,8249	194,20	7,4861
Gamma	0,25	136,79	0,4788	138,18	45,439	140,27	0,7687	141,38	14,287	141,56	0,8679	140,94	6,0969
	0,50	167,44	0,4963	168,19	55,504	170,67	0,8193	172,41	17,519	172,46	0,9186	171,41	7,2099
	0,75	180,29	0,5184	182,04	62,090	184,14	0,8648	185,99	19,361	185,83	0,9815	184,71	7,9487
	1,00	191,36	0,5528	192,60	66,950	194,87	0,9360	195,71	21,093	195,72	1,0753	194,38	8,7043
	1,25	201,91	0,6041	202,05	73,334	203,93	1,0313	205,70	23,084	205,06	1,1845	204,01	9,5065
	1,50	213,00	0,6624	213,19	80,107	214,86	1,1606	215,59	25,886	214,47	1,3288	212,81	10,760
	1,75	225,38	0,7410	226,35	88,784	226,37	1,3151	226,73	29,287	224,19	1,5079	222,05	12,276
	2,00	239,63	0,8484	239,81	99,432	238,36	1,5071	238,87	34,256	236,04	1,7582	231,68	14,250
Log-normalny	0,25	111,39	0,4793	112,21	37,655	113,72	0,7692	114,46	11,996	114,89	0,8639	114,47	5,1916
	0,50	152,19	0,5011	153,42	51,432	155,35	0,8110	156,57	16,196	157,20	0,9230	155,94	6,7823
	0,75	170,10	0,5156	171,50	58,488	173,29	0,8715	174,32	18,510	174,39	0,9912	172,92	7,7459
	1,00	183,47	0,5418	184,12	64,508	185,12	0,9361	186,19	20,517	185,43	1,0756	183,77	8,4004
	1,25	193,41	0,5733	193,93	69,844	194,77	1,0020	195,64	22,318	194,88	1,1547	192,58	9,1831
	1,50	203,69	0,5964	204,09	76,251	204,94	1,0698	204,73	24,493	202,96	1,2446	202,27	10,246
	1,75	215,01	0,6531	213,87	82,764	213,98	1,1731	213,48	26,434	210,97	1,3410	207,14	11,120
	2,00	224,34	0,6790	224,16	89,114	223,28	1,2458	221,42	29,229	218,37	1,4400	214,44	12,203
Weibulla	0,25	172,71	0,4814	175,81	55,817	179,39	0,7518	182,26	17,079	183,88	0,8241	183,61	6,9814
	0,50	178,51	0,5000	181,20	58,628	185,03	0,7927	187,81	18,082	189,43	0,8939	189,13	7,3326
	0,75	185,75	0,5383	188,57	62,385	191,46	0,8630	194,25	19,396	195,20	0,9722	195,61	7,8855
	1,00	194,75	0,5651	196,36	67,270	198,72	0,9481	201,02	21,045	202,04	1,0848	202,30	8,7258
	1,25	203,22	0,6300	205,41	73,355	208,51	1,0792	209,57	23,514	210,00	1,2153	208,46	9,6805
	1,50	213,62	0,6916	215,60	81,								

Tabela B.14. Wartości MSE estymatorów zmienności - $m = 50$ segment V
(opracowanie własne)

		n											
		3		4		5		6		7		8	
Rozkład	κ_3	R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R	R	R_R
$\epsilon_1 = 5\%$													
Normalny	0,00	0,2750	0,0143	0,1811	0,8412	0,1376	0,0086	0,1138	0,7146	0,0973	0,0068	0,0864	0,6486
Gamma	0,25	0,1964	0,0140	0,1281	0,6095	0,0969	0,0083	0,0801	0,5196	0,0679	0,0067	0,0605	0,4691
	0,50	0,2444	0,0143	0,1606	0,7544	0,1209	0,0086	0,0999	0,6446	0,0847	0,0067	0,0754	0,5849
	0,75	0,2639	0,0146	0,1765	0,8370	0,1314	0,0089	0,1092	0,7194	0,0925	0,0068	0,0821	0,6530
	1,00	0,2826	0,0152	0,1858	0,9141	0,1410	0,0091	0,1155	0,7900	0,0989	0,0070	0,0881	0,7145
	1,25	0,3012	0,0160	0,1946	0,9955	0,1486	0,0094	0,1223	0,8647	0,1052	0,0073	0,0928	0,7949
	1,50	0,3176	0,0171	0,2086	1,0915	0,1564	0,0096	0,1299	0,9766	0,1107	0,0078	0,0978	0,8957
	1,75	0,3389	0,0179	0,2219	1,2258	0,1686	0,0107	0,1368	1,1207	0,1163	0,0083	0,1039	1,0334
	2,00	0,3659	0,0200	0,2383	1,3832	0,1791	0,0117	0,1463	1,2908	0,1239	0,0092	0,1083	1,2103
Log-normalny	0,25	0,1577	0,0145	0,1032	0,4912	0,0770	0,0086	0,0629	0,4204	0,0537	0,0067	0,0474	0,3758
	0,50	0,2204	0,0146	0,1455	0,6925	0,1084	0,0086	0,0903	0,5919	0,0769	0,0067	0,0682	0,5341
	0,75	0,2488	0,0149	0,1642	0,7877	0,1217	0,0086	0,1014	0,6780	0,0864	0,0069	0,0766	0,6187
	1,00	0,2735	0,0151	0,1786	0,8746	0,1337	0,0090	0,1101	0,7606	0,0936	0,0071	0,0826	0,6919
	1,25	0,2850	0,0158	0,1887	0,9545	0,1404	0,0094	0,1159	0,8362	0,0980	0,0072	0,0874	0,7656
	1,50	0,3044	0,0164	0,1996	1,0413	0,1500	0,0097	0,1215	0,9205	0,1043	0,0074	0,0916	0,8479
	1,75	0,3244	0,0168	0,2095	1,1365	0,1572	0,0099	0,1297	1,0125	0,1096	0,0077	0,0954	0,9318
	2,00	0,3365	0,0176	0,2214	1,2210	0,1664	0,0104	0,1335	1,1077	0,1142	0,0078	0,0991	1,0269
Weibulla	0,25	0,2511	0,0139	0,1676	0,7602	0,1266	0,0083	0,1048	0,6440	0,0905	0,0067	0,0814	0,5780
	0,50	0,2626	0,0141	0,1722	0,7937	0,1315	0,0085	0,1095	0,6744	0,0950	0,0066	0,0842	0,6062
	0,75	0,2720	0,0142	0,1805	0,8463	0,1365	0,0087	0,1142	0,7214	0,0980	0,0068	0,0874	0,6507
	1,00	0,2874	0,0154	0,1912	0,9134	0,1439	0,0089	0,1189	0,7950	0,1019	0,0068	0,0915	0,7160
	1,25	0,3029	0,0162	0,2003	1,0093	0,1521	0,0095	0,1256	0,8824	0,1075	0,0075	0,0947	0,8012
	1,50	0,3169	0,0173	0,2118	1,1087	0,1588	0,0104	0,1306	0,9939	0,1121	0,0077	0,0988	0,9140
	1,75	0,3414	0,0190	0,2258	1,2375	0,1682	0,0107	0,1392	1,1284	0,1187	0,0084	0,1050	1,0509
	2,00	0,3601	0,0194	0,2385	1,3806	0,1785	0,0117	0,1464	1,2885	0,1235	0,0089	0,1111	1,2145
$\epsilon_1 = 10\%$													
Normalny	0,00	0,0150	0,0202	0,0136	0,0162	0,0124	0,0149	0,0120	0,0138	0,0117	0,0129	0,0116	0,0123
Gamma	0,25	0,0150	0,0197	0,0135	0,0168	0,0123	0,0148	0,0120	0,0134	0,0117	0,0129	0,0116	0,0126
	0,50	0,0151	0,0202	0,0136	0,0172	0,0125	0,0148	0,0120	0,0140	0,0120	0,0130	0,0118	0,0127
	0,75	0,0157	0,0201	0,0138	0,0170	0,0127	0,0148	0,0123	0,0137	0,0121	0,0131	0,0118	0,0127
	1,00	0,0162	0,0211	0,0142	0,0175	0,0131	0,0153	0,0127	0,0139	0,0123	0,0131	0,0120	0,0130
	1,25	0,0165	0,0215	0,0150	0,0179	0,0138	0,0155	0,0132	0,0147	0,0128	0,0138	0,0125	0,0129
	1,50	0,0177	0,0233	0,0155	0,0186	0,0147	0,0160	0,0137	0,0147	0,0133	0,0141	0,0128	0,0133
	1,75	0,0188	0,0239	0,0160	0,0195	0,0152	0,0168	0,0141	0,0154	0,0137	0,0145	0,0134	0,0141
	2,00	0,0202	0,0254	0,0171	0,0212	0,0162	0,0178	0,0152	0,0165	0,0142	0,0150	0,0140	0,0145
Log-normalny	0,25	0,0152	0,0204	0,0134	0,0162	0,0125	0,0146	0,0120	0,0135	0,0118	0,0130	0,0115	0,0128
	0,50	0,0154	0,0202	0,0137	0,0169	0,0128	0,0150	0,0121	0,0138	0,0119	0,0128	0,0115	0,0126
	0,75	0,0159	0,0210	0,0139	0,0171	0,0131	0,0148	0,0125	0,0139	0,0120	0,0131	0,0117	0,0127
	1,00	0,0162	0,0213	0,0139	0,0172	0,0137	0,0151	0,0129	0,0143	0,0125	0,0135	0,0121	0,0127
	1,25	0,0170	0,0212	0,0147	0,0180	0,0144	0,0156	0,0132	0,0142	0,0132	0,0134	0,0126	0,0130
	1,50	0,0178	0,0219	0,0155	0,0187	0,0144	0,0159	0,0136	0,0148	0,0134	0,0136	0,0130	0,0131
	1,75	0,0183	0,0226	0,0160	0,0188	0,0149	0,0162	0,0141	0,0148	0,0140	0,0140	0,0136	0,0132
	2,00	0,0192	0,0236	0,0167	0,0193	0,0156	0,0163	0,0152	0,0149	0,0143	0,0141	0,0142	0,0134
Weibulla	0,25	0,0147	0,0199	0,0129	0,0166	0,0121	0,0146	0,0118	0,0132	0,0116	0,0131	0,0113	0,0123
	0,50	0,0149	0,0205	0,0134	0,0167	0,0124	0,0147	0,0120	0,0136	0,0114	0,0128	0,0116	0,0124
	0,75	0,0154	0,0206	0,0135	0,0170	0,0128	0,0146	0,0123	0,0139	0,0119	0,0129	0,0117	0,0127
	1,00	0,0158	0,0214	0,0139	0,0171	0,0132	0,0153	0,0127	0,0139	0,0122	0,0133	0,0118	0,0128
	1,25	0,0171	0,0217	0,0148	0,0182	0,0138	0,0159	0,0127	0,0145	0,0129	0,0137	0,0125	0,0132
	1,50	0,0182	0,0229	0,0155	0,0192	0,0144	0,0163	0,0138	0,0149	0,0133	0,0138	0,0130	0,0134
	1,75	0,0189	0,0241	0,0162	0,0199	0,0150	0,0170	0,0145	0,0158	0,0136	0,0144	0,0132	0,0140
	2,00	0,0198	0,0262	0,0172	0,0211	0,0162	0,0175	0,0152	0,0164	0,0146	0,0151	0,0138	0,0144
$\epsilon_1 = 20\%$													
Normalny	0,00	0,0445	0,0494	0,0431	0,0455	0,0422	0,0441	0,0415	0,0434	0,0416	0,0426	0,0412	0,0417
Gamma	0,25	0,0442	0,0491	0,0431	0,0469	0,0419	0,0442	0,0420	0,0431	0,0416	0,0429	0,0410	0,0417
	0,50	0,0443	0,0490	0,0428	0,0464	0,0423	0,0442	0,0418	0,0434	0,0418	0,0424	0,0417	0,0425
	0,75	0,0452	0,0495	0,0432	0,0467	0,0426	0,0442	0,0419	0,0433	0,0421	0,0426	0,0416	0,0426
	1,00	0,0455	0,0498	0,0438	0,0461	0,0428	0,0446	0,0426	0,0435	0,0422	0,0424	0,0421	0,0425
	1,25	0,0463	0,0494	0,0444	0,0471	0,0435	0,0447	0,0425	0,0440	0,0423	0,0430	0,0423	0,0423
	1,50	0,0465	0,0512	0,0450	0,0484	0,0438	0,0452	0,0438	0,0444	0,0429	0,0438	0,0423	0,0428
	1,75	0,0474	0,0527	0,0454	0,0483	0,0443	0,0463	0,0439	0,0446	0,0435	0,0438	0,0427	0,0430
	2,00	0,0490	0,0540	0,0463	0,0494	0,0452	0,0466	0,0440	0,0456	0,0439	0,0446	0,0433	0,0439
Log-normalny	0,25	0,0443	0,0496	0,0429	0,0461	0,0421	0,0448	0,0418	0,0429	0,0415	0,0428	0,0414	0,0423
	0,50	0,0451	0,0488	0,0433	0,0464	0,0428	0,0439	0,0423	0,0434	0,0416	0,0427	0,0414	0,0421
	0,75	0,0449	0,0497	0,0433	0,0461	0,0428	0,0439	0,0426	0,0439	0,0422	0,0430	0,0418	0,0425
	1,00	0,0454	0,0503	0,0441	0,0467	0,0432	0,0446	0,0423	0,0438	0,0424	0,0428	0,0418	0,0423
	1,25	0,0462	0,0503	0,0442	0,0479	0,0435	0,0446	0,0427	0,0442	0,0426	0,0429	0,0422	0,0425
	1,50	0,0470	0,0514	0,0451	0,0475	0,0439	0,0455	0,0436	0,0446	0,0426	0,0434	0,0429	0,0425
	1,75	0,0471	0,0506	0,0455	0,0483	0,0443	0,0461	0,0439	0,0440	0,0435	0,0430	0,0431	0,0430
	2,00	0,0483	0,0523	0,0459	0,0489	0,0447	0,0456	0,0446	0,0447	0,0438	0,0435	0,0441	0,0432
Weibulla	0,25	0,0448	0,0491	0,0429	0,0465	0,0420	0,0438	0,0420	0,0430	0,0412	0,0427	0,0412	0,0419
	0,50	0,0440	0,0490	0,0431	0,0456	0,0415	0,0443	0,0417	0,0434	0,0415	0,0426	0,0412	0,0420
	0,75	0,0449	0,0491	0,0432	0,0464	0,0422	0,0441	0,0417	0,0435	0,0417	0,0425	0,0413	0,0423
	1,00	0,0449	0,0498	0,0435	0,0462	0,0428	0,0448	0,0427	0,0436	0,0421	0,0424	0,0418	0,0427
	1,25	0,0459	0,0506	0,0441	0,0473	0,0429	0,0452	0,0425	0,0439	0,0425	0,0432	0,0421	0,0431
	1,50	0,0473	0,0524	0,0446	0,0482	0,0443							

C. Tabele z wartościami RMSE - porównanie selektywności klasycznych i odpornościowych estymatorów

C.1. Położenie - \bar{x} i \bar{x}_R

Tabela C.1. Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów położenia i 5% udziału rozkładu zaburzającego wersja A (opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n											
		3		4		5		6		7		8	
		\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R
Normalny	0,00	0,99210	0,97827	1,00409	0,94028	0,99563	0,88694	0,99517	0,85363	0,98535	0,83026	0,99300	0,83168
Gamma	0,25	0,00017	0,00016	0,00017	0,00014	0,00016	0,00013	0,00016	0,00012	0,00016	0,00011	0,00016	0,00010
	0,50	0,00024	0,00021	0,00022	0,00019	0,00020	0,00015	0,00020	0,00014	0,00019	0,00012	0,00018	0,00011
	0,75	0,00034	0,00030	0,00029	0,00025	0,00026	0,00019	0,00025	0,00017	0,00023	0,00014	0,00022	0,00013
	1,00	0,00046	0,00042	0,00041	0,00035	0,00034	0,00025	0,00033	0,00021	0,00029	0,00017	0,00028	0,00015
	1,25	0,00064	0,00058	0,00056	0,00047	0,00045	0,00034	0,00042	0,00028	0,00037	0,00022	0,00036	0,00020
	1,50	0,00084	0,00080	0,00075	0,00062	0,00058	0,00045	0,00055	0,00037	0,00046	0,00030	0,00044	0,00027
	1,75	0,00110	0,00100	0,00095	0,00081	0,00076	0,00056	0,00069	0,00050	0,00060	0,00040	0,00054	0,00038
	2,00	0,00139	0,00128	0,00120	0,00104	0,00097	0,00073	0,00085	0,00066	0,00072	0,00055	0,00067	0,00054
Log-normalny	0,25	0,99996	0,91822	1,00013	0,84098	0,99995	0,75092	0,99995	0,67330	0,99998	0,60229	1,00002	0,54193
	0,50	0,99997	0,91845	1,00000	0,84121	0,99998	0,75108	1,00012	0,67348	1,00010	0,60225	0,99991	0,54153
	0,75	0,99962	0,91804	1,00000	0,84170	1,00006	0,75149	1,00027	0,67273	1,00002	0,60221	0,99997	0,54184
	1,00	0,99978	0,91852	0,99988	0,84154	1,00014	0,75183	0,99998	0,67322	1,00051	0,60204	0,99955	0,54186
	1,25	1,00012	0,91863	1,00044	0,84144	1,00026	0,75088	1,00002	0,67402	0,99994	0,60212	1,00020	0,54288
	1,50	0,99951	0,91853	0,99931	0,84215	0,99963	0,75214	1,00037	0,67468	1,00002	0,60192	0,99978	0,54261
	1,75	1,00113	0,91920	1,00057	0,84160	1,00003	0,75245	1,00002	0,67338	1,00222	0,60263	1,00007	0,54277
	2,00	0,99935	0,91950	0,99948	0,84204	1,00100	0,75165	1,00010	0,67396	0,99943	0,60355	0,99929	0,54292
Weibulla	0,25	0,00548	0,00515	0,00538	0,00451	0,00520	0,00382	0,00513	0,00332	0,00503	0,00290	0,00499	0,00251
	0,50	0,00766	0,00702	0,00737	0,00598	0,00714	0,00508	0,00690	0,00431	0,00683	0,00374	0,00668	0,00322
	0,75	0,01152	0,01021	0,01102	0,00886	0,01027	0,00739	0,00996	0,00606	0,00986	0,00507	0,00952	0,00441
	1,00	0,01827	0,01649	0,01713	0,01361	0,01607	0,01098	0,01525	0,00916	0,01475	0,00758	0,01445	0,00632
	1,25	0,02980	0,02620	0,02758	0,02200	0,02482	0,01717	0,02437	0,01434	0,02301	0,01174	0,02283	0,00991
	1,50	0,04521	0,04472	0,04520	0,03607	0,04423	0,02800	0,03920	0,01837	0,03784	0,01887	0,03537	0,01514
	1,75	0,08815	0,07821	0,07633	0,06194	0,07087	0,04790	0,06685	0,03979	0,06337	0,02949	0,05788	0,02543
	2,00	0,15839	0,13831	0,13127	0,11249	0,12648	0,08034	0,10685	0,06745	0,10093	0,05188	0,09993	0,04230

Tabela C.2. Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów położenia i 10% udziału rozkładu zaburzającego wersja A (opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n											
		3		4		5		6		7		8	
		\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R
Normalny	0,00	1,00858	0,96273	1,00496	0,94005	0,99713	0,91090	0,99705	0,88782	1,00174	0,87147	1,00355	0,85638
Gamma	0,25	0,00016	0,00015	0,00016	0,00014	0,00015	0,00013	0,00015	0,00012	0,00015	0,00011	0,00015	0,00010
	0,50	0,00018	0,00017	0,00017	0,00015	0,00017	0,00013	0,00016	0,00012	0,00016	0,00012	0,00016	0,00011
	0,75	0,00021	0,00019	0,00020	0,00016	0,00019	0,00014	0,00018	0,00013	0,00018	0,00011	0,00017	0,00010
	1,00	0,00026	0,00024	0,00023	0,00018	0,00022	0,00015	0,00020	0,00013	0,00019	0,00011	0,00019	0,00010
	1,25	0,00032	0,00029	0,00032	0,00025	0,00032	0,00020	0,00032	0,00016	0,00032	0,00015	0,00032	0,00016
	1,50	0,00039	0,00036	0,00033	0,00025	0,00039	0,00029	0,00027	0,00015	0,00025	0,00012	0,00024	0,00010
	1,75	0,00048	0,00043	0,00041	0,00031	0,00034	0,00022	0,00031	0,00017	0,00029	0,00014	0,00028	0,00011
	2,00	0,00057	0,00051	0,00047	0,00035	0,00041	0,00026	0,00037	0,00020	0,00034	0,00016	0,00031	0,00014
Log-normalny	0,25	0,99998	0,93857	1,00004	0,86531	0,99993	0,79513	1,00013	0,73139	0,99995	0,68041	1,00001	0,63654
	0,50	1,00007	0,93894	0,99985	0,86534	1,00003	0,79513	1,00000	0,73221	0,99993	0,67960	1,00005	0,63684
	0,75	0,99987	0,93843	0,99996	0,86539	1,00003	0,79510	0,99998	0,73292	0,99998	0,67989	0,99998	0,63672
	1,00	1,00037	0,93827	0,99979	0,86582	1,00025	0,79572	1,00013	0,73304	0,99992	0,68036	1,00010	0,63761
	1,25	0,99992	0,93854	1,00043	0,86553	1,00008	0,79592	1,00021	0,73359	1,00003	0,68037	0,99994	0,63808
	1,50	0,99964	0,93898	1,00007	0,86616	1,00026	0,79597	1,00012	0,73346	1,00025	0,68121	1,00034	0,63827
	1,75	1,00029	0,93875	0,99961	0,86676	0,99991	0,79583	1,00005	0,73430	1,00000	0,68167	0,99984	0,63876
	2,00	1,00005	0,93900	0,99970	0,86664	1,00003	0,79585	1,00000	0,73448	1,00002	0,68204	0,99974	0,63998
Weibulla	0,25	0,00511	0,00472	0,00496	0,00420	0,00481	0,00373	0,00482	0,00329	0,00478	0,00293	0,00477	0,00263
	0,50	0,00685	0,00641	0,00667	0,00558	0,00648	0,00488	0,00647	0,00429	0,00639	0,00375	0,00633	0,00332
	0,75	0,00990	0,00920	0,00954	0,00758	0,00932	0,00665	0,00904	0,00584	0,00894	0,00509	0,00890	0,00437
	1,00	0,01539	0,01391	0,01439	0,01190	0,01381	0,00993	0,01375	0,00858	0,01325	0,00739	0,01321	0,00637
	1,25	0,02462	0,02253	0,02283	0,01845	0,02155	0,01543	0,02125	0,01290	0,02083	0,01104	0,02011	0,00959
	1,50	0,03935	0,03605	0,03721	0,02956	0,03407	0,02479	0,03296	0,02056	0,03238	0,01744	0,03185	0,01468
	1,75	0,06531	0,05944	0,06000	0,04773	0,05600	0,03908	0,05200	0,03316	0,05166	0,02712	0,05076	0,02822
	2,00	0,11296	0,10271	0,10001	0,08335	0,09216	0,06479	0,08533	0,05152	0,08446	0,04360	0,08115	0,03655

