

**WYDZIAŁ INFORMATYKI**

**Paweł WŁOCH**



# **Rozprawa doktorska**

**Metoda analizy poziomu ryzyka powielarnych  
procesów biznesowych z wykorzystaniem  
algorytmów stochastycznych**

**Promotor:**

Dr hab. inż. Leonard Rozenberg, prof. ZUT

Szczecin, 2012

## Spis treści

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Słowniczek:                                                           | 3  |
| 1. Wstęp                                                              | 5  |
| 1.1. Tematyka pracy                                                   | 5  |
| 1.2. Cel i teza pracy                                                 | 9  |
| 1.3. Struktura pracy                                                  | 10 |
| 2. Przegląd metod identyfikacji i analizy ryzyka                      | 12 |
| 2.1. Ryzyko i jego znaczenie                                          | 12 |
| 2.2. Pojęcie, znaczenie i istota ryzyka projektów                     | 12 |
| 2.3. Metody analizy ryzyka                                            | 17 |
| 2.3.1. Reguła Pareto (20/80)                                          | 18 |
| 2.3.2. Drzewa zdarzeń; drzewa błędów                                  | 18 |
| 2.3.3. Diagram Ishikawy                                               | 21 |
| 2.3.4. Analiza wrażliwości                                            | 22 |
| 2.3.5. Metody Value at Risk; Earnings at Risk; Cash Flow at Risk      | 23 |
| 2.3.6. Rejestr ryzyk                                                  | 25 |
| 2.3.7. Macierz ryzyka                                                 | 26 |
| 2.4. Metodyka zarządzania ryzykiem                                    | 27 |
| 2.4.1. Project Management Body of Knowledge                           | 28 |
| 2.4.2. Prince 2                                                       | 29 |
| 2.4.3. Risk Control Self Assessment                                   | 31 |
| 2.4.4. Podsumowanie                                                   | 32 |
| 2.5. Informatyczne narzędzia do zarządzania ryzykiem                  | 33 |
| 2.5.1. Palisade @Risk                                                 | 33 |
| 2.5.2. SAS Book Runner                                                | 34 |
| 2.5.3. Aplikacja ERP (Enterprise Risk Management) autorstwa MKinsight | 34 |
| 2.5.4. Risky Project firmy Intaver                                    | 34 |
| 2.5.5. Risk Wizard                                                    | 35 |
| 2.5.6. Risk Decision                                                  | 35 |
| 2.5.7. Podsumowanie                                                   | 35 |
| 3. Przedsięwzięcie; ryzyko                                            | 36 |
| 3.1. Przedsięwzięcie                                                  | 36 |
| 3.1.1. Teoria mnogości                                                | 36 |
| 3.1.2. Logika                                                         | 37 |
| 3.1.3. Teoria grafów                                                  | 37 |
| 3.1.4. Algorytmy                                                      | 38 |
| 3.1.5. Harmonogram                                                    | 39 |
| 3.1.6. Proces optymalizowania harmonogramu                            | 40 |
| 3.1.6.1. Metoda ścieżki krytycznej CPM                                | 43 |
| 3.1.6.2. Metoda PERT                                                  | 44 |
| 3.1.7. Podsumowanie                                                   | 45 |
| 3.2. Ryzyko – definicja, reprezentacja                                | 45 |
| 3.2.1. Podsumowanie                                                   | 51 |
| 4. Opis algorytmu metody                                              | 52 |