Tabela C.3. Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów położenia i 20% udziału rozkładu zaburzającego wersja A (opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n											
		3		4		5		6		7		8	
		\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R
Normalny	0,00	0,99967	0,98544	1,00278	0,95772	1,00061	0,94280	0,99632	0,93665	0,99794	0,92451	0,99992	0,92506
Gamma	0,25	0,00015	0,00015	0,00015	0,00014	0,00015	0,00013	0,00015	0,00013	0,00015	0,00012	0,00015	0,00012
	0,50	0,00016	0,00015	0,00016	0,00014	0,00015	0,00013	0,00015	0,00012	0,00015	0,00012	0,00015	0,00011
	0,75	0,00017	0,00016	0,00017	0,00014	0,00016	0,00013	0,00016	0,00012	0,00016	0,00011	0,00016	0,00011

Kontynuacja na kolejnej stronie

Rozkład	κ_3	n											
		3		4		5		6		7		8	
		\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R
	1.00	0.00018	0.00017	0.00018	0.00015	0.00017	0.00013	0.00017	0.00012	0.00017	0.00011	0.00016	0.00010
	1.25	0.00021	0.00019	0.00020	0.00016	0.00018	0.00013	0.00018	0.00011	0.00018	0.00010	0.00017	0.00009
	1.50	0.00023	0.00021	0.00021	0.00016	0.00020	0.00013	0.00019	0.00011	0.00018	0.00009	0.00018	0.00008
	1.75	0.00026	0.00023	0.00023	0.00017	0.00022	0.00013	0.00021	0.00010	0.00020	0.00009	0.00019	0.00007
	2.00	0.00029	0.00025	0.00026	0.00019	0.00024	0.00015	0.00022	0.00011	0.00021	0.00009	0.00021	0.00007
Log-normalny	0.25	0.99998	0.95905	1.00003	0.90894	1.00001	0.86511	0.99999	0.83121	0.99999	0.80530	0.99999	0.78591
	0.50	1.00006	0.95872	0.99995	0.90937	0.99998	0.86564	1.00001	0.83132	1.00000	0.80503	0.99999	0.78653
	0.75	1.00000	0.95881	1.00008	0.90939	1.00063	0.86531	0.99995	0.83165	1.00003	0.80542	1.00004	0.78657
	1.00	1.00010	0.95888	0.99999	0.90981	1.00015	0.86599	1.00004	0.83159	1.00012	0.80613	0.99991	0.78750
	1.25	1.00013	0.95915	0.99999	0.90935	0.99996	0.86634	1.00007	0.83178	0.99996	0.80633	0.99992	0.78715
	1.50	1.00010	0.95905	0.99996	0.90989	0.99993	0.86649	1.00005	0.83201	1.00010	0.80668	0.99992	0.78802
	1.75	1.00005	0.95925	1.00010	0.90962	1.00010	0.86661	1.00008	0.83225	0.99999	0.80713	0.99994	0.78854
	2.00	0.99995	0.95897	0.99989	0.91015	1.00006	0.86670	1.00009	0.83318	0.99989	0.80765	0.99986	0.78890
Weibulla	0.25	0.07486	0.06457	0.06477	0.05241	0.06476	0.05375	0.06459	0.04344	0.06472	0.05326	0.06470	0.05298
	0.50	0.00646	0.00599	0.00634	0.00537	0.00625	0.00484	0.00622	0.00439	0.00619	0.00404	0.00612	0.00373
	0.75	0.00902	0.00848	0.00881	0.00751	0.00881	0.00667	0.00868	0.00597	0.00868	0.00544	0.00856	0.00492
	1.00	0.01359	0.01250	0.01323	0.01092	0.01293	0.00970	0.01273	0.00856	0.01275	0.00771	0.01254	0.00695
	1.25	0.02098	0.01907	0.01990	0.01676	0.01969	0.01461	0.01936	0.01279	0.01904	0.01127	0.01895	0.01005
	1.50	0.03339	0.03018	0.03180	0.02655	0.03083	0.02218	0.03031	0.01955	0.02973	0.01691	0.02947	0.01504
	1.75	0.05239	0.04994	0.05026	0.04107	0.04849	0.03553	0.04720	0.03003	0.04668	0.02629	0.04603	0.02306
	2.00	0.08481	0.07974	0.08149	0.06662	0.07666	0.05662	0.07383	0.04815	0.07323	0.04116	0.07159	0.03565

Tabela C.4. Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów położenia i 5% udziału rozkładu zaburzonego wersja B (opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n											
		3		4		5		6		7		8	
		\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R
Normalny	0.00	0.03640	0.03501	0.02615	0.02484	0.02228	0.01960	0.01853	0.01577	0.01630	0.01380	0.01410	0.01171
Gamma	0.25	0.00017	0.00015	0.00016	0.00014	0.00016	0.00013	0.00016	0.00012	0.00016	0.00011	0.00016	0.00010
	0.50	0.00021	0.00020	0.00020	0.00018	0.00019	0.00016	0.00018	0.00015	0.00018	0.00014	0.00018	0.00013
	0.75	0.00029	0.00028	0.00026	0.00024	0.00023	0.00019	0.00023	0.00018	0.00021	0.00016	0.00021	0.00015
	1.00	0.00039	0.00037	0.00036	0.00031	0.00030	0.00024	0.00029	0.00021	0.00026	0.00018	0.00025	0.00016
	1.25	0.00052	0.00049	0.00047	0.00040	0.00038	0.00029	0.00036	0.00025	0.00032	0.00020	0.00031	0.00019
	1.50	0.00068	0.00064	0.00060	0.00051	0.00049	0.00038	0.00046	0.00033	0.00040	0.00025	0.00038	0.00023
	1.75	0.00090	0.00081	0.00076	0.00069	0.00063	0.00047	0.00057	0.00042	0.00049	0.00032	0.00045	0.00031
	2.00	0.00109	0.00101	0.00098	0.00083	0.00075	0.00058	0.00068	0.00055	0.00060	0.00043	0.00056	0.00042
Log-normalny	0.25	0.07111	0.06600	0.06250	0.05256	0.06761	0.05103	0.06250	0.04202	0.06612	0.03996	0.06250	0.03391
	0.50	0.07110	0.06596	0.06250	0.05253	0.06760	0.05110	0.06250	0.04201	0.06612	0.03991	0.06250	0.03383
	0.75	0.07110	0.06594	0.06250	0.05254	0.06761	0.05095	0.06251	0.04198	0.06613	0.03982	0.06249	0.03375
	1.00	0.07110	0.06593	0.06247	0.05249	0.06759	0.05093	0.06250	0.04192	0.06613	0.03978	0.06251	0.03377
	1.25	0.07114	0.06593	0.06252	0.05243	0.06763	0.05087	0.06251	0.04186	0.06615	0.03976	0.06250	0.03367
	1.50	0.07107	0.06590	0.06252	0.05244	0.06763	0.05078	0.06251	0.04186	0.06612	0.03959	0.06250	0.03350
	1.75	0.07115	0.06584	0.06250	0.05232	0.06765	0.05073	0.06251	0.04165	0.06615	0.03956	0.06248	0.03354
	2.00	0.07115	0.06583	0.06254	0.05223	0.06765	0.05066	0.06252	0.04166	0.06615	0.03948	0.06251	0.03336
Weibulla	0.25	0.07110	0.06596	0.06249	0.05255	0.06761	0.05107	0.06253	0.04203	0.06614	0.03993	0.06250	0.03380
	0.50	0.07113	0.06598	0.06253	0.05250	0.06757	0.05109	0.06250	0.04196	0.06612	0.03985	0.06251	0.03378
	0.75	0.07116	0.06594	0.06248	0.05244	0.06759	0.05093	0.06252	0.04191	0.06614	0.03979	0.06253	0.03369
	1.00	0.07117	0.06593	0.06253	0.05249	0.06760	0.05093	0.06251	0.04187	0.06614	0.03979	0.06251	0.03367
	1.25	0.07118	0.06587	0.06253	0.05229	0.06760	0.05075	0.06252	0.04173	0.06609	0.03956	0.06253	0.03346
	1.50	0.07115	0.06582	0.06254	0.05224	0.06763	0.05065	0.06253	0.04159	0.06614	0.03944	0.06249	0.03338
	1.75	0.07119	0.06582	0.06255	0.05214	0.06763	0.05059	0.06254	0.04154	0.06617	0.03935	0.06250	0.03328
	2.00	0.07115	0.06578	0.06251	0.05208	0.06764	0.05050	0.06257	0.04136	0.06615	0.03921	0.06250	0.03309

Tabela C.5. Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów położenia i 10% udziału rozkładu zaburzonego wersja B (opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n											
		3		4		5		6		7		8	
		\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R
Normalny	0.00	0.05512	0.05307	0.04421	0.04018	0.03702	0.03222	0.03294	0.02616	0.02932	0.02284	0.02702	0.02011
Gamma	0.25	0.00015	0.00015	0.00015	0.00014	0.00015	0.00013	0.00015	0.00012	0.00015	0.00012	0.00015	0.00013
	0.50	0.00016	0.00016	0.00016	0.00015	0.00016	0.00014	0.00016	0.00014	0.00016	0.00013	0.00016	0.00013
	0.75	0.00019	0.00018	0.00018	0.00016	0.00018	0.00015	0.00017	0.00014	0.00017	0.00014	0.00017	0.00013
	1.00	0.00022	0.00021	0.00020	0.00018	0.00019	0.00016	0.00019	0.00014	0.00018	0.00014	0.00017	0.00013
	1.25	0.00026	0.00023	0.00022	0.00020	0.00022	0.00016	0.00020	0.00014	0.00019	0.00013	0.00019	0.00012
	1.50	0.00029	0.00028	0.00026	0.00021	0.00025	0.00017	0.00023	0.00015	0.00021	0.00013	0.00020	0.00012
	1.75	0.00035	0.00032	0.00030	0.00024	0.00027	0.00019	0.00026	0.00015	0.00024	0.00013	0.00023	0.00011
	2.00	0.00042	0.00037	0.00035	0.00028	0.00031	0.00021	0.00028	0.00016	0.00027	0.00014	0.00025	0.00012
Log-normalny	0.25	0.25001	0.23467	0.25000	0.21621	0.25000	0.19878	0.25000	0.18308	0.25000	0.17009	0.25000	0.15919
	0.50	0.25001	0.23467	0.25000	0.21621	0.25000	0.19878	0.25000	0.18308	0.25000	0.17009	0.25000	0.15919
	0.75	0.25004	0.23456	0.25004	0.21618	0.25000	0.19868	0.24999	0.18292	0.25001	0.17006	0.25000	0.15929
	1.00	0.24997	0.23464	0.25003	0.21636	0.25005	0.19866	0.24998	0.18297	0.25003	0.17003	0.24998	0.15911
	1.25	0.24998	0.23453	0.24998	0.21631	0.25001	0.19836	0.25001	0.18278	0.25001	0.16978	0.24997	0.15921
	1.50	0.24995	0.23456	0.25000	0.21622	0.24991	0.19845	0.25006	0.18294	0.24998	0.16976	0.24999	0.15901
	1.75	0.25009	0.23463	0.25012	0.21611	0.25001	0.19839	0.25000	0.18287	0.24996	0.16977	0.25004	0.15898
	2.00	0.25002	0.23440										

Rozkład	κ_3	n															
		3		4		5		6		7		8					
		\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R		
Weibulla	2.00	1.00011	0.95961	0.99996	0.90993	1.00011	0.86698	0.99995	0.83319	0.99989	0.80746	0.99991	0.78880	0.99991	0.78880		
	0.25	1.00006	0.95886	1.00004	0.90915	0.99996	0.86565	1.00010	0.83155	1.00005	0.80566	1.00001	0.78620	1.00001	0.78620		
	0.50	1.00003	0.95890	0.99999	0.90938	0.99997	0.86552	1.00002	0.83132	1.00002	0.80539	1.00005	0.78644	1.00005	0.78644		
	0.75	1.00024	0.95889	0.99996	0.90980	0.99992	0.86599	0.99990	0.83166	1.00009	0.80645	1.00009	0.78702	1.00009	0.78702		
	1.00	0.99996	0.95873	1.00008	0.90942	1.00004	0.86691	0.99981	0.83221	1.00015	0.80614	1.00001	0.78773	1.00001	0.78773		
	1.25	1.00021	0.95902	1.00000	0.90976	0.99991	0.86703	1.00013	0.83264	0.99983	0.80675	0.99996	0.78837	0.99996	0.78837		
	1.50	1.00000	0.95920	0.99996	0.91002	1.00004	0.86709	0.99986	0.83310	0.99989	0.80741	0.99987	0.78890	0.99987	0.78890		
	1.75	0.99960	0.95923	1.00038	0.91047	1.00008	0.86707	1.00047	0.83375	1.00020	0.80786	1.00020	0.78976	1.00020	0.78976		
	2.00	0.99950	0.95900	0.99973	0.91077	0.99985	0.86797	0.99998	0.83418	1.00020	0.80886	0.99990	0.79044	0.99990	0.79044		

Tabela C.7. Wartości $RMSE_2$ dla estymatorów położenia i 5% udziału wartości odstającej równej 50 (opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n															
		3		4		5		6		7		8					
		\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R		
Normalny	0.00	0.99936	0.91891	1.00060	0.84203	0.99835	0.75187	0.99993	0.67427	0.99958	0.60310	1.00015	0.54324	1.00015	0.54324		
Gamma	0.25	0.99990	0.91823	1.00007	0.84112	1.00014	0.75132	0.99997	0.67355	1.00000	0.60226	1.00005	0.54240	1.00005	0.54240		
	0.50	0.99956	0.91786	0.99985	0.84099	1.00022	0.75102	0.99988	0.67294	0.99992	0.60162	1.00010	0.54190	1.00010	0.54190		
	0.75	0.99991	0.91857	1.00013	0.84142	0.99975	0.75160	0.99952	0.67294	0.99973	0.60247	1.00043	0.54139	1.00043	0.54139		
	1.00	0.99934	0.91715	1.00013	0.84194	0.99977	0.75133	0.99975	0.67332	0.99983	0.60146	1.00032	0.54335	1.00032	0.54335		
	1.25	0.99955	0.91838	0.99977	0.84239	0.99992	0.75169	1.00060	0.67510	1.00066	0.60310	1.00005	0.54288	1.00005	0.54288		
	1.50	0.99931	0.91812	1.00002	0.84225	1.00009	0.75172	1.00045	0.67411	1.00024	0.60223	1.00010	0.54241	1.00010	0.54241		
	1.75	1.00035	0.91888	1.00103	0.84324	0.99989	0.75370	1.00017	0.67468	0.99937	0.60278	1.00000	0.54190	1.00000	0.54190		
	2.00	0.99924	0.91862	1.00015	0.84085	0.99988	0.75305	0.99957	0.67479	0.99808	0.60395	0.99957	0.54415	0.99957	0.54415		
Log-normalny	0.25	0.99997	0.91825	1.00008	0.84099	1.00006	0.75109	0.99983	0.67303	1.00002	0.60225	0.99998	0.54159	0.99998	0.54159		
	0.50	1.00004	0.91825	1.00012	0.84113	1.00002	0.75130	1.00005	0.67397	1.00013	0.60165	1.00013	0.54194	1.00013	0.54194		
	0.75	0.99999	0.91788	1.00000	0.84200	0.99997	0.75207	1.00003	0.67323	1.00014	0.60153	0.99992	0.54219	0.99992	0.54219		
	1.00	1.00028	0.91769	1.00013	0.84088	1.00033	0.75116	1.00030	0.67340	0.99973	0.60207	0.99992	0.54230	0.99992	0.54230		
	1.25	0.99922	0.91787	1.00002	0.84151	1.00009	0.75183	1.00002	0.67407	1.00002	0.60222	1.00002	0.54271	1.00002	0.54271		
	1.50	0.99922	0.91838	1.00019	0.84185	0.99941	0.75239	1.00022	0.67407	0.99983	0.60273	1.00062	0.54263	1.00062	0.54263		
	1.75	1.00019	0.91922	1.00042	0.84255	1.00026	0.75178	0.99960	0.67400	0.99928	0.60311	1.00002	0.54270	1.00002	0.54270		
	2.00	1.00138	0.91722	0.99968	0.84244	1.00045	0.75196	0.99973	0.67457	1.00037	0.60284	0.99966	0.54347	0.99966	0.54347		
Weibulla	0.25	0.99960	0.91778	1.00020	0.84104	0.99994	0.75108	0.99970	0.67282	1.00013	0.60075	0.99957	0.54148	0.99957	0.54148		
	0.50	1.00037	0.91812	0.99982	0.84115	0.99974	0.75167	1.00000	0.67320	0.99976	0.60268	0.99945	0.54234	0.99945	0.54234		
	0.75	1.00013	0.91826	0.99927	0.84187	0.99989	0.75192	1.00047	0.67350	1.00011	0.60157	1.00022	0.54252	1.00022	0.54252		
	1.00	0.99935	0.91877	1.00015	0.84220	1.00065	0.75200	0.99987	0.67376	1.00014	0.60286	1.00017	0.54278	1.00017	0.54278		
	1.25	0.99997	0.91792	0.99955	0.84198	1.00002	0.75221	1.00023	0.67368	0.99965	0.60291	0.99975	0.54189	0.99975	0.54189		
	1.50	0.99980	0.91878	1.00013	0.84296	1.00005	0.75306	1.00072	0.67546	1.00003	0.60216	1.00002	0.54250	1.00002	0.54250		
	1.75	1.00116	0.91816	0.99967	0.84302	0.99865	0.75264	1.00020	0.67319	1.00002	0.60274	0.99968	0.54292	0.99968	0.54292		
	2.00	1.00016	0.92015	1.00088	0.84289	1.00009	0.75238	1.00002	0.67513	1.00020	0.60310	0.99983	0.54566	0.99983	0.54566		

Tabela C.8. Wartości $RMSE_2$ dla estymatorów położenia i 10% udziału wartości odstającej równej 50 (opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n															
		3		4		5		6		7		8					
		\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R	\bar{x}	\bar{x}_R		
Normalny	0.00	0.99975	0.93883	1.00057	0.86568	1.00003	0.79535	1.00038	0.73300	1.00004	0.68018	1.00010	0.63685	1.00010	0.63685		
Gamma	0.25	0.99997	0.93815	0.99998	0.86521	1.00005	0.79480	0.99998	0.73282	1.00001	0.68010	1.00008	0.63672	1.00008	0.63672		
	0.50	0.99993	0.93862	0.99991	0.86560	1.00008	0.79524	1.00007	0.73242	0.99981	0.67971	1.00009	0.63737	1.00009	0.63737		
	0.75	0.99997	0.93877	0.99991	0.86584	0.99966	0.79542	0.99978	0.73306	0.99994	0.68041	1.00010	0.63751	1.00010	0.63751		
	1.00	0.99979	0.93866	0.99995	0.86555	0.99990	0.79521	1.00025	0.73375	1.00002	0.68086	0.99983	0.63832	0.99983	0.63832		
	1.25	1.00054	0.93823	0.99948	0.86551	1.00012	0.79569	1.00000	0.73373	1.00002	0.68068	0.99985	0.63867	0.99985	0.63867		
	1.50	1.00016	0.93839	1.00028	0.86642	0.99970	0.79646	1.00019	0.73370	1.00009	0.68179	0.99985	0.63938	0.99985	0.63938		
	1.75	1.00010	0.93939	1.00030	0.86671	0.99988	0.79694	1.00008	0.73572	1.00026	0.68300	0.99983	0.63996	0.99983	0.63996		
	2.00	0.99938	0.93983	0.99965	0.86674	1.00024	0.79793	1.00025	0.73602	0.99993	0.68409	0.99993	0.64118	0.99993	0.64118		
Log-normalny	0.25	1.00004	0.93827	0.99999	0.86524	1.00006	0.79489	0.99997	0.73211	0.99996	0.68019	1.00008	0.63681	1.00008	0.63681		
	0.50	0.99992	0.93831	0.99979	0.86551	0.99998	0.79530	1.00006	0.73273	0.99994	0.67978	1.00009	0.63679	1.00009	0.63679		
	0.75	0.99984	0.93862	1.00003	0.86548	0.99995	0.79470	0.99991	0.73263	1.00000	0.68027	0.99994	0.63721	0.99994	0.63721		
	1.00	0.99984	0.93844	1.00013	0.86605	1.00005	0.79519	1.00010	0.73295	1.00005	0.67998	0.99995	0.63755	0.99995	0.63755		
	1.25	1.00018	0.93885	1.00013	0.86579	1.00005	0.79567	1.00028	0.73347	1.00006	0.68097	0.99996	0.63826	0.99996	0.63826		
	1.50	1.00011	0.93887	0.99973	0.86550	1.00015	0.79593	1.00008	0.73349	1.00003	0.68108	1.00010	0.63874	1.00010	0.63874		
	1.75	1.00009	0.93922	0.99975	0.86585	1.00005	0.79590	1.00003	0.73306	1.00002	0.68218	1.00009	0.63860	1.00009	0.63860		
	2.00	1.00024	0.93950	0.99968	0.86632	0.99995	0.79584	0.99956	0.73379	0.99994	0.68212	1.00011	0.63937	1.00011	0.63937		
Weibulla	0.25	1.00013	0.93863	0.99987	0.86547	0.99980	0.79495	1.00000	0.73337	0.99983	0.67999	1.00000	0.63721	1.00000	0.63721		
	0.50	1.00007	0.93844	1.00019	0.86575	1.00010	0.79518	0.99992	0.73283	0.99998	0.67993	0.99988	0.63769	0.99988	0.63769		
	0.75	0.99952	0.93894	1.00022	0.86558	0.99970	0.79471	0.99975	0.73274	0.99980	0.68157	1.00010					

C.2. Zmienność - R i R_R Tabela C.10. Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów zmienności i 5% udziału rozkładu zaburzającego wersja A (opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n															
		3		4		5		6		7		8					
		σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R				
Normalny Gamma	0.00	6,27775	3,38795	8,43683	3,36604	11,7726	4,12951	14,2851	4,24632	18,0801	4,85539	20,3790	4,81676				
	0.25	648,492	3,39496	844,802	28,6799	1133,37	2,26557	1352,63	5,20102	1669,87	1,51249	1892,62	1,66192				
	0.50	1011,18	4,58865	1331,52	55,9735	1810,93	3,59331	2101,17	9,29902	2624,82	2,64490	2973,86	3,32508				
	0.75	1200,92	5,26780	1498,55	62,8857	2027,68	4,25530	2369,99	12,0814	2957,71	3,16422	3355,28	4,03933				
	1.00	1195,83	5,76111	1619,25	71,4167	2137,72	4,83201	2597,79	13,8571	3059,78	3,55974	3509,74	4,87042				
	1.25	1230,42	6,12110	1656,35	79,8696	2260,59	5,61776	2609,74	16,1424	3146,03	4,43000	3636,43	6,03732				
	1.50	1223,95	6,53433	1639,33	87,6376	2247,62	6,32583	2617,07	18,0923	3184,73	5,21777	3588,24	6,74286				
	1.75	1192,21	7,05044	1603,31	94,0788	2152,17	7,20794	2521,08	21,0079	3127,72	6,10898	3515,45	8,45441				
2.00	1210,98	7,20909	1543,01	97,8722	2104,00	7,88180	2539,18	23,3796	3096,07	6,69807	3456,18	9,41077					
Log-normalny	0.25	45,7933	0,18724	65,9006	0,75345	100,532	0,02789	125,612	0,08116	165,663	0,00314	194,162	0,01075				
	0.50	36,8624	0,19818	51,5932	0,69969	75,8462	0,02770	93,3026	0,07592	121,097	0,00423	140,864	0,00984				
	0.75	30,7587	0,23375	41,8620	0,63587	60,7799	0,03634	73,4114	0,07235	94,2003	0,00694	108,579	0,00997				
	1.00	26,5255	0,36104	35,3318	0,65811	50,3227	0,07129	60,7001	0,07989	76,6730	0,02532	87,817	0,01805				
	1.25	23,4520	0,85274	31,0043	0,75367	43,4166	0,25428	51,5141	0,14900	64,6666	0,11647	73,1731	0,06412				
	1.50	20,0208	2,22826	25,7521	1,21692	35,7108	0,87404	41,9847	0,47387	51,9506	0,49242	59,2956	0,30757				
	1.75	12,1384	3,48440	15,8898	2,34584	21,7730	2,46829	25,1866	1,59056	32,0926	1,80187	34,7269	1,33402				
	2.00	3,78135	2,38149	4,51606	2,70803	5,58404	3,25242	6,01944	3,17326	6,86970	3,65392	7,05817	3,60048				
Weibulla	0.25	68,9378	7,16699	104,312	1,15242	173,543	5,30984	225,354	0,16888	312,162	3,92677	375,231	0,05108				
	0.50	68,2925	7,24898	105,078	1,15291	172,482	5,75803	223,057	0,16727	308,336	4,29306	374,567	0,05212				
	0.75	68,1023	7,33036	104,203	1,16489	171,505	6,01254	221,820	0,17018	308,277	4,35191	367,884	0,05194				
	1.00	67,8334	7,58605	103,217	1,15682	170,147	6,20778	221,990	0,16017	305,563	4,70717	364,691	0,05277				
	1.25	67,5365	8,19954	102,369	1,17181	168,003	6,67828	217,432	0,17062	304,279	4,87748	362,523	0,05040				
	1.50	67,0487	9,89658	101,718	1,17389	167,077	7,41492	214,932	0,17062	304,679	5,46794	361,691	0,04990				
	1.75	65,9318	8,24942	101,568	1,12875	163,871	7,09931	212,573	0,17569	294,858	5,47858	353,776	0,05067				
	2.00	66,1256	8,61775	100,458	1,18432	164,706	7,94362	212,407	0,16436	292,782	5,74709	349,919	0,05377				

Tabela C.11. Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów zmienności i 10% udziału rozkładu zaburzającego wersja A (opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n															
		3		4		5		6		7		8					
		σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R				
Normalny Gamma	0.00	10,8293	6,55356	13,4708	7,42619	15,3508	7,89493	17,3874	8,33433	18,5238	8,95160	19,5391	9,00912				
	0.25	1366,85	5,99805	1654,57	166,517	1909,92	6,20274	2160,96	33,6947	2356,59	4,91567	2570,21	10,7612				
	0.50	1662,09	6,24020	1994,21	205,871	2306,56	6,63072	2629,69	42,2365	2947,03	5,35426	3196,02	13,1236				
	0.75	1824,14	7,08291	2223,47	243,395	2532,37	7,76955	2831,47	50,1112	3189,48	6,50947	3451,74	15,7633				
	1.00	1950,27	7,61240	2323,54	270,343	2705,86	9,26983	3062,99	58,1010	3385,07	7,75829	3641,74	19,5839				
	1.25	1995,88	8,98958	2474,78	326,487	2897,97	11,4791	321,932	71,9078	3668,46	10,37870	3875,87	24,6534				
	1.50	2075,68	10,7120	2610,14	383,332	3154,67	15,0828	3410,44	97,5769	3809,01	13,0389	4033,24	35,4504				
	1.75	2180,91	11,8342	2703,94	416,342	3168,05	18,5798	3590,80	119,845	3883,06	18,2473	4266,64	47,0423				
2.00	2222,22	13,4538	2820,07	501,907	3346,98	22,6502	3708,06	150,944	4040,11	22,2112	4351,94	67,1119					
Log-normalny	0.25	2245,59	1,03649	2504,15	242,345	2788,37	0,38962	3128,10	31,4694	3415,49	0,16074	3685,54	6,78745				
	0.50	583,122	1,06000	649,669	62,5170	734,906	0,39242	817,898	8,27190	892,798	0,17321	965,867	1,69961				
	0.75	276,424	1,34253	310,487	30,5205	351,731	0,47417	389,233	4,25033	427,545	0,18884	461,938	0,31167				
	1.00	179,677	3,95334	140,739	17,2727	217,804	0,84993	241,962	3,29078	266,848	0,37370	287,529	0,83161				
	1.25	124,013	3,95334	140,739	17,2727	158,989	2,15939	176,759	3,79175	194,939	1,06635	210,537	1,41442				
	1.50	92,8405	8,87283	108,085	18,2391	122,229	6,49504	138,939	7,02763	154,962	4,24757	167,372	4,10284				
	1.75	48,8697	12,2048	62,8998	19,7796	78,4889	14,0958	90,6692	14,9770	99,0793	12,3641	113,679	12,6152				
	2.00	11,1324	6,22062	14,8053	10,7135	17,2595	12,1829	19,5804	15,6904	21,2931	16,8128	23,3899	19,2791				
Weibulla	0.25	3733,47	12,0012	4661,05	414,205	5476,53	12,7105	6237,30	84,3947	6997,68	10,0851	7641,00	26,9223				
	0.50	3862,75	12,2364	4622,34	441,826	5598,30	13,4602	6472,49	94,8229	7248,20	11,4026	7864,26	28,2232				
	0.75	3939,66	12,5617	4745,55	453,295	5613,83	14,4800	6505,17	91,0519	7298,45	11,7201	7966,74	30,1605				
	1.00	3922,26	13,0721	4791,44	475,310	5657,53	15,2230	6505,97	99,6070	7273,72	12,8573	7864,86	31,0319				
	1.25	3848,99	14,1250	4840,36	506,955	5695,93	16,8819	6577,25	106,019	7260,98	14,1846	7863,22	35,5151				
	1.50	3764,96	14,3455	4731,87	516,624	5648,06	17,7647	6330,11	116,220	7192,11	15,6747	7879,08	38,1869				
	1.75	3836,02	15,0387	4848,72	551,357	5609,15	18,9787	6429,92	123,842	7208,82	16,2505	7996,91	43,2551				
	2.00	3704,07	16,3918	4841,46	584,983	5609,53	21,2511	6471,46	138,006	7158,61	17,7922	7860,88	46,4886				

Tabela C.12. Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów zmienności i 20% udziału rozkładu zaburzającego wersja A (opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n															
		3		4		5		6		7		8					
		σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R				
Normalny Gamma	0.00	14,1028	8,3645	14,7684	12,9793	14,7112	12,2976	14,5204	14,2705	14,2099	13,9541	13,9397	15,2473				
	0.25	1310,04	4,2147	1382,39	431,041	1418,20	7,44759	1456,19	144,487	1467,35	8,74967	1469,29	62,1918				
	0.50	1620,14	4,4786	1697,04	551,761	1759,83	8,36008	1797,31	185,842	1822,04	9,84854	1819,01	79,1931				
	0.75	1833,02	5,1583	1869,27	642,760	1959,23	9,77796	1991,70	224,055	2016,71	11,8111	2014,95	93,3536				
	1.00	1993,07	6,2236	2076,74	766,092	2136,34	12,6039	2197,50	279,137	2177,12	15,0826	2195,51	121,337				
	1.25	2187,92	7,6727	2338,82	973,761	2391,46	16,2594	2393,97	374,219	2393,43	20,9476	2354,55	168,357				
	1.50	2379,79	9,9539	2524,63	1223,10	2624,14	23,3246	2585,20	516,077	2601,06	31,2712	2519,00	252,663				
	1.75	2637,68	12,8066	2767,71	1532,25	2818,88	33,8365	2833,40	749,995	2784,77	48,6190	2731,96	387,974				
2.00	2882,52	15,895	3079,70	1912,96	3070,67	48,2677	3005,87	1083,65	2998,25	77,4251	2919,23	661,364					
Log-normalny	0.25	1826,25	2,3347	1863,96	555,876	1931,36	1,57204	1979,87	146,587	1993,34	1,00987	2000,85	48,7535				
	0.50	477,096	2,4861	493,635	144,006	503,648	1,71435	516,681	39,7978	524,774	1,00416	532,294	12,8512				
	0.75	226,810	2,8434	236,525	70,5764	242,539	1,91985	250,569	20,1065	254,441	1,14781	257,988	6,97382				
	1.00	141,748	3,7781	148,056	46,8158	153,294	2,70879	158,430	14,2321	161,323	1,75697	164,038	5,52770				
	1.25	106,546	6,2152	111,888													

Tabela C.13. Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów zmienności i 5% udziału rozkładu zaburzającego wersja B (opracowanie własne)

Rozkład	κ ₃	n															
		3		4		5		6		7		8					
		σ	σ _R	σ	σ _R	σ	σ _R	σ	σ _R	σ	σ _R	σ	σ _R	σ	σ _R		
Normalny	0.00	1.38960	0.80452	1.63327	0.51799	1.85603	0.44438	2.09000	0.38104	2.36795	0.33694	2.62048	0.31248				
Gamma	0.25	2015.67	8.47167	3117.29	65.0717	4987.13	7.57146	7008.85	12.1046	9686.41	5.97075	11443.6	4.92888				
	0.50	2895.96	8.72528	4314.18	117.769	7133.58	8.99668	9333.25	26.1068	13127.5	8.16674	15866.4	10.7577				
	1.00	2921.81	8.95385	4342.62	130.319	7083.77	9.44729	9110.97	28.5363	12598.8	8.64804	15170.0	12.2817				
	1.25	2789.71	9.45109	4125.79	129.043	6700.60	9.78796	8623.84	28.9203	11765.8	9.18766	13912.9	12.5383				
	1.50	2715.77	9.51929	3895.93	139.449	6011.49	10.5365	7694.14	31.2295	10381.7	9.24473	12261.1	12.1257				
	1.75	2548.08	9.77019	3629.43	136.372	5540.72	10.1930	7024.08	31.1613	9451.95	9.24912	10863.4	13.8927				
	2.00	2553.18	9.94648	3289.55	139.718	5078.00	10.7322	6327.56	31.4690	8356.22	9.44013	9813.29	12.0997				
Log-normalny	0.25	37.3912	7.52946	54.0385	2.23498	86.3863	4.50439	111.341	1.11104	154.087	2.78513	177.975	0.82245				
	0.50	6.18435	3.64994	7.77899	2.08436	11.00143	2.61146	12.8033	1.86200	16.5010	2.22662	18.0919	1.87250				
	1.00	1.72256	1.72647	1.94797	1.22019	2.26281	1.42218	2.29918	1.28257	2.67270	1.32719	2.91004	1.27265				
	1.25	1.14199	1.01101	1.20268	0.67184	1.33265	0.94523	1.50658	0.78807	1.51393	0.91023	1.58554	0.82979				
	1.50	1.23794	0.58393	1.03001	0.34784	1.10232	0.55313	1.29108	0.50596	1.06005	0.60569	1.19939	0.59638				
	1.75	1.01887	0.33778	1.38474	0.22086	1.62304	0.38028	0.67286	0.32221	0.94747	0.41863	1.18209	0.39315				
	2.00	2.08452	0.20531	0.71756	0.12157	0.27770	0.25584	1.70508	0.22115	0.91239	0.27970	0.97279	0.27139				
Weibulla	0.25	1.49446	0.12337	1.19686	0.06403	0.41222	0.15298	0.74374	0.13852	0.75675	0.18441	0.17476	0.18847				
	0.50	68.6438	7.46677	104.777	1.12594	172.774	5.47051	225.911	0.17063	314.268	3.88241	374.006	0.05024				
	0.75	68.0705	7.17340	105.006	1.12863	172.032	5.69988	223.384	0.17058	307.361	4.17252	373.373	0.05117				
	1.00	68.0870	7.23705	103.988	1.17066	172.528	5.91209	223.739	0.16271	307.318	4.41548	369.815	0.05308				
	1.25	67.4670	7.47099	101.242	1.15071	170.265	6.30167	225.911	0.17009	305.152	4.76488	364.236	0.05488				
	1.50	67.1186	8.12695	103.688	1.15140	168.422	6.85211	219.192	0.17112	303.047	4.94985	359.748	0.05462				
	1.75	66.8632	7.95395	101.522	1.17071	166.693	7.16295	217.866	0.16359	298.993	5.47771	360.473	0.05343				
	2.00	66.1329	8.59865	100.724	1.17719	165.585	7.22680	215.108	0.17327	296.111	5.44860	357.558	0.05195				
	2.00	66.0199	8.63113	100.256	1.12360	163.708	8.02180	212.443	0.16759	291.878	5.81110	348.285	0.04965				

Rozkład	κ ₃	n															
		3		4		5		6		7		8					
		σ	σ _R	σ	σ _R	σ	σ _R	σ	σ _R	σ	σ _R	σ	σ _R	σ	σ _R		
Normalny	0.00	1.55759	0.84056	1.76403	0.48250	2.01482	0.39709	2.30263	0.32234	2.59465	0.29309	2.85914	0.26413				
Gamma	0.25	7559.12	21.2863	12058.3	760.112	17028.3	35.6105	22688.2	216.349	26882.9	38.6919	32724.6	98.4642				
	0.50	8615.54	21.7182	13970.1	908.345	19600.0	37.5714	25798.6	268.749	31539.5	40.9589	36852.8	106.746				
	0.75	8817.09	22.2517	14012.2	978.930	19830.2	38.6175	25575.0	289.552	31260.4	43.1283	37085.2	120.976				
	1.00	8663.05	23.3263	13431.1	1002.68	19341.8	38.9218	24468.9	304.214	30155.8	44.1985	34420.8	128.608				
	1.25	8507.01	22.9078	12946.3	988.758	17645.4	41.8443	22985.3	302.494	27504.5	46.8575	32321.0	130.285				
	1.50	7967.98	22.8567	12076.7	1042.67	16530.8	44.2396	20801.9	322.083	24985.0	48.3923	30531.8	137.146				
	1.75	7448.07	24.6312	11284.1	1037.06	15021.0	42.5630	18738.5	331.105	23160.7	48.5805	27364.2	146.983				
	2.00	7101.59	24.5400	10716.3	1064.52	14128.7	44.2869	17634.8	341.982	21398.5	48.6636	25017.7	152.053				
Log-normalny	0.25	15.8093	9.07492	20.6730	0.94409	28.8651	10.3709	28.8234	9.7537	32.5839	10.4346	35.2087	10.2931				
	0.50	2.18307	2.92527	2.63939	2.00546	2.90412	2.77870	3.05775	2.37569	3.41198	2.77443	3.64458	2.53471				
	1.00	1.29063	1.28326	1.40056	0.77978	1.63050	1.16311	1.57822	0.97592	1.85680	1.13429	1.77950	1.04632				
	1.25	1.26572	0.61629	1.77501	0.39202	1.29301	0.61122	1.29800	0.49549	1.68051	0.61784	1.48507	0.57706				
	1.50	1.15290	0.37530	0.88769	0.24045	1.45802	0.34916	1.24029	0.29501	2.04497	0.37411	1.00909	0.33482				
	1.75	0.91960	0.23526	1.73227	0.15365	1.37488	0.20894	1.26512	0.18294	0.13071	0.25436	1.12031	0.22336				
	2.00	0.38816	0.16114	0.91243	0.09411	1.59305	0.13809	1.46480	0.10793	4.39803	0.17089	0.47847	0.15509				
Weibulla	0.25	3728.71	12.4655	4579.77	401.437	5555.15	12.6424	6209.12	83.5557	7074.16	10.2704	7661.46	26.3244				
	0.50	3787.91	12.4083	4645.14	430.216	5634.34	13.6784	6428.59	89.7134	7202.41	11.1102	7834.77	27.4978				
	0.75	3872.56	12.8143	4748.52	447.876	5653.95	14.3331	6449.99	94.0640	7105.85	11.8368	7951.08	30.0593				
	1.00	3868.66	12.9462	4794.70	460.082	5635.86	15.4118	6409.16	97.9844	7145.70	12.9096	7965.82	32.7624				
	1.25	3965.13	14.0328	4753.09	493.358	5618.16	16.8321	6456.91	109.551	7145.41	13.8120	7743.18	35.1886				
	1.50	3775.98	14.8371	4742.33	525.253	5676.68	17.9217	6499.28	122.689	7325.75	14.9259	7791.99	37.6569				
	1.75	3836.71	15.3108	4733.57	538.963	5632.53	19.0408	6533.94	128.470	7242.81	16.7045	7886.34	42.5362				
	2.00	3752.85	16.0754	4661.98	588.475	5641.33	20.9889	6363.83	138.357	7038.11	18.1036	8033.29	48.2305				

Tabela C.15. Wartości $RMSE_1$ dla estymatorów zmienności i 20% udziału rozkładu zaburzającego wersja B (opracowanie własne)

Rozkład	κ ₃	n															
		3		4		5		6		7		8					
		σ	σ _R	σ	σ _R	σ	σ _R	σ	σ _R	σ	σ _R	σ	σ _R	σ	σ _R		
Normalny	0.00	1.52054	0.92379	1.67779	0.57341	1.88733	0.48892	2.06738	0.39037	2.31030	0.36352	2.53461	0.31910				
Gamma	0.25	20675.0	40.9046	27217.3	5508.77	34843.2	122.756	37649.7	2653.50	41600.8	186.289	44680.1	1452.64				
	0.50	24674.3	40.9674	32181.7	6731.31	39721.2	130.947	46178.7	3292.12	48095.2	203.840	51871.6	1734.04				
	0.75	25731.0	41.9523	35147.8	7369.55	40670.5	135.963	47890.3	3655.08	50685.6	222.179	53979.6	2008.11				
	1.00	24733.4	44.0686	34750.1	7900.91	41668.5	146.855	48480.7	3987.21	52133.7	246.363	54490.0	2131.91				
	1.25	25084.9	46.6841	33532.6	8998.69	40198.7	161.927	46972.8	4248.04	52083.4	271.939	54740.7	2475.04				
	1.50	24484.8	48.1709	32773.5	8403.22	39966.3	173.882	46090.7	4880.08	49461.8	301.424	52865.1	2669.99				
	1.75	23556.0	51.0282	31356.9	8826.30	38494.0	186.436	43210.5	5049.63	45996.8	332.637	51338.1	3020.70				
	2.00	22963.4	52.3546	30800.4	9145.42	36148.7	190.534	43017.5	5111.52	45955.2	332.992	50305.6	3149.30				
Log-normalny	0.25	898.324	72.2178	1370.67	340.802	1783.45	171.325	2192.00	320.698	2575.12	231.783	2868.96	312.063				
	0.50	23.9123	19.2125	25.7969	23.0922	28.0681	27.0035	29.1673	27.7841	29.6929	30.4406	29.7056	30.3921				