|            |                                                                                                    |     |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1.       | Wstęp .....                                                                                        | 52  |
| 4.2.       | Opis metody .....                                                                                  | 53  |
| 4.2.1.     | Definiowanie danych wejściowych.....                                                               | 54  |
| 4.2.2.     | Symulacja stochastyczna .....                                                                      | 57  |
| 4.2.3.     | Optymalizacja obiektu metodą CPM.....                                                              | 59  |
| 4.2.4.     | Sortowanie .....                                                                                   | 59  |
| 4.2.4.1.   | Sortowanie w trzech wymiarach 3D.....                                                              | 61  |
| 4.2.4.2.   | Sortowanie w dwóch wymiarach 2D .....                                                              | 66  |
| 4.2.4.2.1. | Sortowanie 2D dla jednej zmiennej charakterystycznej – czas realizacji.....                        | 66  |
| 4.2.4.2.2. | Sortowanie 2D dla zmiennej wynikowej dwóch zmiennych charakterystycznych ...                       | 67  |
| 4.3.       | Algorytm metody analizy poziomu ryzyka powielarnych procesów biznesowych .....                     | 70  |
| 4.3.1.     | Algorytm sortowania w trzech wymiarach 3D .....                                                    | 70  |
| 4.3.2.     | Algorytm sortowania w dwóch wymiarach 2D .....                                                     | 74  |
| 4.3.2.1.   | Algorytm 2D dla sortowania według jednej zmiennej charakterystycznej .....                         | 74  |
| 4.3.2.2.   | Algorytm 2D dla sortowania według zmiennej wynikowej dwóch zmiennych charakterystycznych .....     | 77  |
| 4.4.       | Interpretacja wyników .....                                                                        | 82  |
| 4.5.       | Porównanie metod.....                                                                              | 86  |
| 5.         | Badania .....                                                                                      | 92  |
| 5.1.       | Plan badań .....                                                                                   | 92  |
| 5.2.       | Baza badawcza .....                                                                                | 93  |
| 5.3.       | Badania w trzech wymiarach 3D .....                                                                | 101 |
| 5.3.1.     | Symulacja.....                                                                                     | 101 |
| 5.3.2.     | Sortowanie .....                                                                                   | 106 |
| 5.3.3.     | Interpretacja wyników metody .....                                                                 | 114 |
| 5.3.4.     | Interpretacje wyników analizy ryzyka .....                                                         | 116 |
| 5.4.       | Badania w dwóch wymiarach 2D .....                                                                 | 117 |
| 5.4.1.     | Badanie 2D z sortowaniem na podstawie jednej zmiennej charakterystycznej .....                     | 117 |
| 5.4.1.1.   | Symulacja.....                                                                                     | 117 |
| 5.4.1.2.   | Sortowanie .....                                                                                   | 122 |
| 5.4.1.3.   | Interpretacja wyników metody .....                                                                 | 126 |
| 5.4.1.4.   | Interpretacja wyników analizy ryzyka .....                                                         | 131 |
| 5.4.2.     | Badanie 2D z sortowaniem na podstawie zmiennej wynikowej dwóch zmiennych charakterystycznych ..... | 132 |
| 5.4.2.1.   | Symulacja.....                                                                                     | 132 |
| 5.4.2.2.   | Sortowanie .....                                                                                   | 135 |
| 5.4.2.3.   | Interpretacja wyników metody .....                                                                 | 140 |
| 5.4.2.4.   | Interpretacja wyników analizy ryzyka .....                                                         | 146 |
|            | Wnioski .....                                                                                      | 148 |
|            | Literatura: .....                                                                                  | 150 |

## **Słowniczek** (najważniejszych pojęć):

- **Algorytm** - skończony ciąg jasno zdefiniowanych czynności, koniecznych do wykonania pewnego rodzaju zadań.
- **Analiza Ryzyka** – zbiór czynności polegających na identyfikacji i pomiarze ryzyka.
- **Czynność** – dowolnie wyodrębniona część przedsięwzięcia charakteryzująca się czasem trwania, ewentualnie drugą zmienną charakterystyczną (np. przypisane nakłady finansowe), oraz informacją na temat poprzedzających ją innych czynności.
- **Diagram Gantt’a** - graf stosowany głównie w zarządzaniu projektami. Uwzględnia się w nim podział projektu na poszczególne zadania, oraz rozplanowanie ich w czasie.
- **Krzywa ryzyka** – linia wyznaczona w układzie współrzędnych dwu- lub trójwymiarowym reprezentująca zmianę skutku dla realizowanego przedsięwzięcia, mierzonego w postaci (jednej lub dwóch) zmiennych charakterystycznych w miarę zmniejszania się prawdopodobieństwa zaistnienia wyznaczonego skutku.
- **Metoda analizy ryzyka** – zbiór czynności określonych w celu rozwiązania problemu analizy ryzyk. Zaliczyć do nich można diagram Ishikawy, VaR, analiza wrażliwości i inne.
- **Metoda NPV (Net Present Value)** – należy do kategorii dynamicznych metod oceny efektywności ekonomicznej inwestycji rzeczowej i jest oparta na analizie zdyskontowanych przepływów pieniężnych przy zadanej stopie dyskonta.
- **Metodyki zarządzania ryzykiem** – ustandaryzowane podejście do rozwiązywania problemów z zakresu zarządzania ryzykiem. Zaliczyć do nich można PRINCE2, PMBoK i inne.
- **Przedsięwzięcie (projekt, proces)** – zorganizowane działanie ludzkie zmierzające do osiągnięcia określonego celu, zawarte w skończonym przedziale czasu, z wyróżnionym początkiem, końcem oraz zrealizowane przez skończoną liczbę osób, środków technicznych, energii, materiałów, środków finansowych i informacji. Podstawowymi elementami przedsięwzięcia są zdarzenia i czynności.
- **Rejestr realizacji** – tabela pomiarowa reprezentująca wyniki realizacji danej czynności w odniesieniu do cech charakterystycznych tej czynności (czas realizacji, druga zmienna charakterystyczna). Dodatkowo w rejestrze realizacji uwzględnia się informację, czy dana czynność została zakończona sukcesem czy porażką.
- **Skutek** – stan rzeczy będący efektem, konsekwencją podjętych działań, zdarzenia, które wystąpiło.