Rozkład	κ_3	n											
		3		4		5		6		7		8	
		σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R
Weibulla	1.00	67,0544	7,42880	103,039	1,18583	170,128	6,13909	220,890	0,16703	307,221	4,51645	369,935	0,05508
	1.25	67,6793	7,70174	102,646	1,15301	170,867	6,52722	220,775	0,17615	308,574	4,87410	365,686	0,05249
	1.50	66,8779	7,80984	102,460	1,17084	168,153	6,66122	219,019	0,16553	300,837	5,12764	361,242	0,05139
	1.75	66,0805	8,21780	102,015	1,12908	167,058	6,90584	214,422	0,16543	298,474	5,35046	360,533	0,05277
	2.00	66,6668	8,03235	101,324	1,11163	164,745	7,26011	215,125	0,17107	295,622	5,46817	358,279	0,05065
	0.25	68,7196	7,20319	105,179	1,14948	173,854	5,39424	226,489	0,16778	312,859	3,83739	374,868	0,05040
	0.50	68,1243	7,36922	105,361	1,11906	172,856	5,48557	224,535	0,17117	309,583	4,16873	373,867	0,05199
	0.75	68,4598	7,66867	104,730	1,15108	172,208	5,88930	221,948	0,17104	309,230	4,34657	371,070	0,05346
	1.00	67,4921	7,77604	102,889	1,14766	170,095	6,27985	219,963	0,17141	306,404	4,85306	364,911	0,05184
	1.25	67,2326	7,99296	102,456	1,14981	167,803	6,73755	217,256	0,16801	302,181	4,99430	364,931	0,05394
1.50	67,4062	8,24573	102,135	1,15315	168,269	6,70412	217,470	0,17456	301,539	5,57503	362,494	0,05500	
1.75	66,4768	8,32700	100,437	1,16929	166,188	7,28979	213,096	0,17082	295,181	5,53642	354,490	0,05088	
2.00	66,3719	8,95913	100,173	1,17340	164,281	7,78463	212,430	0,16222	294,994	5,90768	347,610	0,05115	

Tabela C.17. Wartości $RMSE_2$ dla estymatorów zmienności i 10% udziału wartości odstającej równej 50 (opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n												
		3		4		5		6		7		8		
		σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	
Normalny	0.00	3946.30	11,9683	4778.60	453,612	5776.61	12,1660	6587.38	88,0582	7329.48	10,0636	7876.22	28,83864	
	0.25	2898.24	12,2399	3493.27	335,503	4237.42	12,8052	4785.87	71,9225	5319.47	10,4714	5752.75	24,07770	
	0.50	3497.23	12,3157	4263.83	392,219	5116.39	13,5799	5834.33	84,3108	6316.63	11,1223	6862.42	26,75599	
	0.75	3648.14	13,0729	4515.31	439,701	5449.86	14,5453	6168.14	95,5845	6744.44	11,9475	7436.83	31,41485	
	1.00	3742.53	12,9343	4648.31	464,189	5574.23	15,0640	6251.60	99,9713	7022.03	12,9280	7644.31	31,69238	
	1.25	3878.85	13,9068	4595.08	503,218	5528.70	16,5815	6341.97	104,161	7046.47	13,5420	7679.00	35,41999	
	1.50	3819.75	13,8874	4710.72	524,212	5460.94	17,8026	6405.79	117,611	7041,13	14,7074	7860.68	38,45027	
	1.75	3901.71	15,0937	4835.27	554,993	5571.42	19,0566	6504.18	130,699	7163.80	16,0650	7829.75	41,91913	
	2.00	3757.89	16,2803	4796.39	522,719	5520.22	20,5795	6360.64	137,694	7316.54	17,8636	7816.04	47,12987	
	Log-normalny	0.25	2335.20	11,9843	2884.54	287,143	3383.61	12,9727	3862.91	61,0430	4299.70	10,5131	4689.89	20,61429
0.50		3123.85	12,1792	3832.77	379,674	4546.17	13,4138	5255.53	78,3630	5833.47	11,3638	6410.26	26,21879	
0.75		3383.56	12,3710	4236.51	424,262	4944.72	14,5677	5668.31	88,6179	6375.85	11,8887	6955.76	29,00926	
1.00		3610.61	12,4845	4526.47	455,194	5075.14	15,0357	5873.11	94,9081	6523.32	12,5393	7191.55	32,14224	
1.25		3615.94	13,4210	4514.37	472,302	5075.41	15,9196	6003.97	106,954	6481,21	13,5631	7216.58	33,84397	
1.50		3630.73	13,6228	4497.06	496,403	5338.51	16,8410	6102.83	109,473	6646,25	14,3275	7261.71	37,77854	
1.75		3718.24	14,1290	4587.31	533,472	5350.47	17,5814	6141.39	120,233	6635.80	14,8263	7159.16	39,20067	
2.00		3700.95	14,4944	4616.41	566,696	5332.10	18,9934	5926.36	129,629	6702.83	15,7939	7120.75	42,25660	
Weibulla		0.25	3724.81	12,2056	4668.31	406,919	5552.28	12,7517	6244.44	88,1039	6973.49	10,0245	7649.64	26,30585
		0.50	3815.24	12,0647	4639.84	420,541	5604.41	13,3639	6352.34	87,9712	7275.66	11,0879	7718.88	28,79040
	0.75	3836.28	12,8975	4784.58	449,027	5569.99	14,6488	6434.51	92,0813	7214.24	11,8794	7888.49	29,88100	
	1.00	3892.41	13,0546	4863.29	489,644	5654.43	15,1730	6456.52	102,874	7287,26	12,9650	8059.69	32,24810	
	1.25	3790.07	14,3275	4761.04	491,791	5660.49	16,4564	6713.35	108,367	7171,05	13,8404	7898.82	34,85282	
	1.50	3740.75	14,7708	4760.01	512,497	5623.03	17,8706	6428.81	117,865	7199.42	15,7267	7817.67	38,85637	
	1.75	3810.77	15,7113	4803.28	550,090	5673.12	19,2616	6360.54	125,988	7307,68	16,9472	8012.67	42,58650	
	2.00	3838,58	15,7451	4751,37	575,732	5531,98	21,2573	6382,86	137,402	7086,32	17,6981	7955,69	45,78033	

Tabela C.18. Wartości $RMSE_2$ dla estymatorów zmienności i 20% udziału wartości odstającej równej 50 (opracowanie własne)

Rozkład	κ_3	n												
		3		4		5		6		7		8		
		σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	σ	σ_R	
Normalny	0.00	4183.95	9,65280	4385.47	1335,62	4530.23	16,6513	4678.10	432,443	4682.39	19,3543	4708.77	179,463	
	0.25	3096.01	9,75986	3209.43	969,624	3350.81	17,3960	3370.24	331,562	3405.91	20,2381	3437.83	146,118	
	0.50	3778.13	10,1325	3930.50	1196,77	4036.20	18,5301	4121.52	403,294	4127.34	21,6522	4114.78	169,821	
	0.75	3985.08	10,4643	4212.24	1330,01	4323.72	19,5876	4437.20	446,743	4414,77	25,0274	4438.90	186,580	
	1.00	4203.50	11,0995	4395.76	1451,00	4551.44	20,9969	4594.54	484,762	4648,32	25,3848	4617,65	204,619	
	1.25	4363.17	12,2356	4552.99	1556,31	4689.74	23,0530	4840.23	525,162	4849,77	27,5407	4825,04	224,836	
	1.50	4581.82	12,9491	4732.55	1654,93	4905.61	25,6628	4927.18	582,797	4995,39	30,3040	5034,70	251,240	
	1.75	4757.34	14,0635	4982.08	1837,83	5104.37	28,4346	5166.96	657,311	5159,52	34,4631	5197,99	285,783	
	2.00	4892.99	15,7099	5177.65	2010,92	5274.72	32,3551	5431.85	751,490	5376.19	39,4039	5347,93	324,651	
	Log-normalny	0.25	2512.12	9,65747	2617.53	816,357	2698.45	17,1767	2739.58	279,571	2769.35	20,1829	2765.67	122,866
0.50		3373.92	10,2760	3545.21	1109,15	3629.16	18,4666	3703.12	373,164	3780.77	21,6111	3766.33	161,203	
0.75		3788.56	10,3833	3957.79	1268,61	4046.36	19,8542	4094.66	421,650	4137,02	23,0317	4137,52	182,471	
1.00		4040.92	10,7793	4173.26	1380,32	4287.11	21,0081	4404.44	468,527	4376,43	25,1220	4391,26	198,690	
1.25		4186.30	11,3876	4391.30	1457,91	4480.69	22,4714	4576.95	505,282	4574,22	26,9349	4564,37	215,829	
1.50		4334.50	11,6122	4526.37	1606,00	4663.34	23,4966	4698.75	548,949	4760,79	28,6682	4669,60	241,232	
1.75		4567.65	12,9153	4699.33	1713,62	4833.02	25,4585	4865.36	600,654	4852,52	31,1578	4801,69	258,497	
2.00		4647.10	12,9819	4888.90	1820,95	4995.66	27,3424	4960.42	653,886	4987,76	33,1042	4862,91	282,479	
Weibulla		0.25	3854.66	9,81428	4094.65	1200,74	4272.81	17,1639	4338.25	397,524	4467,13	19,3099	4460,37	166,625
		0.50	4058.38	10,2120	4206.71	1284,63	4462.50	17,8879	4509.13	417,095	4570,06	20,9998	4589,20	174,611
	0.75	4137.39	10,9672	4361.23	1344,45	4533.62	19,5829	4658.21	446,372	4680,68	22,8744	4731,12	186,370	
	1.00	4332.85	11,3521	4509.57	1454,67	4641,57	21,1736	4712,19	482,254	4796,57	25,6000	4840,44	204,442	
	1.25	4424.07	12,4558	4659.64	1551,23	4860.29	23,8777	4930.49	535,188	4942,86	28,1228	4956,18	224,840	
	1.50	4515.44	13,2029	4830,91	1687,69	4908.15	25,9722	5069.86	591,645	5042,16	31,7566	5034,32	253,515	
	1.75	4759.25	14,6489	4947,79	1836,04	5157,62	28,8504	5149,66	667,382	5222,47	35,3563	5212,14	289,387	
	2.00	4954,82	15,8630	5112,86	2022,38	5271,66	32,9945	5329,98	743,953	5319,20	39,4809	5377,80	327,181	

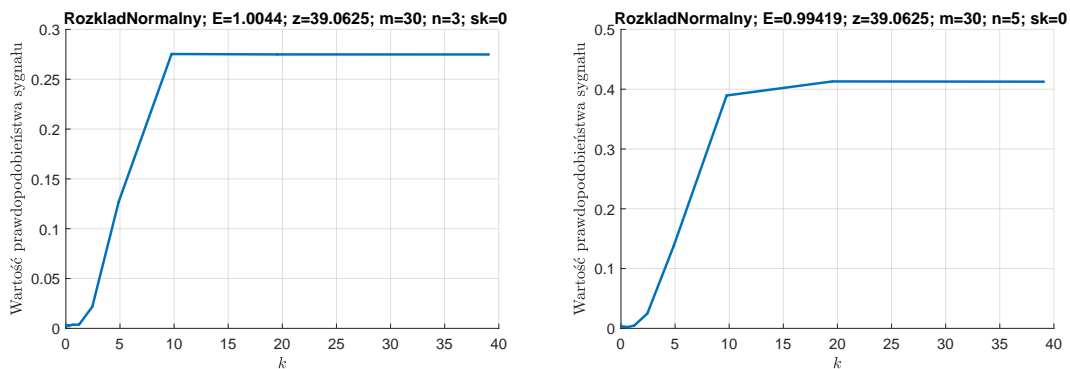
C.3. karta położenia

Oznaczenia na wykresach:

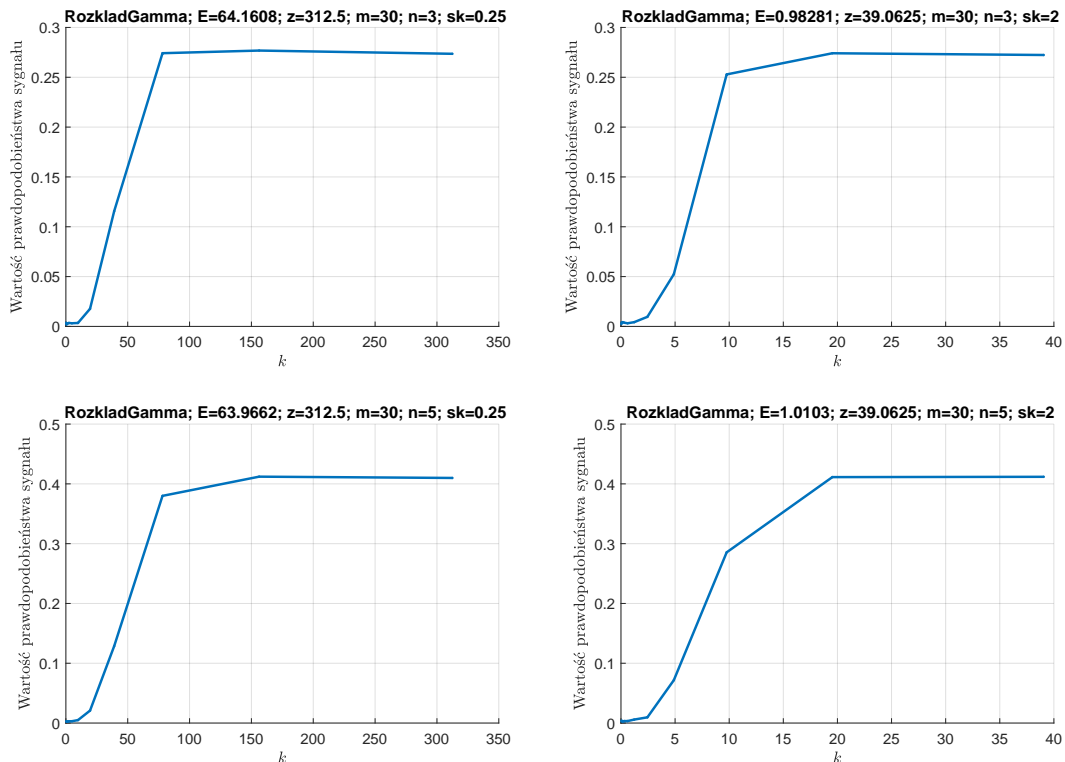
- E - wartość zaburzenia k dla którego prawdopodobieństwo uzyskania sygnału jest najm

D. Wykresy wpływu zaburzeń na prawdopodobieństwo sygnału dla kart klasycznych - przypadek mieszania zaburzeń

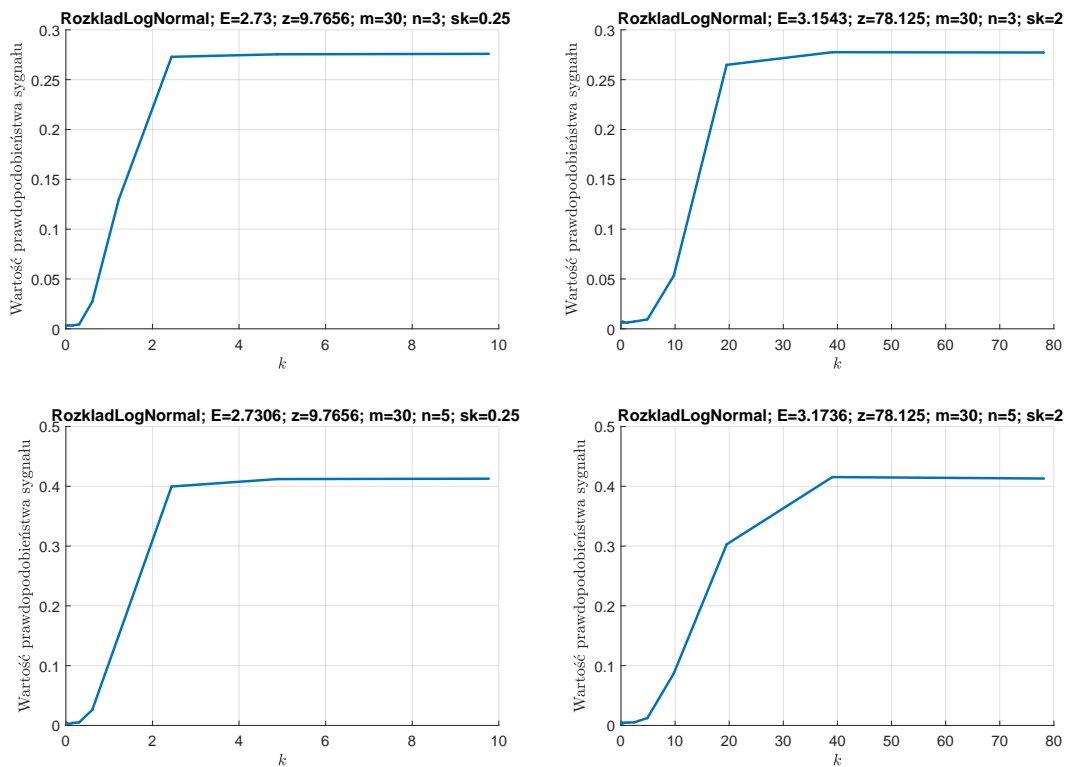
D.0.1. zaburzenie stałą



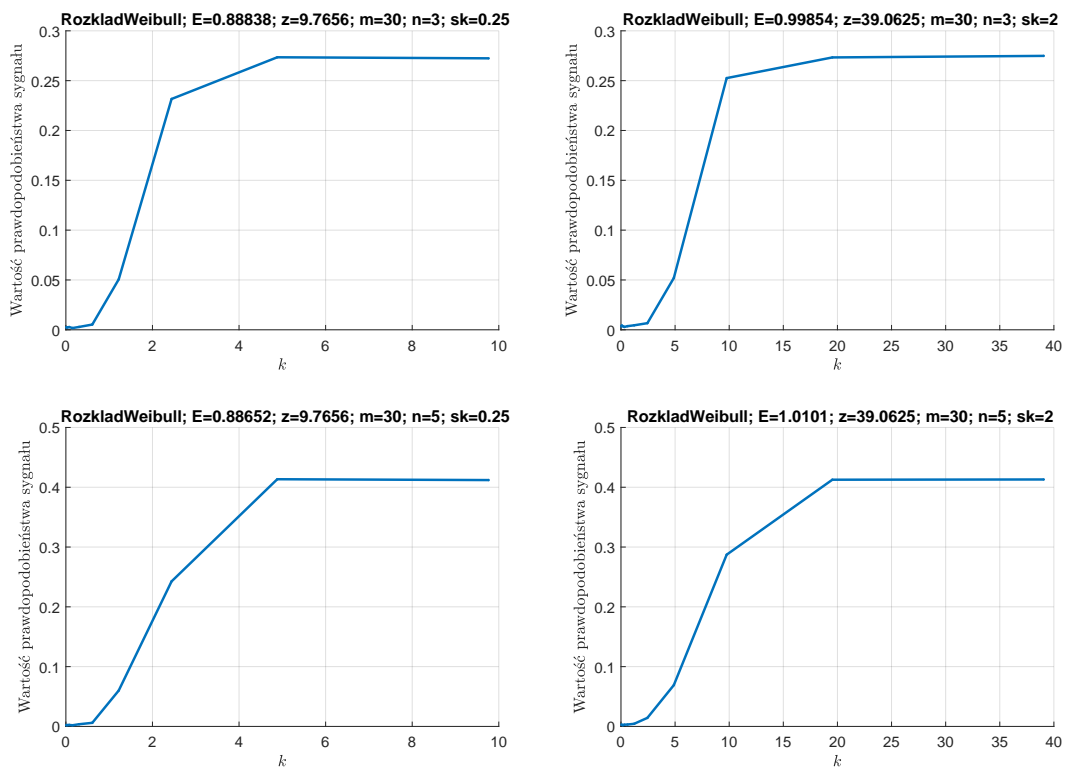
Rys. D.1. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład normalny i zaburzenie stałą (opracowanie własne)



Rys. D.2. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład gamma i zaburzenie stałą (opracowanie własne)

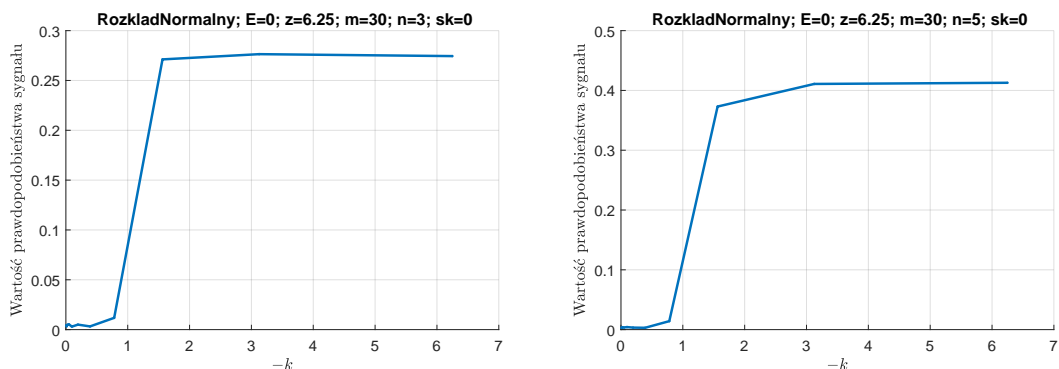


Rys. D.3. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład log-normalny i zaburzenie stałą (opracowanie własne)

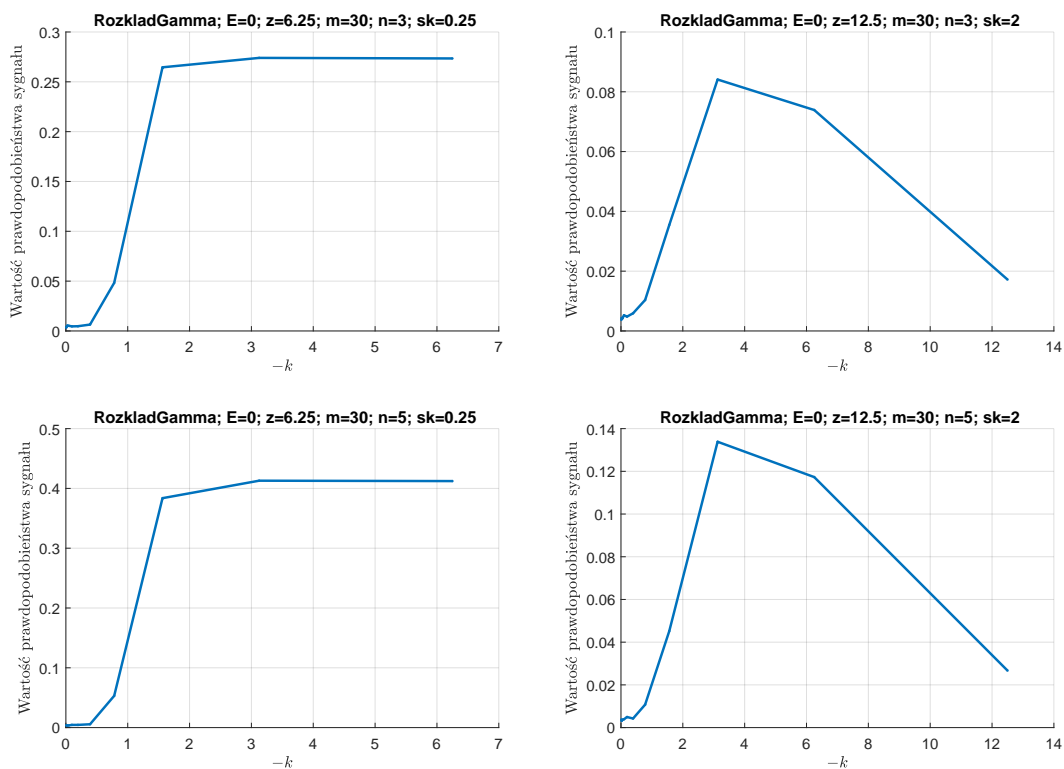


Rys. D.4. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład Weibulla i zaburzenie stałą (opracowanie własne)

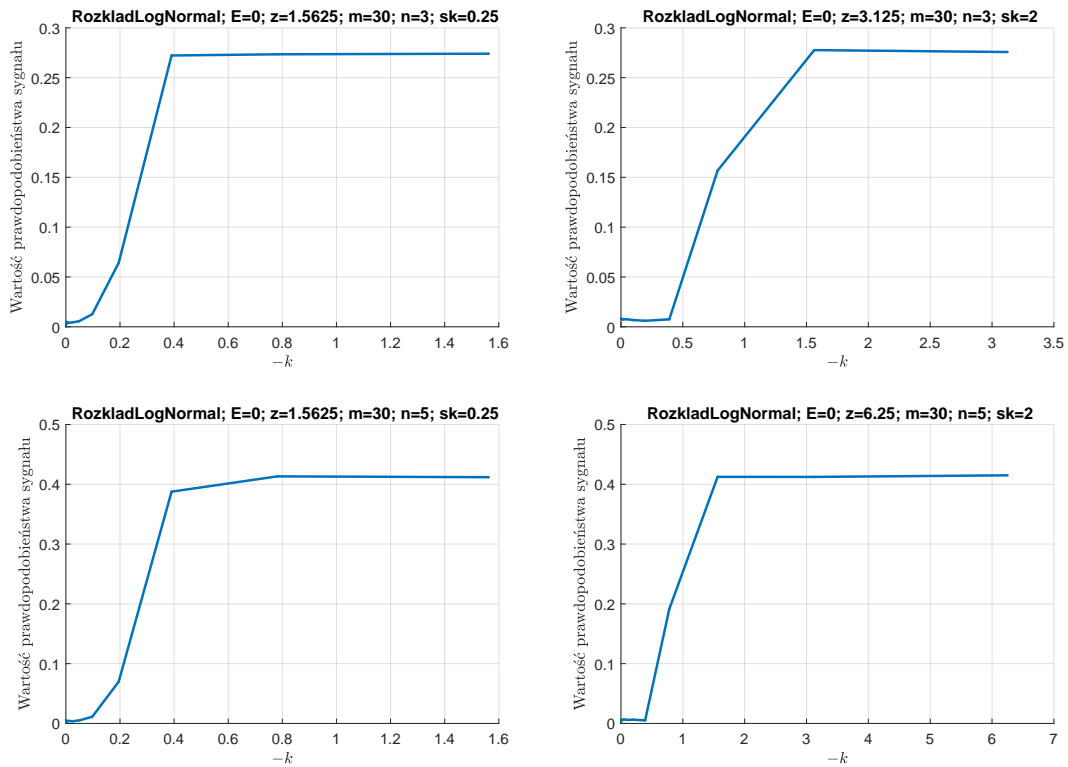
D.0.2. zaburzenie rozkładem - wersja A



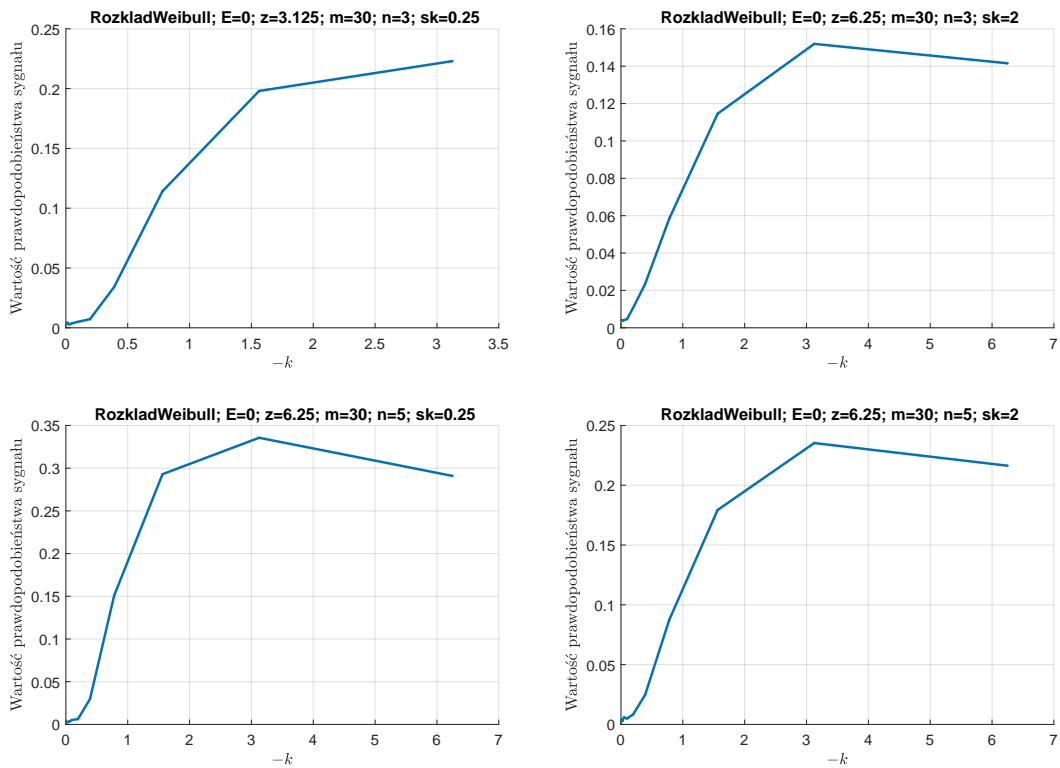
Rys. D.5. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład normalny i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne)



Rys. D.6. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład gamma i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne)

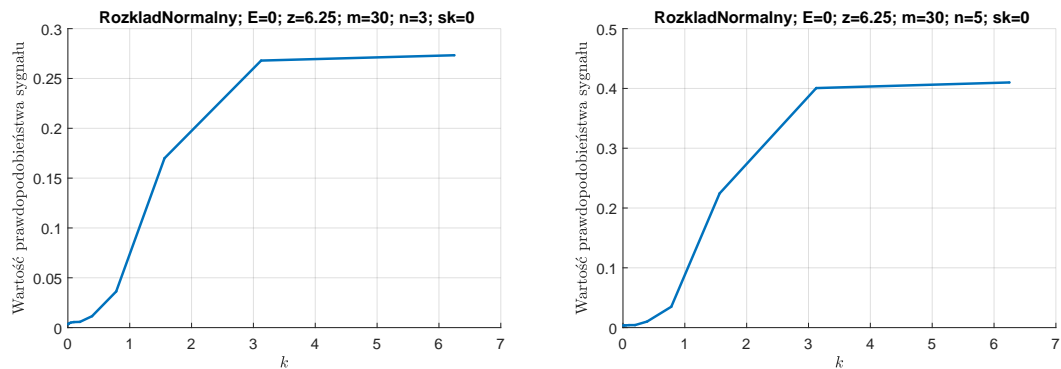


Rys. D.7. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład log-normalny i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne)

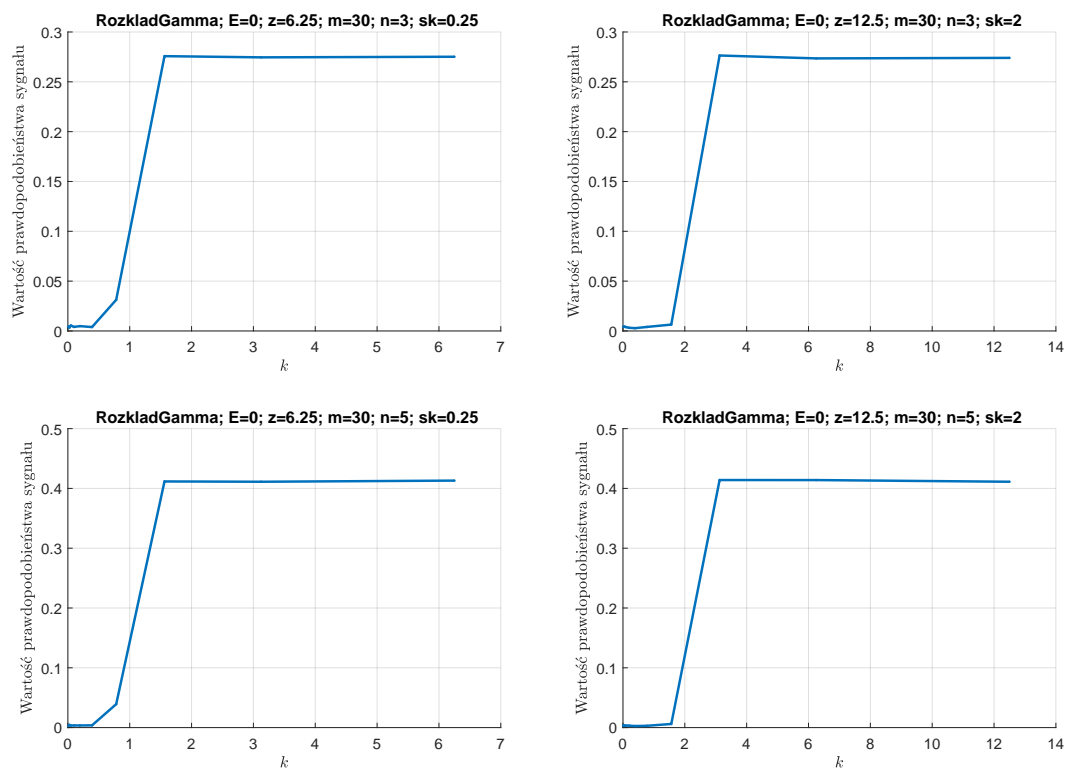


Rys. D.8. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład Weibulla i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne)

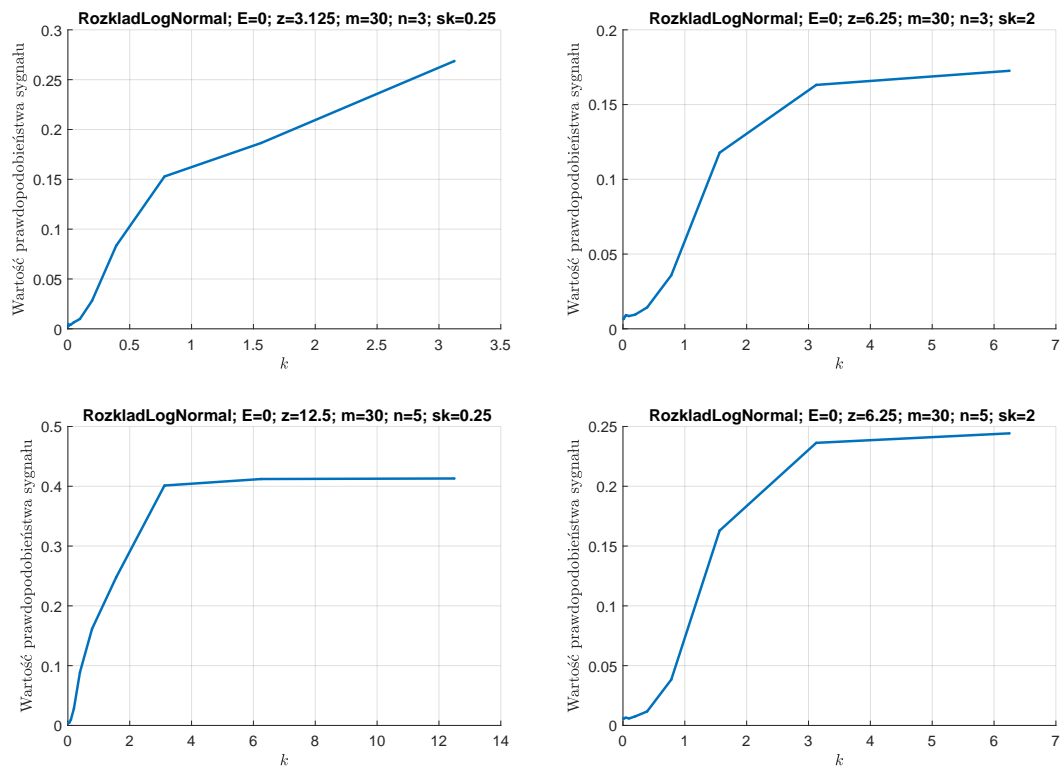
D.0.3. zaburzenie rozkładem - wersja B



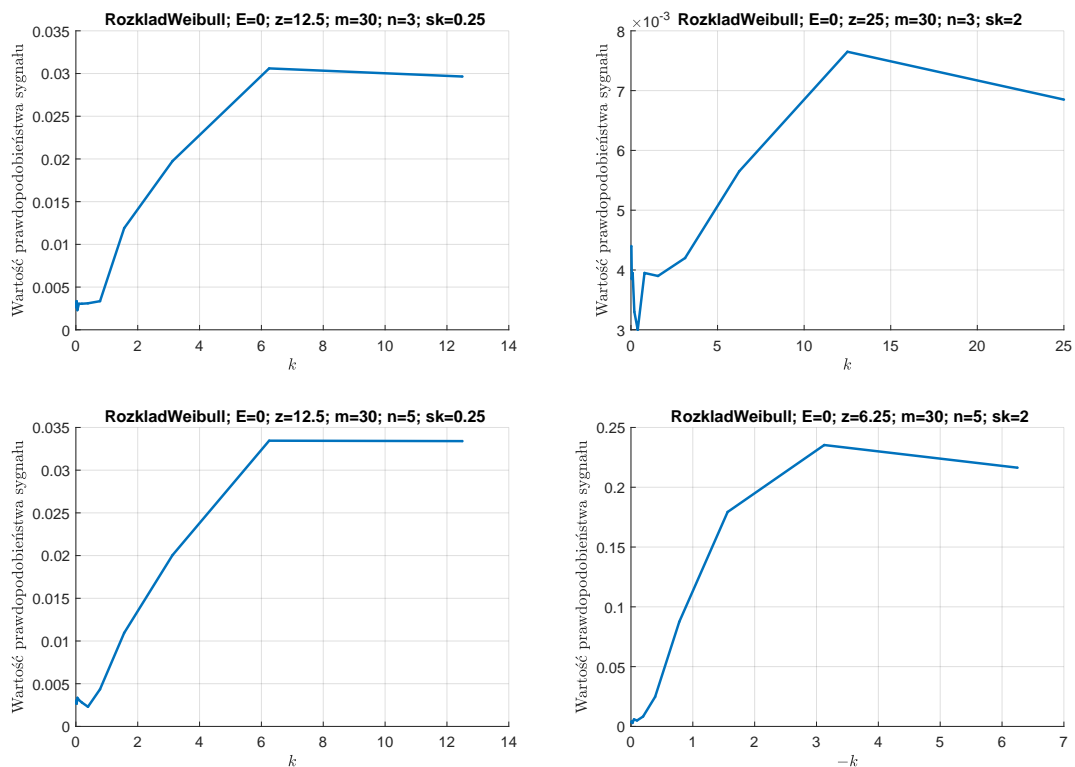
Rys. D.9. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład normalny i zaburzenie w wersji B (opracowanie własne)



Rys. D.10. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład gamma i zaburzenie w wersji B (opracowanie własne)



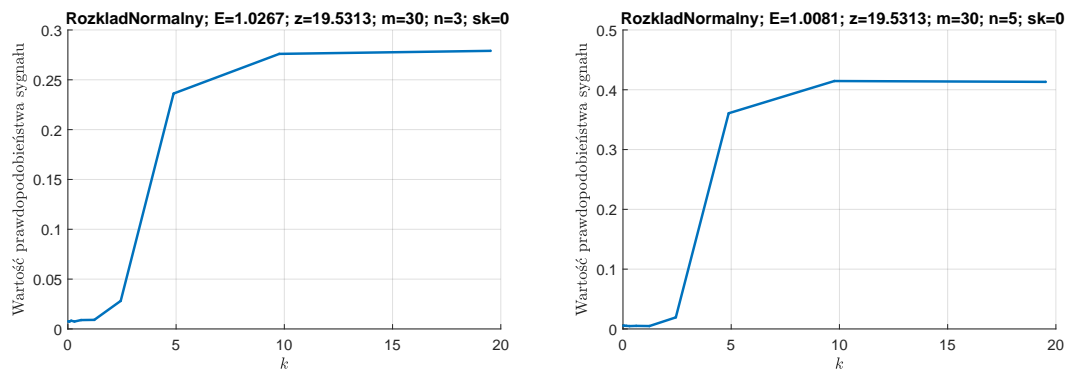
Rys. D.11. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład log-normalny i zaburzenie w wersji B (opracowanie własne)



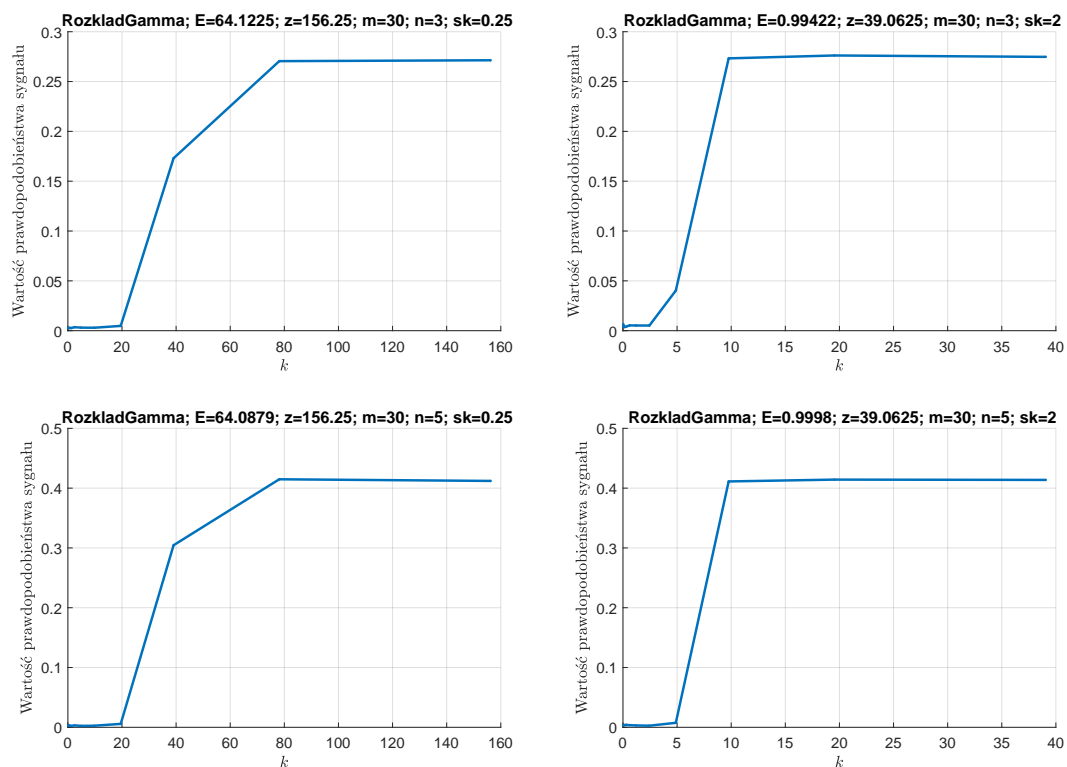
Rys. D.12. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie średniej - rozkład Weibulla i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne)