- **Sortowanie** – czynność polegająca na uporządkowaniu zbioru danych względem pewnych cech charakterystycznych każdego elementu tego zbioru.
- **Wskaźnik NPV (Net Present Value)** - stanowi różnicę pomiędzy zdyskontowanymi przepływami pieniężnymi a nakładami początkowymi i jest dany wzorem.
- **Zarządzanie ryzykiem** – zbiór procedur określonych w celu rozpoznania ryzyk, planowania działań zapobiegawczych, ich wykonywania, oraz monitorowania w ramach realizowanego przedsięwzięcia.
- **Zmienna charakterystyczna** – parametr opisujący czynność. Może oznaczać czas realizacji, nakłady finansowe, wielkość populacji, wielkość plonów itp.

# 1. Wstęp

Planowanie oraz realizacja projektów, podobnie jak prowadzenie każdej działalności narażone jest na ryzyko. Ryzyko to jest tym większe, im mniejsza jest możliwość przewidzenia zjawisk, oraz zidentyfikowane są w sposób niekompletny informacje towarzyszące procesowi podejmowania decyzji dotyczących działalności.

I tak, już 3200 lat p.n.e. plemię Asipu, zamieszkujące tereny doliny Tygrysu i Eufratu (obecnie w Iraku) służyło radą innym plemionom w podejmowaniu decyzji obarczonych dużym ryzykiem lub niepewnością. Praktyka Asipu była nietypowa dla tego okresu historii, ponieważ nie twierdzili wcale, że potrafią przewidywać przyszłość, ale porady swoje budowali na podstawie powtarzalnego, spójnego procesu identyfikacji ważnych aspektów problemu, biorąc pod uwagę alternatywy i gromadząc dane na temat powtarzalnych zdarzeń, które miały już miejsce i na ich podstawie właśnie sugerowali rozwiązania<sup>1</sup>.

Pod koniec średniowiecza i później, w dobie renesansu, miały miejsce zapożyczenia leksykalne, a działo się to w okresie, gdy ludzie odważali się odkrywać świat. Znaczenie ryzyka było wtedy metaforą „*trudności, które należy ominąć na morzu*”<sup>2</sup>.

## 1.1. Tematyka pracy

Źródła definicji „ryzyko” wywodzą się z historii starożytnej. W starożytnej Grecji pojęcie to oznaczało wyrwany korzeń, oderwany od stałego lądu kamień i później w łacinie było używane na określenie klifu. Pojawiające się zarówno w łacinie klasycznej, jak i w potocznej *resicum*, *risicum*, *riscus*, to źródła wyrazów *cliff*, *récif*, *Felsklippe*, a dalej włoskiego *risico*, *risco*, *rischio*, hiszpańskiego *riesgo* i francuskiego *risque*<sup>3</sup>.

Stosowanie oceny ryzyka i zarządzania nim jest teraz rozwijane w większości dziedzin wiedzy, czego wynikiem jest niestety brak zupełnej i niebudzącej wątpliwości teorii ryzyka<sup>4</sup>.

W 1901 roku A.H. Willet stwierdził, że ryzyko jest zjawiskiem obiektywnym, związanym pośrednio z niepewnością. Definicja ta nosi cechy tautologii i okazuje się być dzisiaj ma-

---

<sup>1</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Asipu>

<sup>2</sup> [http://www.dnv.pl/focus/risk\\_management/more\\_information/risk\\_origin/](http://www.dnv.pl/focus/risk_management/more_information/risk_origin/)

<sup>3</sup> [http://www.dnv.pl/focus/risk\\_management/more\\_information/risk\\_origin/](http://www.dnv.pl/focus/risk_management/more_information/risk_origin/)

<sup>4</sup> <http://pl.wikipedia.org/wiki/Ryzyko>

ło precyzyjna, ponieważ niepewność charakteryzuje się nie tylko wieloznacznością, ale także jest wielkością trudno-definiowalną. F.H. Knight opublikował swoją koncepcję niepewności w roku 1921, dzieląc ją na mierzalną i niemierzalną. Pierwszą nazwał ryzykiem, a drugą niepewnością *sensu stricto*. Ten podział jest do dzisiaj traktowany, jako właściwy.

W 1966 roku w Stanach Zjednoczonych opublikowano dwie kolejne definicje ryzyka ubezpieczeniowego. I tak<sup>5</sup>:

- ryzyko określone jako niepewność co do nastąpienia określonego zdarzenia w warunkach istnienia dwóch lub większej liczby możliwości,
- w drugiej definicji przez ryzyko ubezpieczeniowe rozumiano ubezpieczoną osobę lub przedmiot.