D.1. karta zmienności

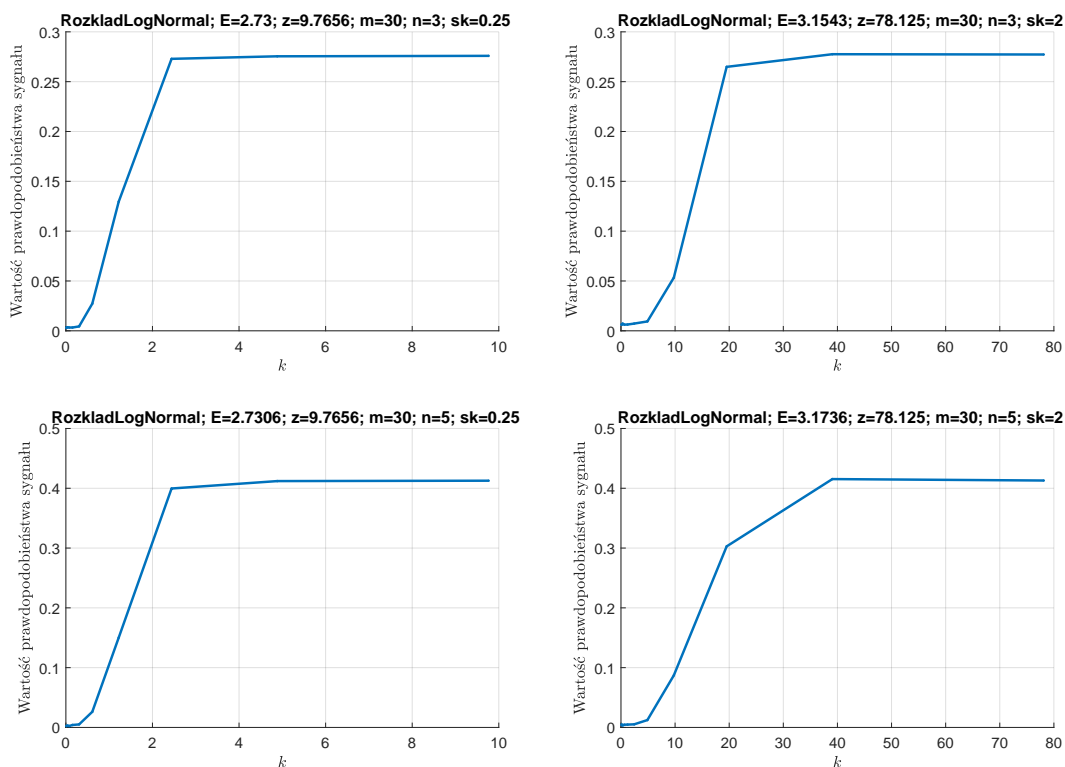
D.1.1. zaburzenie stałą



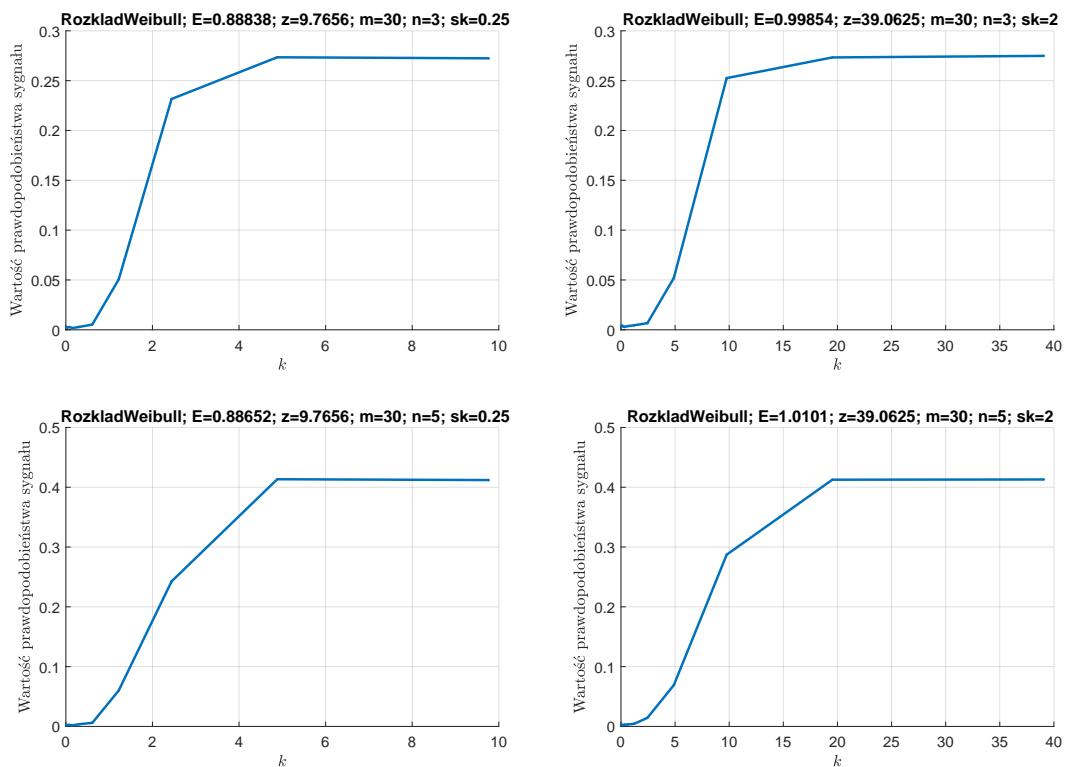
Rys. D.13. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład normalny i zaburzenie stałą (opracowanie własne)



Rys. D.14. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład gamma i zaburzenie stałą (opracowanie własne)

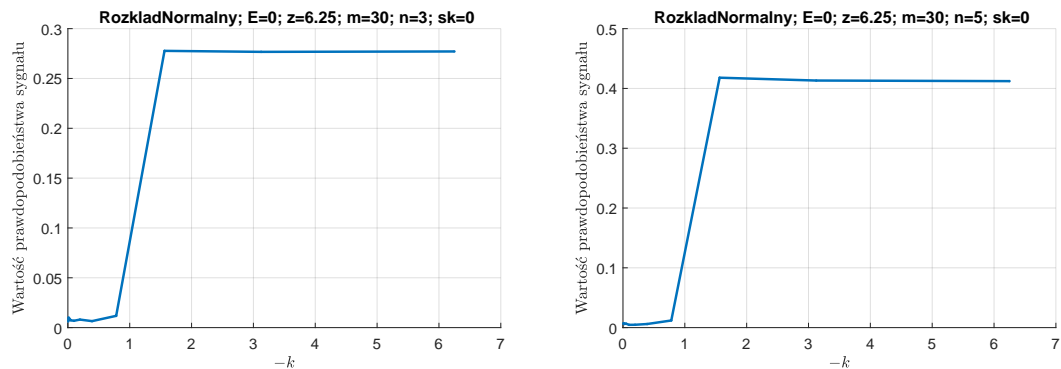


Rys. D.15. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład log-normalny i zaburzenie stałą (opracowanie własne)

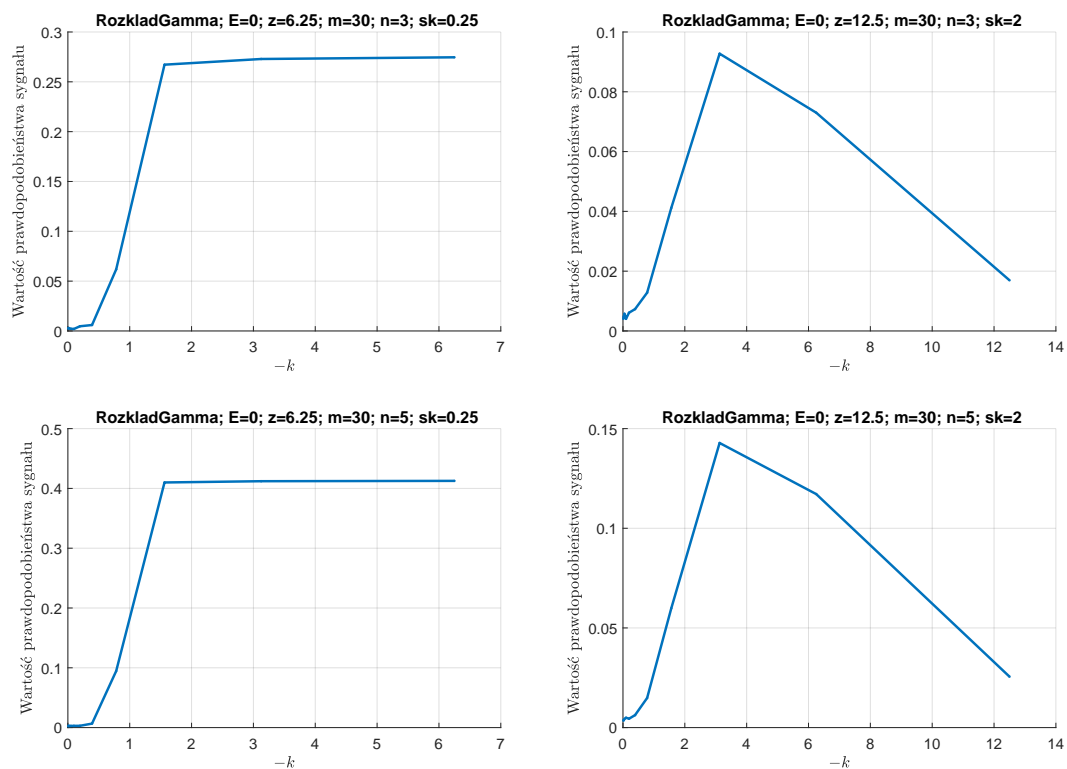


Rys. D.16. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład Weibulla i zaburzenie stałą (opracowanie własne)

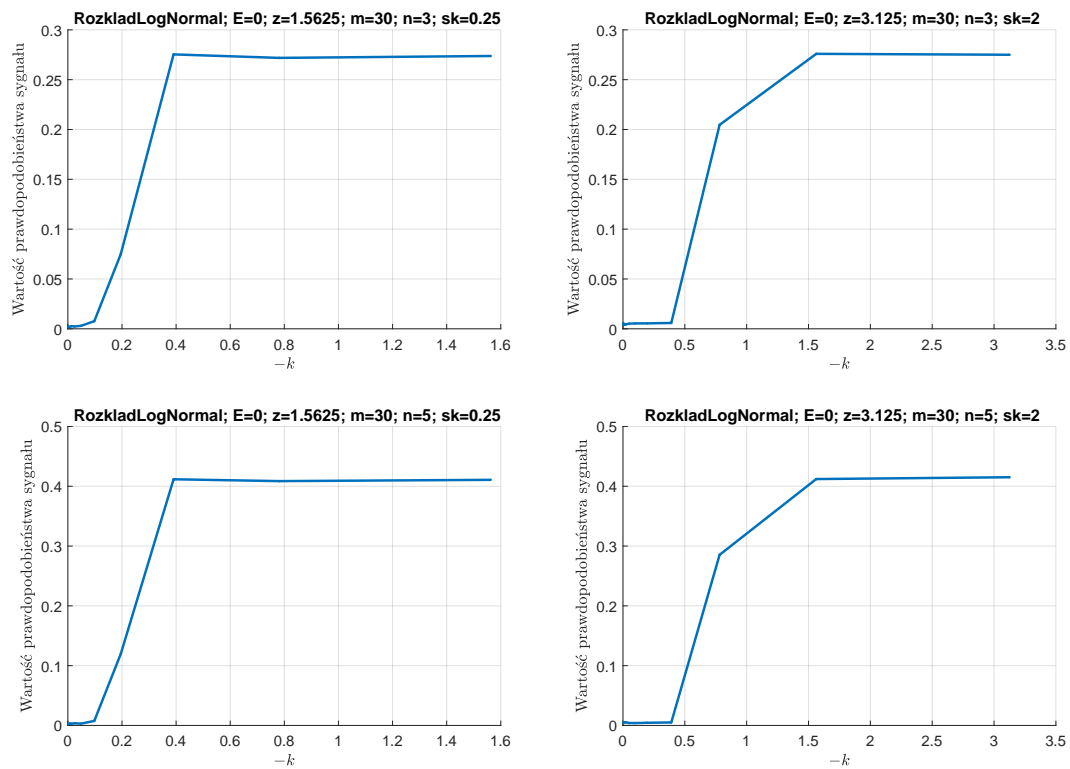
D.1.2. zaburzenie rozkładem - wersja A



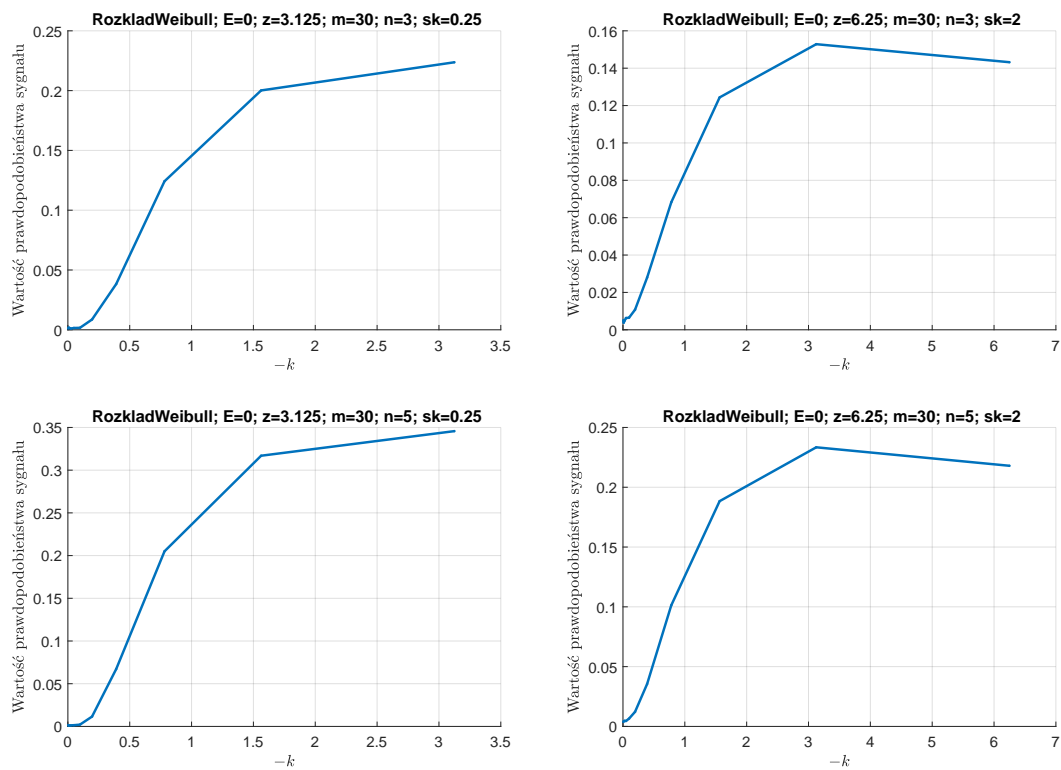
Rys. D.17. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład normalny i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne)



Rys. D.18. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład gamma i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne)

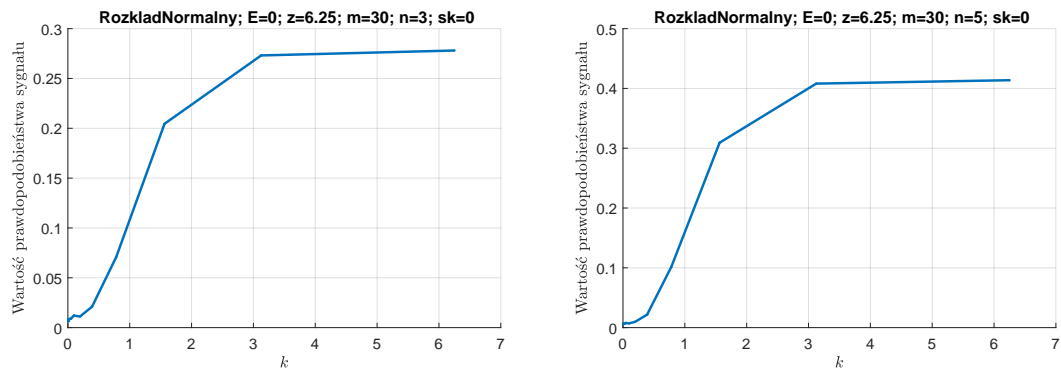


Rys. D.19. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład log-normalny i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne)

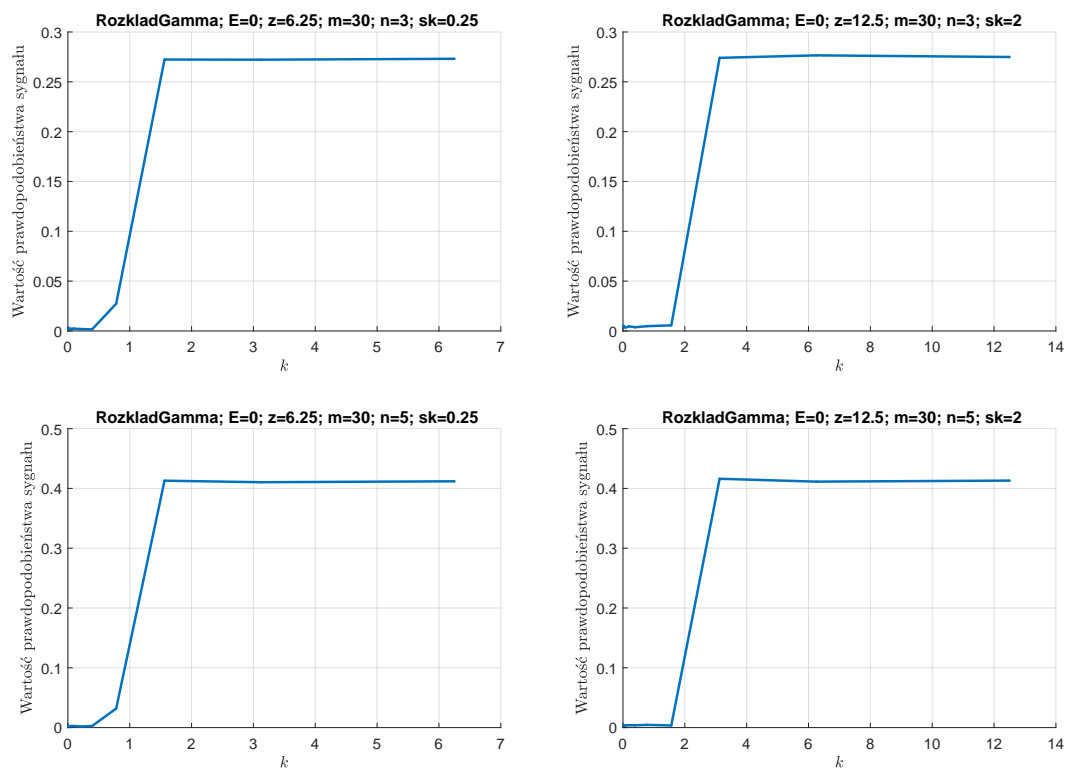


Rys. D.20. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład Weibulla i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne)

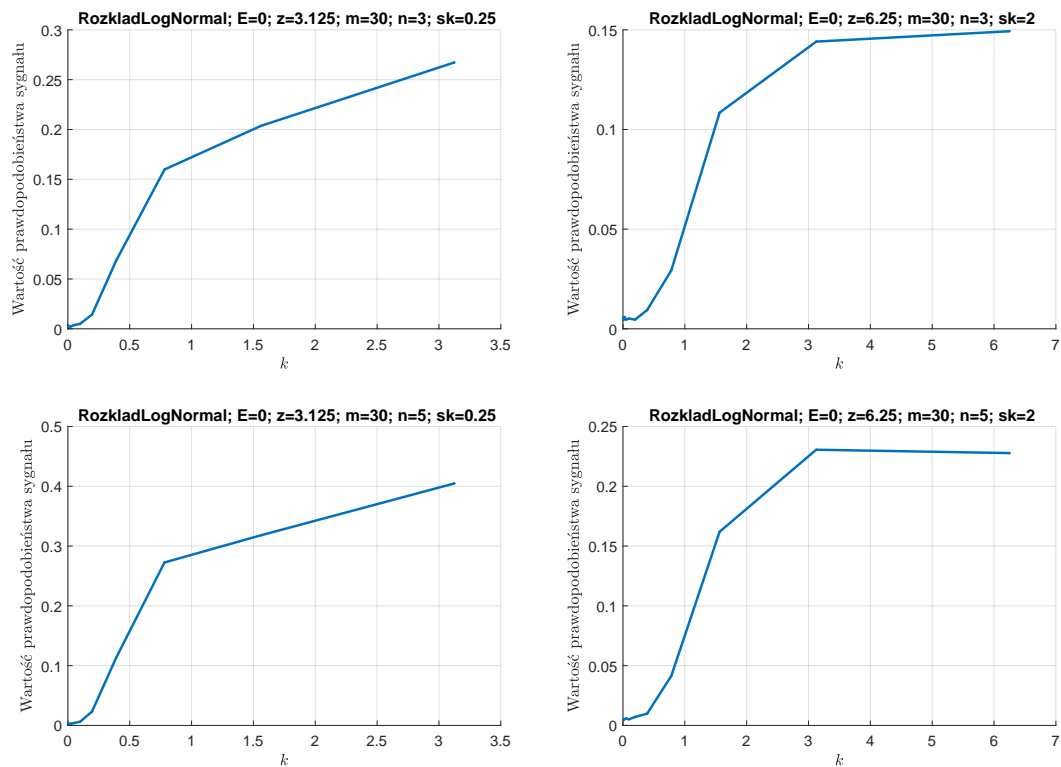
D.1.3. zaburzenie rozkładem - wersja B



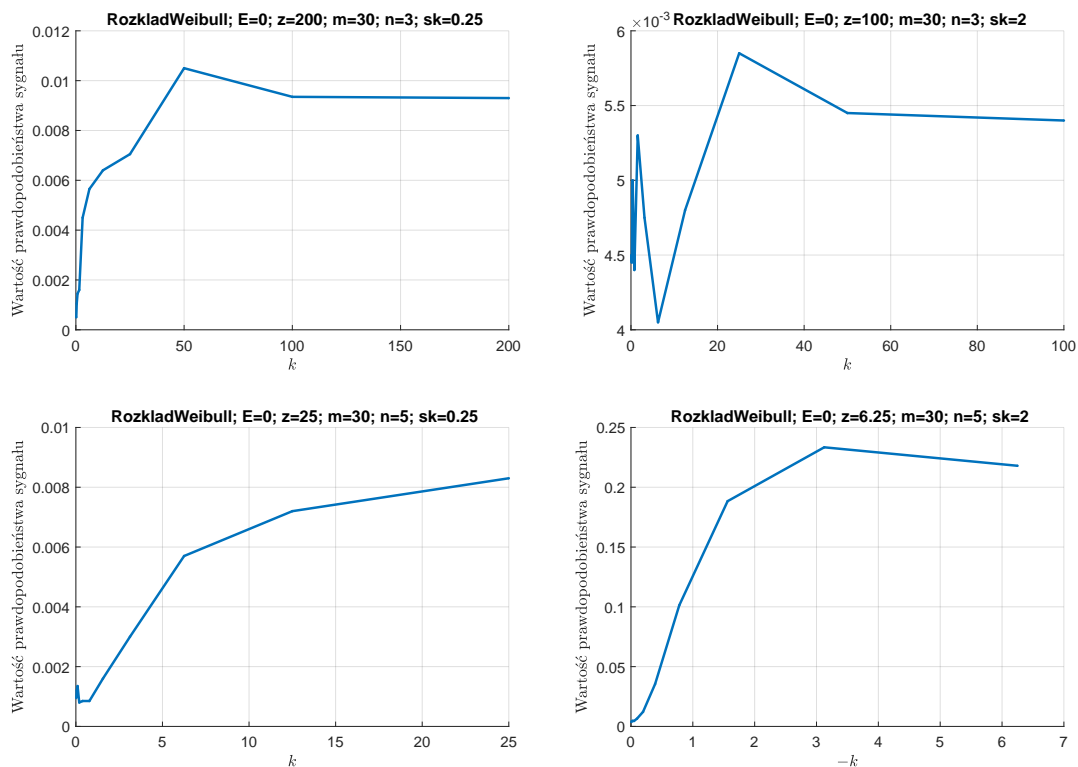
Rys. D.21. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład normalny i zaburzenie w wersji B (opracowanie własne)