Powyższe definicje stały się przedmiotem dyskusji, na bazie której zidentyfikowano cztery zasadnicze konkluzje odnoszące się do natury ryzyka<sup>6</sup>:

1. ryzyko nie jest zjawiskiem jednorodnym, przez co niemożliwe jest podanie jednej uniwersalnej i jednoznacznej definicji ryzyka,
2. ryzyko występuje w co najmniej dwóch postaciach – obiektywnej i subiektywnej,
3. ryzyko może być przedmiotem badań, przy różnym do niego podejściu, jako niebezpieczeństwo, hazard, niepewność, prawdopodobieństwo wystąpienia określonego zjawiska lub zespołu zjawisk,
4. ryzyko jest wreszcie czymś zmiennym i okresowym, czyli jest raczej procesem zmiennym niż stabilnym stanem otoczenia.

Motywacją do przeprowadzenia analizy ryzyka są przede wszystkim skutki, jakie mogą wystąpić przy realizacji ryzykownego, a więc każdego projektu czy przedsięwzięcia. Przedsięwzięciem jest każda czynność, czy zadanie, realizacji jakiego można się podjąć. W rozwiniętym społeczeństwie na wyróżnienie zasługuje ogólnie rozumiana działalność biznesowa, bo funkcjonowanie w tej przestrzeni polega na ciągłej realizacji kolejnych przedsięwzięć, składających się na proces realizacji projektów. Odpowiedzialność osób je realizujących wymaga z kolei poszukiwanie coraz lepszych metod zapewniających nie tyle lepsze wyniki realizacji tych przedsięwzięć, ale przede wszystkim możliwie najlepszą przewidywalność skut-

---

<sup>5</sup> Praca zbiorowa pod red. Wandy Ronki-Chmielowiec, 2002, s.134

<sup>6</sup> <http://mfiles.pl/pl/index.php/Ryzyko>

ków działań. Dlatego tak ważną czynnością po zdefiniowaniu przedsięwzięcia, jest analiza możliwych konsekwencji realizacji, jako odchyień wyników względem pewnego założonego wzorca.

Znane i stosowane obecnie metody analizy ryzyka charakteryzują się sporymi niedoskonałościami. Brak możliwości zdefiniowania kompletnego rejestru ryzyk, trudności interpretacyjne wyników prognoz, brak możliwości uwzględnienia efektów łącznego zaistnienia wielu ryzyk, brak możliwości uwzględnienia działań przestępczych. Są to tylko przykłady wad, jakie wymienia się obecnie pod adresem znanych i stosowanych powszechnie metod analizy ryzyka.

Bezsporne jest też to, że zarówno definicja przedsięwzięcia, jak i informacje odnoszące się do analizy ryzyka określonego przedsięwzięcia stanowią bardzo duży zbiór danych i informacji, które trudno analizować bez użycia algorytmów, metod i narzędzi informatycznych.

Profesor S. Węgrzyn z Instytutu Informatyki Politechniki Śląskiej w dyskusji panelowej na temat perspektyw informatyzacji nauki polskiej stwierdził, że<sup>7</sup>: „...*informatyka jest dyscypliną naukową zajmującą się badaniem praw rządzących procesami kodowania, zapisywania, przetwarzania i przesyłania informacji*”. Jednocześnie zauważył, że: „...*ta dyscyplina dała podstawy do powstania i rozwoju przemysłu informatycznego, zajmującego się wytwarzaniem dla potrzeb różnych użytkowników komputerów i systemów komputerowych wraz z ich oprogramowaniem*”.

W świetle takiej konstatacji, zasadnym wydaje się postawienie problemu sformułowania modelu wnioskującego oraz sformułowania metody analizy ryzyka, dzięki którym będzie można zapisać i jednocześnie zakodować dane (tworząc spójne środowisko informatyczne), następnie przetworzyć te dane w celu wygenerowania informacji wnioskujących, będących użytecznym wynikiem analizy. I dalej, ponieważ możliwe jest opracowanie takiej metody, to wymaga ona odpowiednich zasobów sprzętowych, systemów komputerowych, jak również oprogramowania do umożliwienia stosowania tejże metody.

Mnogość rozważanych struktur modeli wnioskujących o ryzyku wynika z chęci znalezienia systemu najefektywniejszego, to znaczy takiego, który charakteryzowałby się najlepszą jakością przy jednoczesnym zachowaniu łatwości odwzorowania oraz dobrej wydajności, czyli stosunkowo małej złożoności obliczeniowej. Jakość systemu mierzy się zwykle poprzez

---

<sup>7</sup> [http://www.metal.agh.edu.pl/~banas/EI/EI\\_W11\\_Sys\\_Inform.pdf](http://www.metal.agh.edu.pl/~banas/EI/EI_W11_Sys_Inform.pdf)

błąd (średni czy średniokwadratowy) pomiędzy odpowiedzią systemu a znaną odpowiedzią układu na zadane mu modelowe wymuszenie. Złożoność obliczeniowa systemu zależy zarówno od wielkości zbioru informacji stanowiących niezbędne dane wejściowe, jak również od złożoności procesów obliczeniowych identyfikujących algorytm. Złożoność obliczeniowa przekłada się zarówno na czas wykonania procesu, który zazwyczaj jest odpowiednikiem ilości operacji podstawowych, jak również na rozmiar pamięci niezbędnej do wykorzystania przy zastosowaniu systemu.

Ekspert, na podstawie swojego doświadczenia, formułuje reguły, które stanowią bazę wiedzy systemu. Przedstawione w pracy podejście polega na zalgorytmizowaniu, zautomatyzowaniu i obiektywizacji procesu obliczeniowego poprzez ustalenie parametrów systemu na podstawie istniejących danych numerycznych. W celu przebadania hipotezy badawczej opracowano wiele różniących się istotnie między sobą algorytmów, których skuteczność często zależna jest od zastosowanej architektury systemu. Architektura ta uzależniona jest z kolei od dziedziny, w jakiej następuje jej zastosowanie. Przykładowe dziedziny zastosowania to: przetwarzanie rozproszone, systemy czasu rzeczywistego, graficzne interfejsy użytkownika, systemy przetwarzania dużych rozmiarowo danych, systemy przetwarzania transakcji, systemy sterowane zdarzeniami, itd.<sup>8</sup>

Należy zwrócić uwagę na problem jakości systemu, który sprowadza zadanie doboru parametrów tego systemu do zagadnienia optymalizacji globalnej pewnej funkcji wielowymiarowej, przy czym charakter i postać optymalizowanej funkcji zależy od architektury systemu oraz od modelowanego zjawiska. Do rozwiązania tak postawionego zadania stosuje się szereg znanych metod, jak np. analityczne metody gradientowe, których praktyczne zastosowanie ogranicza jednak często zbyt duża liczba wymiarów, powodująca dużą złożoność obliczeniową, czy też brak różniczkowalności optymalizowanej funkcji (funkcja występuje w postaci dyskretnej).

Prezentowana rozprawa przedstawia nową metodę analizy ryzyka powielarnych procesów biznesowych z wykorzystaniem algorytmów stochastycznych, która to metoda została opracowana w ramach prac nad rozprawą. W odróżnieniu od zazwyczaj stosowanych podejść, metoda ta pracuje wieloetapowo, przy bezpośrednim wykorzystaniu „obiektywnego” kryterium, zaś wektor parametrów, w odróżnieniu od większości stosowanych metod, obejmuje

---

<sup>8</sup> [http://www.metal.agh.edu.pl/~banas/EI/EI\\_W11\\_Sys\\_Inform.pdf](http://www.metal.agh.edu.pl/~banas/EI/EI_W11_Sys_Inform.pdf)

wszystkie szukane parametry systemu. Podejście takie, w połączeniu z zaproponowanym algorytmem obliczeniowym, pozwala na uzyskanie wyników przekraczających swoją jakością dotychczas osiągnięte przez proponowane w literaturze rozwiązania, przy jednoczesnej redukcji liczby, zwykle kłopotliwych do ustalenia, parametrów metody. Jedną z najważniejszych zalet proponowanej metody jest fakt, że jest to rozwiązanie z grupy metod ilościowych.

W porównaniu z innymi metodami, z powodzeniem należy wskazać także na znaczną łatwość interpretacyjną wyników, możliwość ich dalszego przetwarzania, czy powtarzalność przebiegów obliczeniowych. Odnosząc się natomiast do złożoności informacji wejściowych, z powodzeniem można wskazać, że na tle innych metod trudność w definiowaniu danych wejściowych dla proponowanej metody jest znacząco niższa.

## 1.2. Cel i teza pracy

Tezę poniżej prezentowanej rozprawy sformułowano następująco:

*Poprzez klasyfikację różnych ryzyk w jednym, spójnym informatycznym środowisku symulacyjnym, oraz zastosowanie zaproponowanej metody modelowania stochastycznego, możliwe jest uzyskanie ilościowej miary ryzyk w kombinacjach łączonych. Powyższe możliwe jest bez konieczności wykonania szczegółowej analizy poszczególnych rodzajów ryzyk i w efekcie pozwala uzyskać liczbowy wynik analizowanego przedsięwzięcia przy zadanym poziomie prawdopodobieństwa wystąpienia ryzyka.*

Praca stanowi więc – mówiąc inaczej – próbę stworzenia informatycznego modelu i algorytmu do analizy cyklu życia i występujących w cyklu tym ryzyk. Problem ograniczono do analizy powielarnych procesów biznesowych z wykorzystaniem algorytmów stochastycznych. Praca jest także propozycją integracji danych, które następnie zostają użyte w informatycznym systemie wspomagania decyzji odnoszących się do zarządzania ryzykiem projektów powielarnych.