Rys. D.22. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład gamma i zaburzenie w wersji B (opracowanie własne)



Rys. D.23. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład log-normalny i zaburzenie w wersji B (opracowanie własne)

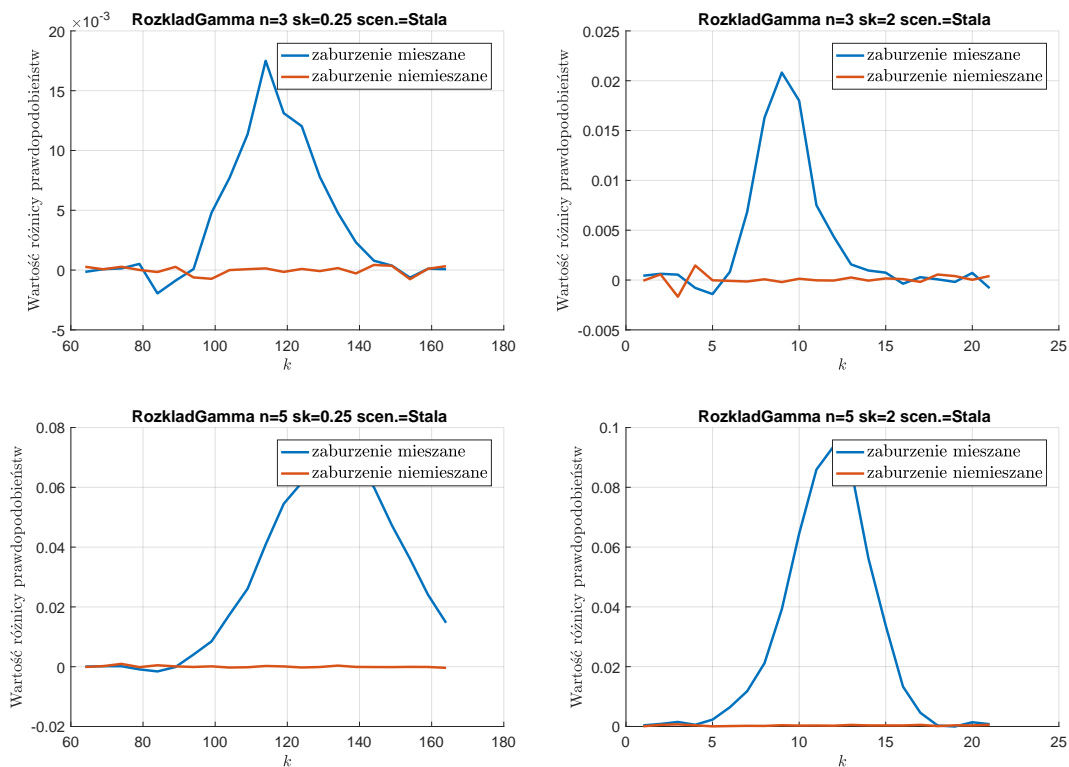


Rys. D.24. Wykresy prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na klasycznej karcie rozstępu - rozkład Weibulla i zaburzenie w wersji A (opracowanie własne)

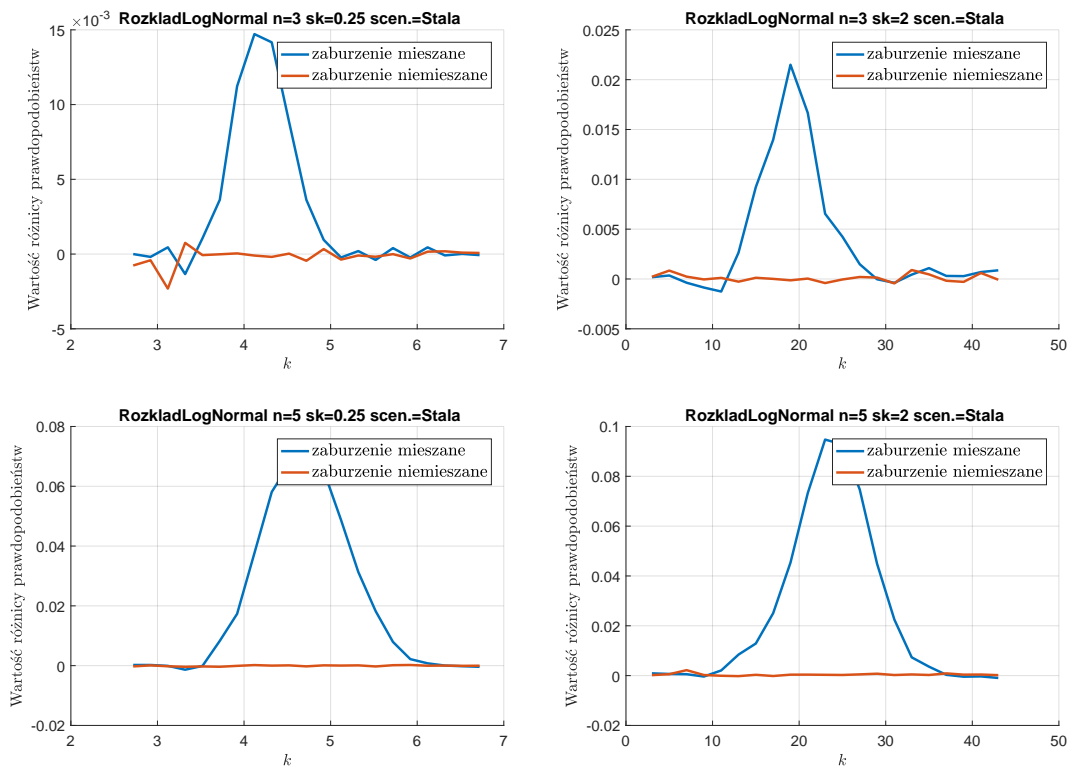
E. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie dla karty klasycznej i odpornościowej

E.1. karta położenia

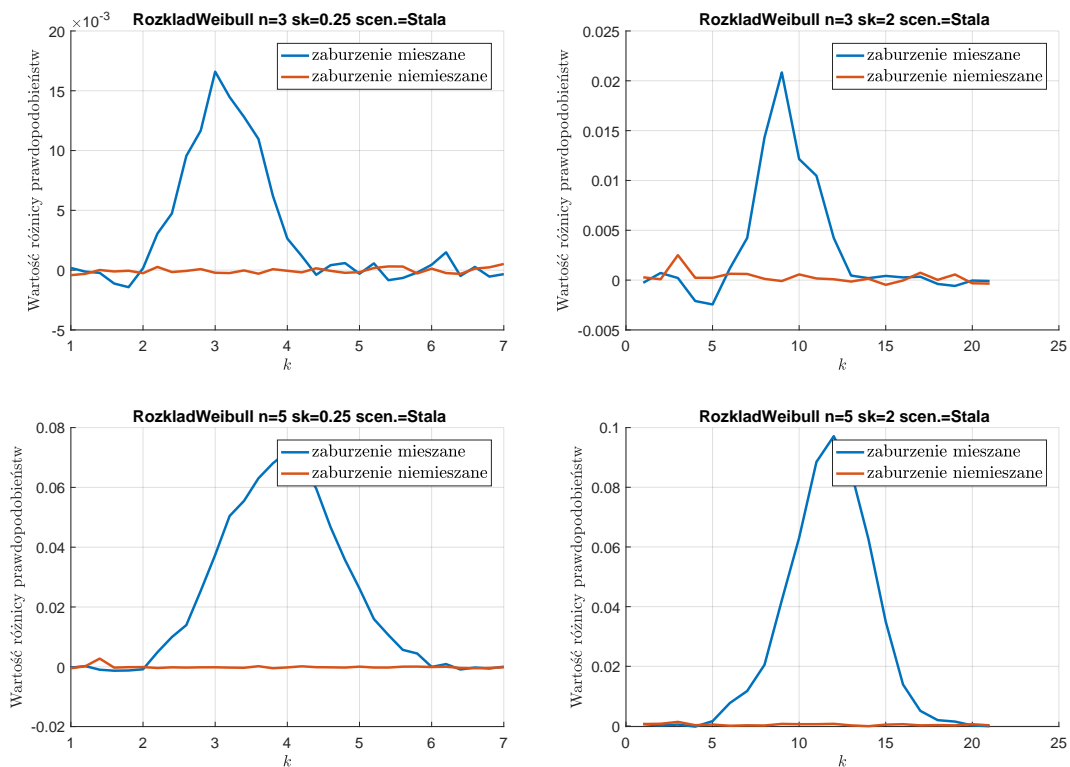
E.1.1. zaburzenie stałą



Rys. E.1. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład gamma oraz zaburzenie stałą (opracowanie własne)

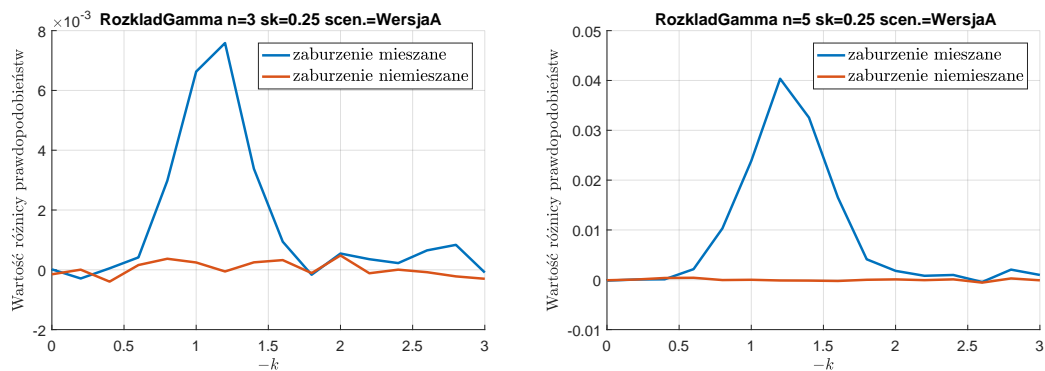


Rys. E.2. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład log-normalny oraz zaburzenie stałą (opracowanie własne)

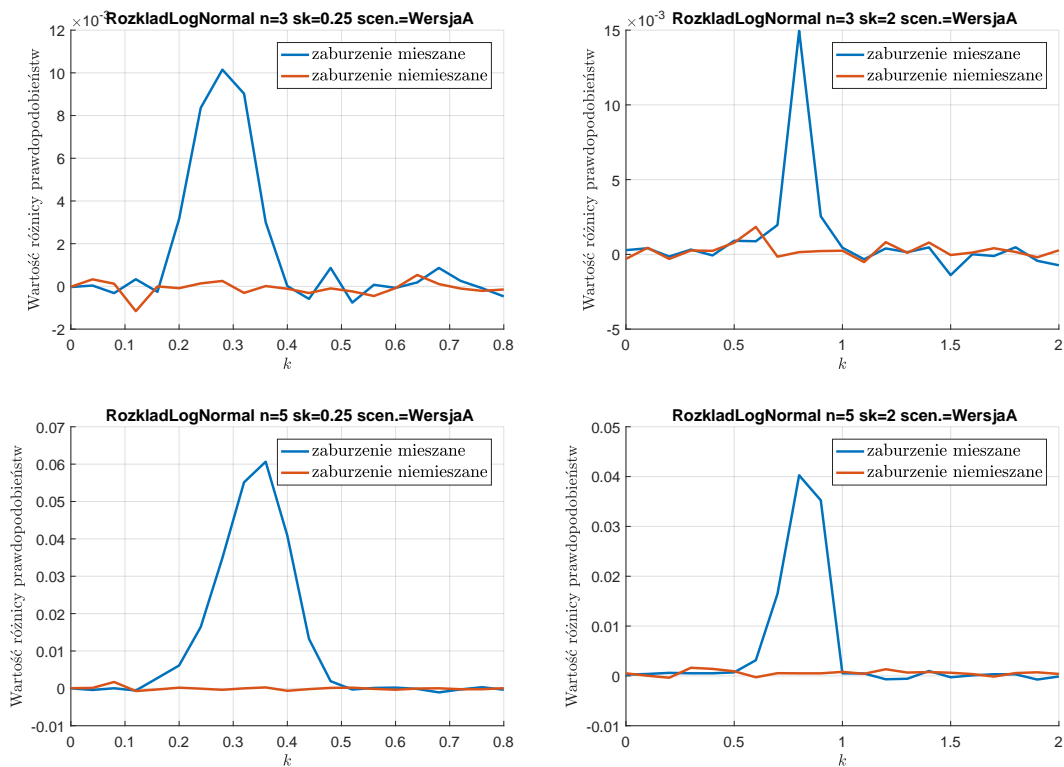


Rys. E.3. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład Weibulla oraz zaburzenie stałą (opracowanie własne)

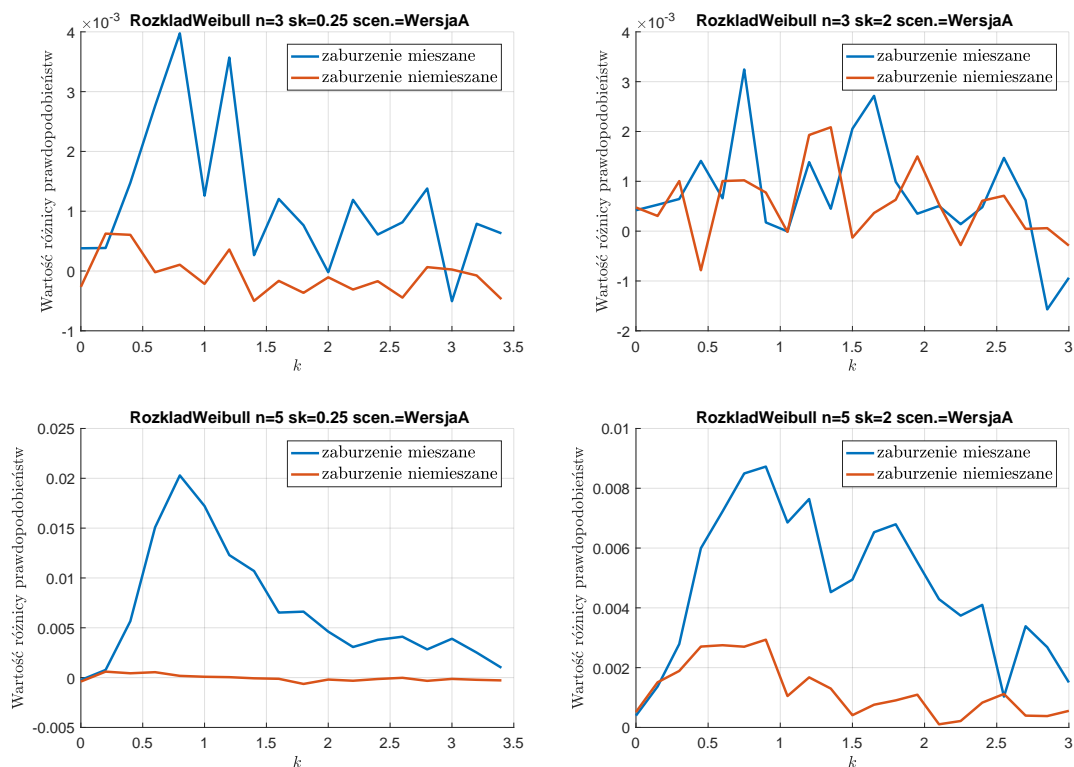
E.1.2. zaburzenie rozkładem - wersja A



Rys. E.4. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład gamma oraz zaburzenie rozkładem w wersji A (opracowanie własne)

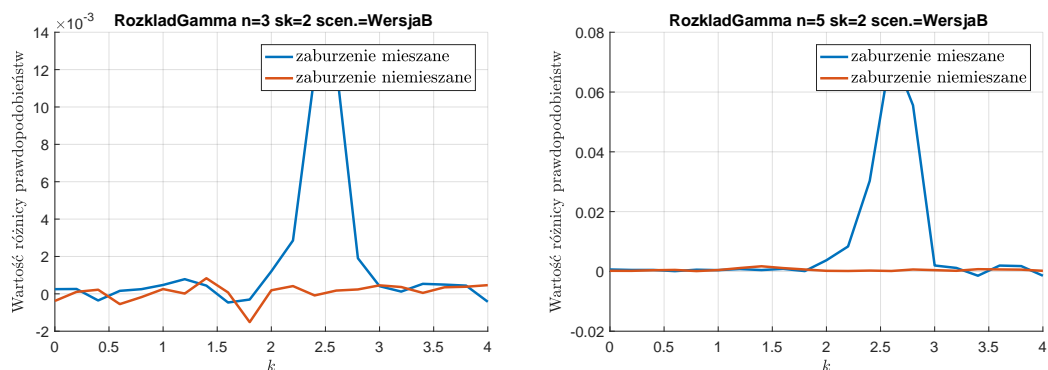


Rys. E.5. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład log-normalny oraz zaburzenie rozkładem w wersji A (opracowanie własne)

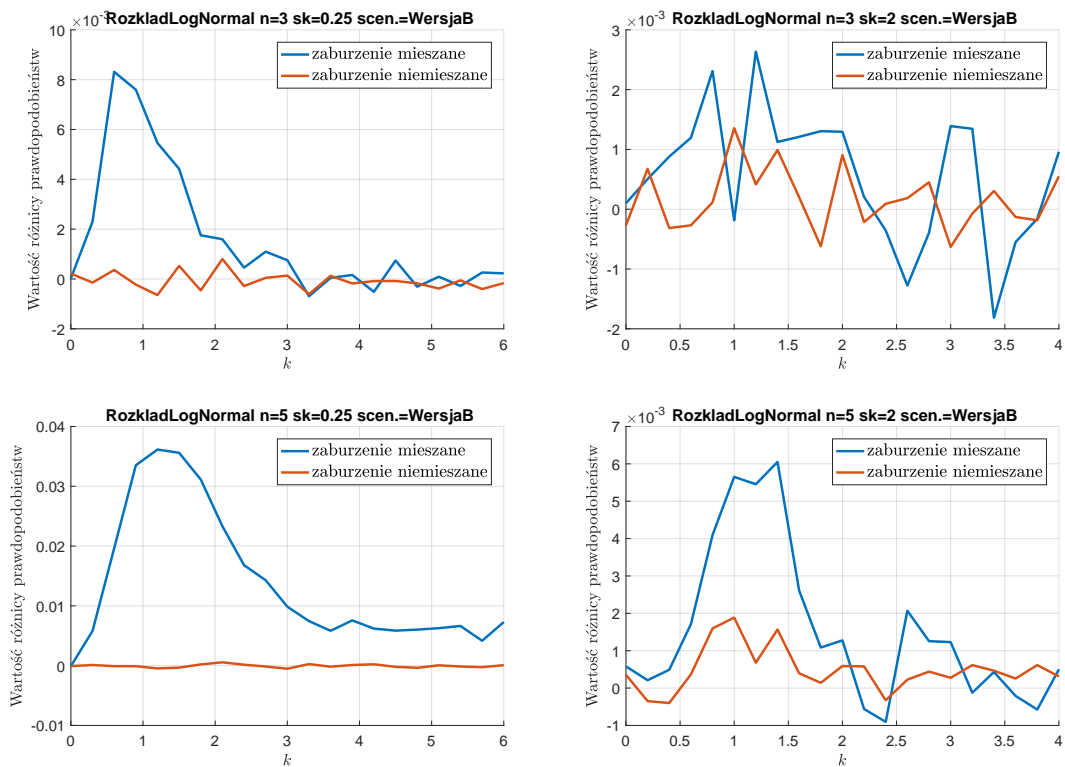


Rys. E.6. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład Weibulla oraz zaburzenie rozkładem w wersji A (opracowanie własne)