Naukowym i poznawczym celem rozprawy jest opracowanie wielowymiarowej, uniwersalnej metody oceny ryzyk projektów, umożliwiającej prognozowanie wartości wybranych zmiennych charakterystycznych przedsięwzięcia oraz prawdopodobieństwa ich osiągnięcia. Wielowymiarowość metody umożliwia przeprowadzenie analizy ryzyka w odniesieniu do więcej niż jednej zmiennej charakterystycznej. Metoda ta stosuje również prostszą, niż w dotychczas stosowanych metodach, technikę definicji danych opisujących obiekt, który jest

przedmiotem badań. Wyniki stosowanej metody charakteryzują się dobrą reprezentatywnością oraz łatwością interpretacji, w porównaniu do dotychczas stosowanych podejść.

Jednocześnie, aby dowieść słuszności tak postawionej tezy, sprecyzowano następujące cele cząstkowe:

1. Opracowanie sposobu organizacji danych dla analiz eksperckich na podstawie pomiarów wskaźników rzeczywistych procesów powielarnych,
2. Opracowanie oryginalnego algorytmu obróbki danych, dedykowanego rozwiązaniu problemów wielowymiarowych do zastosowań praktycznych,
3. Weryfikacja zaproponowanego algorytmu na funkcjach testowych, oraz implementacja metody w środowisku danych rzeczywistych,
4. Przeprowadzenie badań z wykorzystaniem danych rzeczywistych.

Zastosowanie proponowanej metody pozwala na uzyskanie precyzyjniejszych (a przede wszystkim spójnych) miar ryzyka rzeczywistych powielarnych operacji technicznych w praktyce.

### 1.3. Struktura pracy

Treść prezentowanej rozprawy zawarto w sześciu rozdziałach. Pierwszy rozdział stanowi wprowadzenie do tematyki rozprawy, w którym przedstawiono hipotezę pracy oraz jej cele. W drugim rozdziale dokonano analizy dotychczasowego stanu wiedzy w sferze przedmiotu badań. W rozdziale tym przedstawiono także przegląd definicji ryzyk oraz ich klasyfikację. Następnie przedstawiono znane i stosowane algorytmy i metody analizy ryzyka oraz metodyki do zarządzania ryzykiem. Metodękę pojmuję się tu jako zbiór zasad dotyczących sposobów wykonywania jakiejś pracy lub trybu postępowania prowadzącego do określonego celu. Dla odróżnienia metodę należy pojmować jako:

- świadomie i konsekwentnie stosowany sposób postępowania dla osiągnięcia określonego celu; zespół celowych czynności i środków,
- sposób (naukowego) badania rzeczy, pojęć i zjawisk; ogół reguł stosowanych przy badaniu rzeczywistości.

Rozdział trzeci poświęcony jest podstawom teoretycznym dotyczącym przedsięwzięcia i identyfikacji ryzyka. W części tej omówiono zasady identyfikacji oraz definiowania ryzyk związanych z przedsięwzięciem.

W czwartym rozdziale przedstawiono szczegółowy opis proponowanej metody. Określono kluczowe kroki metody, które następnie zostały szczegółowo omówione. Są to: definicja

obiekty badań, symulacja stochastyczna, optymalizacja metodą CPM, sortowanie rozwiązań etc. W rozdziale tym przedstawione zostały również trzy możliwe algorytmy, reprezentujące poszczególne podejścia do zastosowania proponowanej metody. Następnie przedstawiono propozycję parametrów, wykorzystywanych na etapie prezentowania wniosków aplikacyjnych. W końcowej części rozdziału pokazane jest porównanie proponowanej metody z innymi, stosowanymi obecnie metodami analizy ryzyka.

Piąty rozdział poświęcony jest prezentacji wyników badań zastosowania omawianej metody. Przedmiotem badań było przedsięwzięcie, polegające na realizacji budowy masztu meteorologicznego do pomiaru parametrów wietrzności obszaru. W rozdziale tym zostały przedstawione wyniki stosowania proponowanej metody, w podziale na trzy możliwe podejścia do rozwiązania problemu. W celu oceny funkcjonalności metody na podstawie uzyskanych wyników symulacji przeprowadzono analizy statystyczne.

Rozdział szósty to zakończenie pracy, w którym przedstawiono wnioski z dysertacji i refleksje dotyczące możliwości kontynuowania badań.

## 2. Przegląd metod identyfikacji i analizy ryzyka

Realizacja każdego procesu, w tym także procesu biznesowego, jest związana z występowaniem ryzyk. Prawidłową jest też teza, że ryzyko w realizacji procesów oznacza możliwość (prawdopodobieństwo wystąpienia) zmiany założonego scenariusza realizacji procesu, jako skutek wystąpienia wcześniej nie uwzględnionych zdarzeń.

### 2.1. Ryzyko i jego znaczenie

Jeszcze krócej ryzyko można zdefiniować jako kombinację prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia oraz jego skutków (Zalecenie ISO/IEC nr 73)<sup>9</sup>. Daje się wyróżnić dwie koncepcje podejścia do ryzyka<sup>10</sup>:

1. Negatywne rozumienie ryzyka, a więc łączenie pojęcia ryzyka z możliwością wystąpienia niepożądanego zjawiska, np. wystąpienia straty,
2. Neutralny sens ryzyka, przez co rozumie się ryzyko, jako zrealizowanie dochodu różniącego się (w górę bądź w dół) od dochodu oczekiwanego.

### 2.2. Pojęcie, znaczenie i istota ryzyka projektów

Interpretacja pojęcia „ryzyko” jest uzależniona od dyscypliny, jaką stosuje się przy analizie ryzyka. Za najbardziej rygorystyczne podejście do pojęcia ryzyka należy uznać takie, w którym każde odstępstwo, nawet takie, które wydaje się być korzystne, uznaje się za skutek negatywny, bo pomniejsza to przewidywalność procesu.

W praktyce funkcjonuje bardzo wiele możliwości podziałów ryzyk. Poniżej zaprezentowano najważniejsze z nich. Są to podziały<sup>11</sup>:

- Ze względu na koszty straty:
  - Finansowe – skutek prezentowany w wartościach pieniężnych,
  - Niefinansowe – skutek prezentowany w innej postaci niż wartość pieniężna.
- Ze względu na trwałość ryzyka i jego zmienność:
  - Statyczne – o trwałym skutku,
  - Dynamiczne – o skutku zmieniającym się w czasie.
- Ze względu na skalę zagrożenia:
  - Fundamentalne – o znaczeniu globalnym, w rozumieniu przedsięwzięcia,

---

<sup>9</sup> [http://www.theirm.org/publications/documents/rm\\_standard\\_polish\\_15\\_11\\_04.pdf](http://www.theirm.org/publications/documents/rm_standard_polish_15_11_04.pdf)

<sup>10</sup> <http://kfp.ue.poznan.pl/mizerka1/materialy/Ryzyko/Ryzyko-dzienni/Identyfikacja%20i%20pomiar%20ryzyka-dzienni.pdf>

<sup>11</sup> <http://mikro.univ.szczecin.pl/upload/plikipr/6/w1.pdf>

- Partykularne – o znaczeniu lokalnym, w rozumieniu przedsięwzięcia.
- Ze względu na skutek ryzyka:
  - Czyste – jednoznaczne,
  - Spekulatywne – niejednoznaczne w skutkach.
- Ze względu na źródła niebezpieczeństwa:
  - Przyrodnicze – wywodzące się z otoczenia przyrodniczego,
  - Społeczne – wywodzące się z grup społecznych.
- Ze względu na przedmiot zagrożenia:
  - Osobowe – odnoszące się do osób,
  - Majątkowe – odnoszące się do mienia.
- Według typów działalności gospodarczej:
  - Produkcyjne – techniczne, postępu, innowacyjne, starzenia się,
  - Handlowe – operacyjne i finansowe,
  - Usługowe – operacyjne i finansowe.
- Ze względu na prowadzoną działalność:
  - Systematyczne – powtarzające się cyklicznie,
  - Niesystematyczne – występujące chaotycznie.

Można uznać, że zaprezentowane powyżej sposoby podziału świadczą o tym, że analiza ryzyka to zadanie z obszaru klasyfikacji zjawisk (obiektów), związane z zagadnieniami z zakresu diagnostyki systemów oraz identyfikacji stanu obiektów.