E.1.3. zaburzenie rozkładem - wersja B



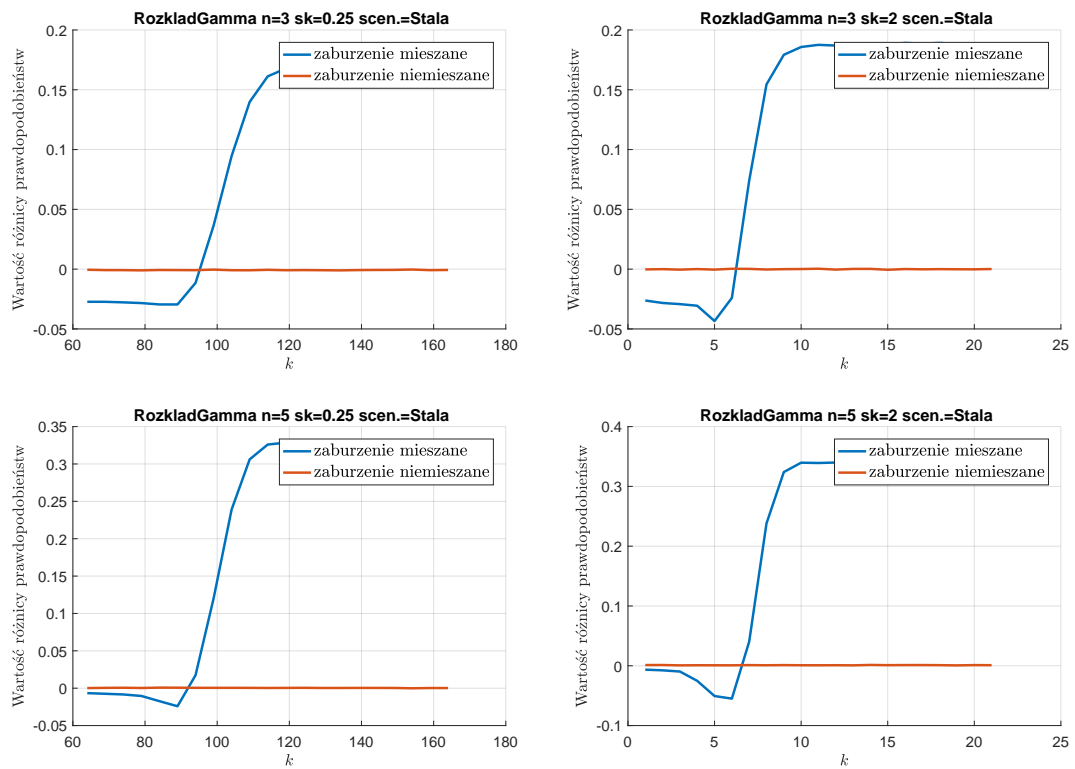
Rys. E.7. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład gamma oraz zaburzenie rozkładem w wersji B (opracowanie własne)



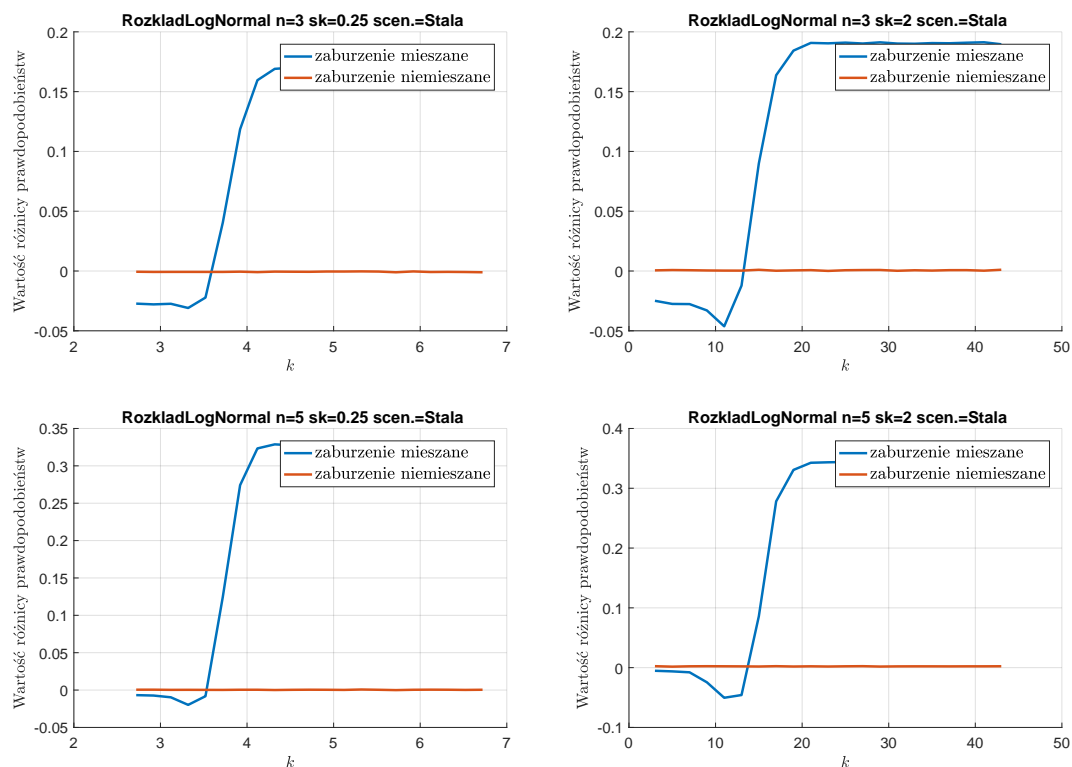
Rys. E.8. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie średniej dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład log-normalny oraz zaburzenie rozkładem w wersji B (opracowanie własne)

E.2. karta zmienności

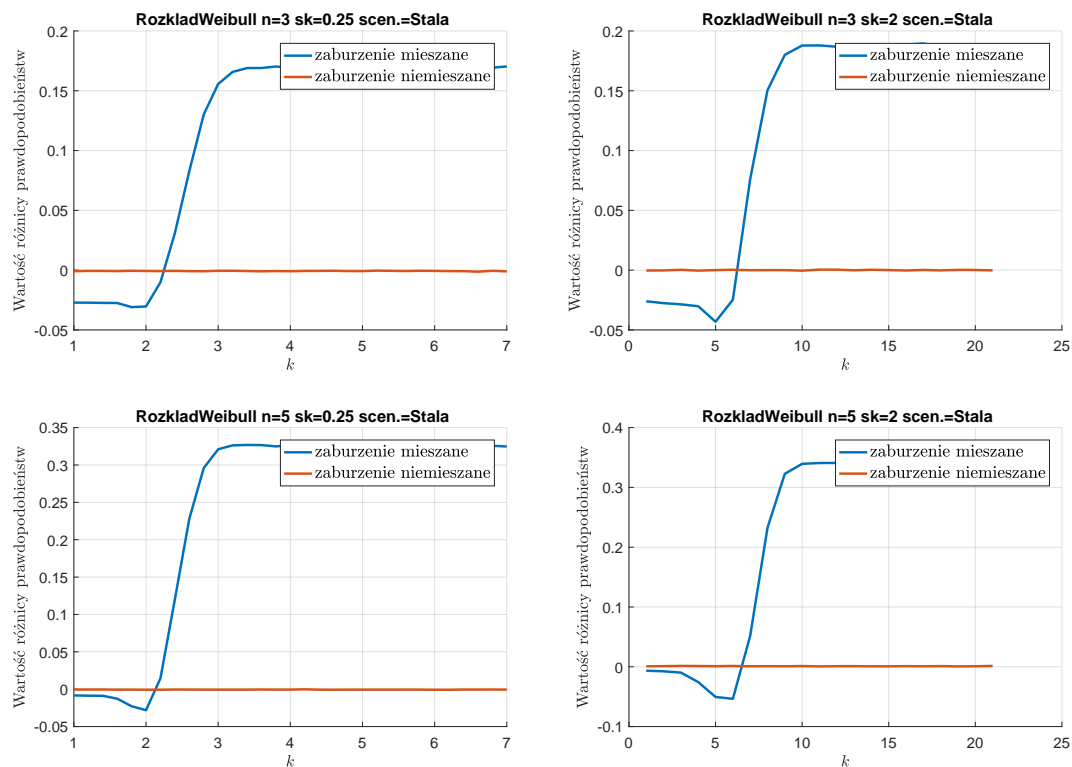
E.2.1. zaburzenie stałą



Rys. E.9. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępu dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład gamma oraz zaburzenie stałą (opracowanie własne)

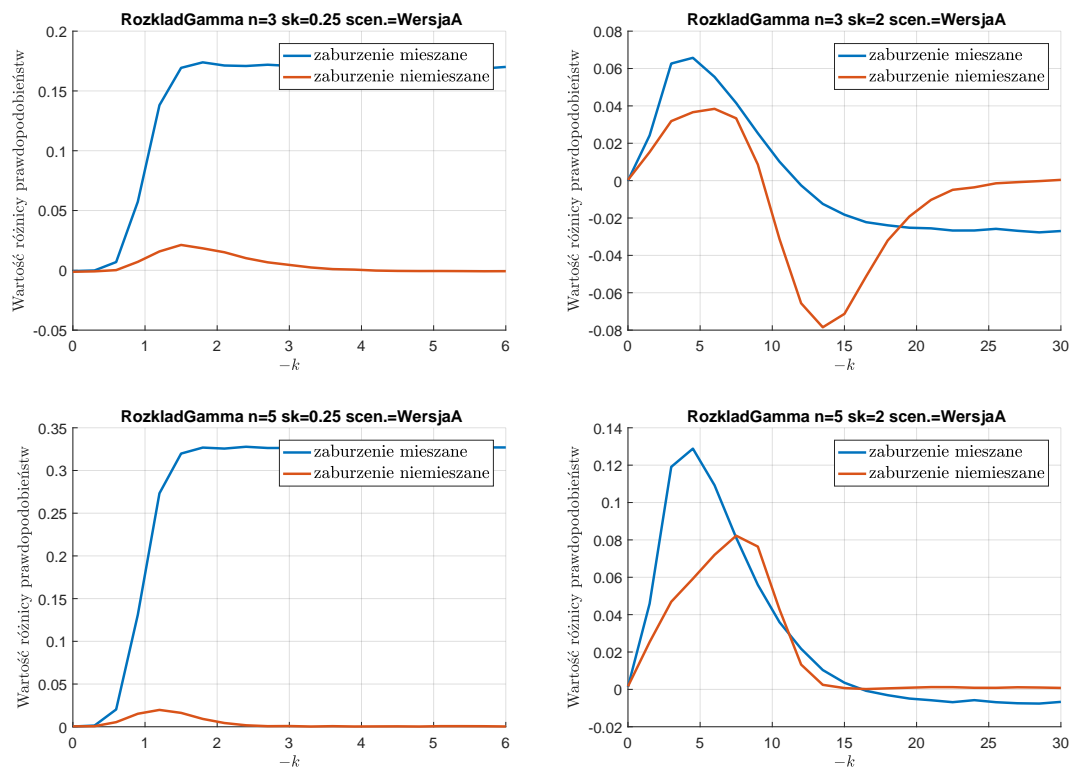


Rys. E.10. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępu dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład log-normalny oraz zaburzenie stałą (opracowanie własne)

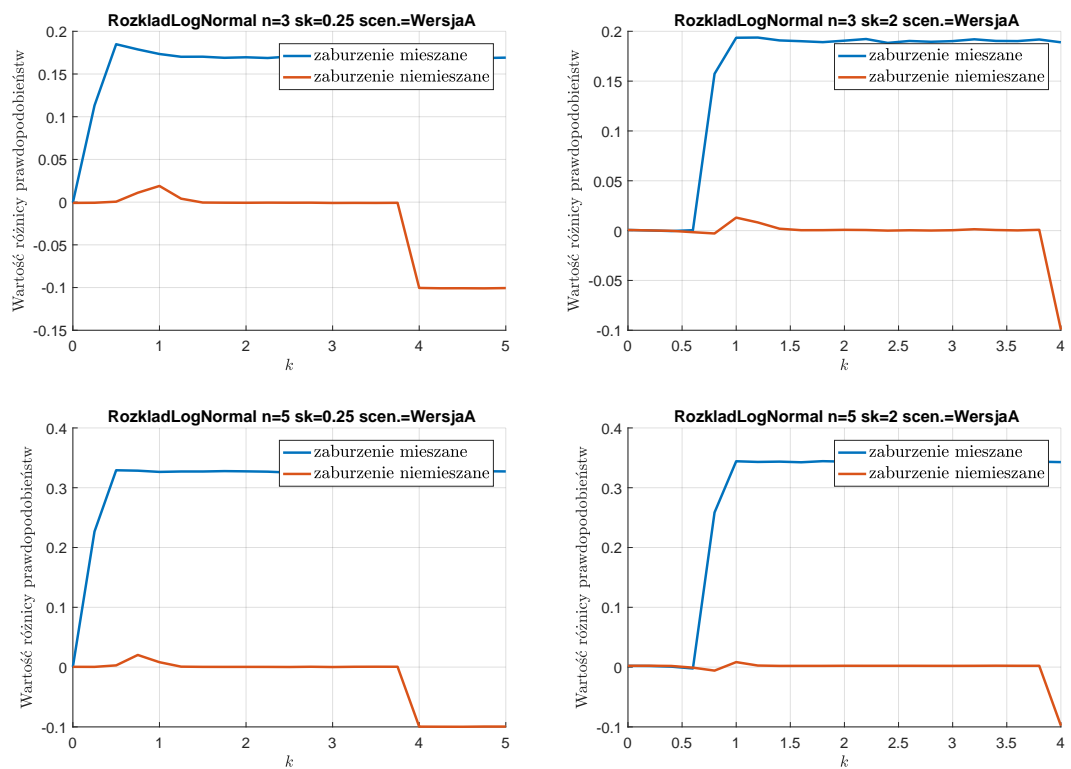


Rys. E.11. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępu dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład Weibulla oraz zaburzenie stałą (opracowanie własne)

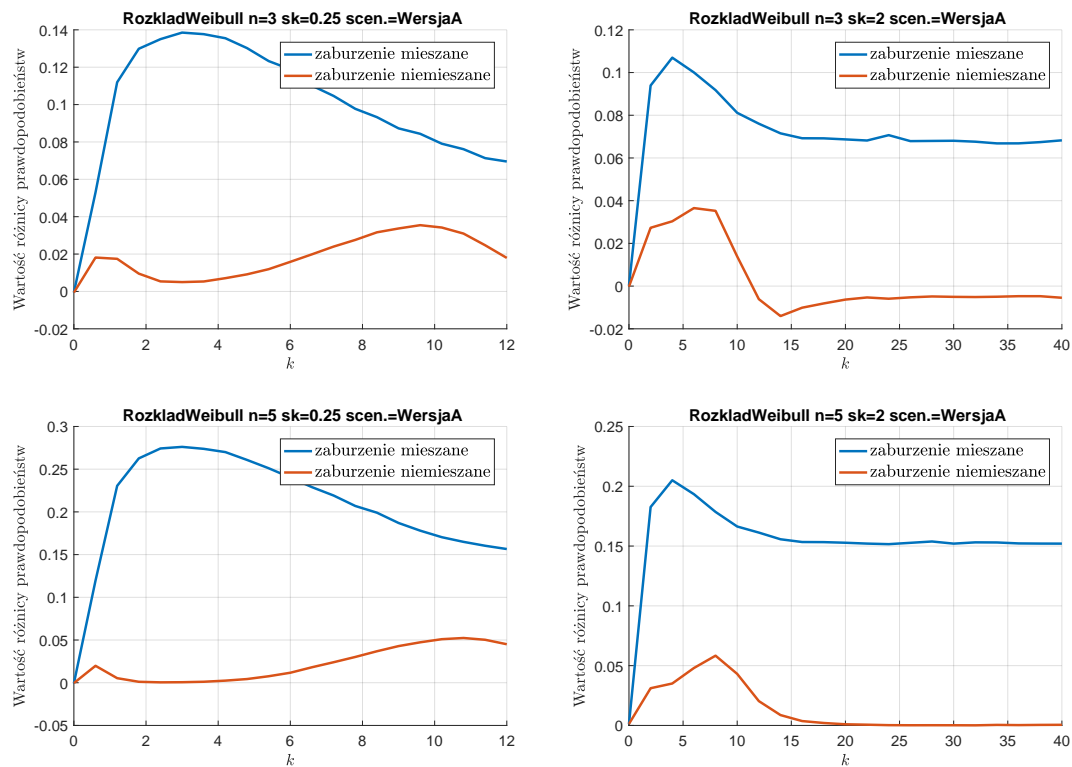
E.2.2. zaburzenie rozkładem - wersja A



Rys. E.12. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępów dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład gamma oraz zaburzenie rozkładem w wersji A (opracowanie własne)

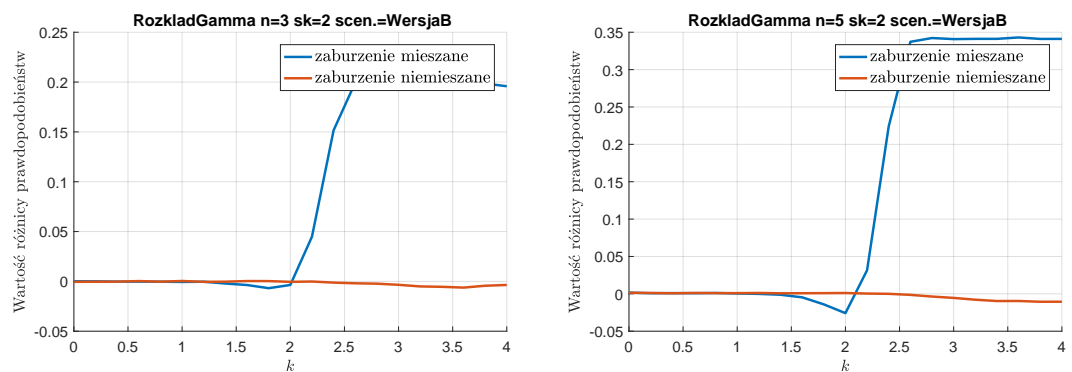


Rys. E.13. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępów dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład log-normalny oraz zaburzenie rozkładem w wersji A (opracowanie własne)

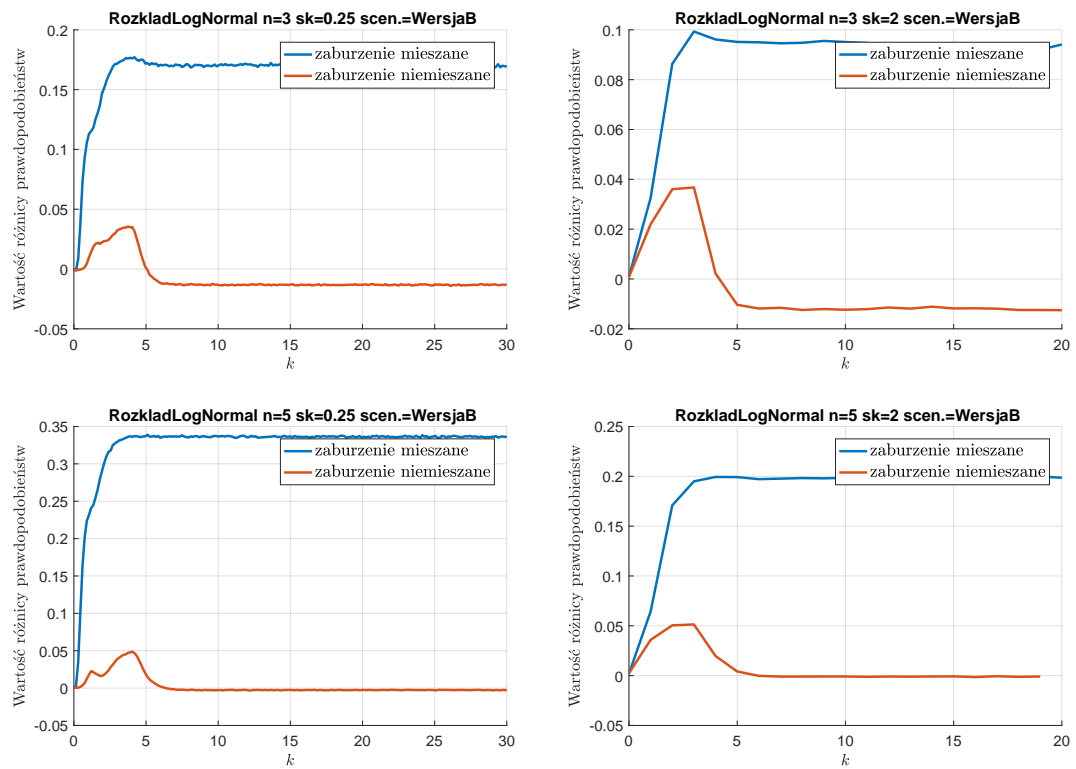


Rys. E.14. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępów dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład Weibulla oraz zaburzenie rozkładem w wersji A (opracowanie własne)

E.2.3. zaburzenie rozkładem - wersja B



Rys. E.15. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępów dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład gamma oraz zaburzenie rozkładem w wersji B (opracowanie własne)



Rys. E.16. Wykresy różnic prawdopodobieństwa wystąpienia sygnału na karcie rozstępów dla karty klasycznej i odpornościowej - rozkład log-normalny oraz zaburzenie rozkładem w wersji B (opracowanie własne)

F. Załącznik w wersji elektronicznej

Zawartość załącznika:

- Wybrane wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych - załącznik zawiera w sumie **32** pliki ze skoroszytami programu Excel, w których znajdują się zestawienia wyników opisanych w rozdz. 4.4.
- Algorytm metody statystycznego sterowania jakością w produkcji wieloasortymentowej (por. rys. 5.1).
- Dane i analizy związane ze studium przypadku przeprowadzonego w przedsiębiorstwie produkcyjnym opisanym w rozdz. 5.4. Zawartość obejmuje m.in. raporty z analizy *MSA*, dane pomiarowe, pozostałe wyniki analiz o których mowa w rozdz. 5.4, a także autorskie programy napisane w środowisku MATLAB.
- Rozprawa doktorska w wersji elektronicznej.