Obecnie bardzo dynamicznie wdrażane jest w wielu podmiotach, organizacjach i instytucjach, z szerokim zastosowaniem narzędzi informatycznych, tzw. zarządzanie ryzykiem (ang. *risk management*). Celem zarządzania ryzykiem jest identyfikacja potencjalnych zdarzeń, które mogą mieć wpływ na jednostkę (realizację jej celów), utrzymanie ryzyka w ustalonych granicach.<sup>12</sup>

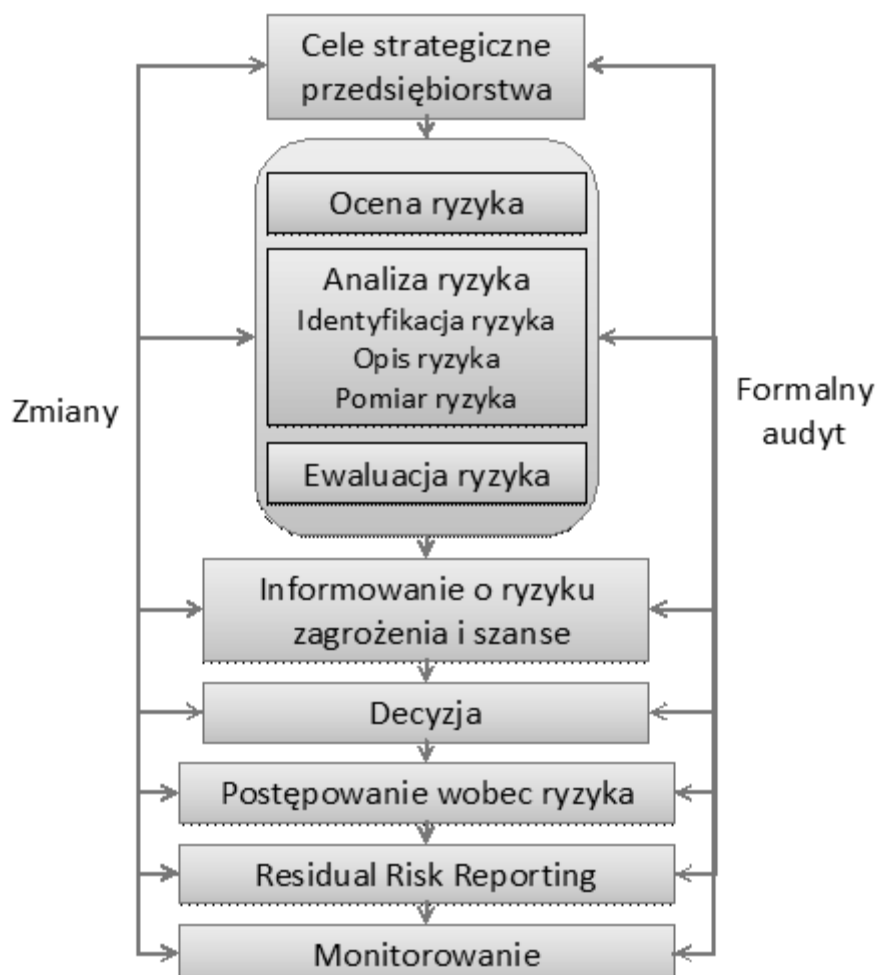
Przedsięwzięcie jako obiekt analizy ryzyka, jest zjawiskiem dynamicznym, tzn. trwającym w czasie, otwartym na zdarzenia występujące w różnych momentach. Wynikiem tego zarządzania ryzykiem ma charakter procesu powtarzalnego, którego skuteczność wzrasta wraz ze wzrostem częstości powtarzania działań. W literaturze spotkać można różne podejścia do procesu zarządzania ryzykiem, które różnią się szczegółami w definiowaniu poszczególnych

---

<sup>12</sup>

[http://www.mf.gov.pl/files/audyt\\_wewn\\_i\\_kontrola\\_zarz/kontrola\\_zarzadcza\\_w\\_sektorze\\_publicznym/metodyka\\_i\\_dobre\\_praktyki/metodyka/zarzadzanie\\_ryzykiem.pdf](http://www.mf.gov.pl/files/audyt_wewn_i_kontrola_zarz/kontrola_zarzadcza_w_sektorze_publicznym/metodyka_i_dobre_praktyki/metodyka/zarzadzanie_ryzykiem.pdf)

procedur, ale należy stwierdzić, że są ze sobą zbieżne. Na poniższym rysunku przedstawiono diagram typowego procesu zarządzania ryzykiem opracowany przez największe brytyjskie organizacje branżowe, w tym The Institute of Risk Management – IRM, The Association of Insurance and Risk Managers – AIRMIC, ALARM The National Forum for Risk Management In the Public Sector.



**Rysunek 1.** Diagram procesu zarządzania ryzykiem opracowany przez Federation of European Risk Management Associations – FERMA.

**Źródło:** [http://www.theirm.org/publications/documents/rm\\_standard\\_polish\\_15\\_11\\_04.pdf](http://www.theirm.org/publications/documents/rm_standard_polish_15_11_04.pdf), data pobrania: 10.2011r.

Innym przykładem diagramu prezentującego proces zarządzania ryzykiem może być opracowanie sporządzone przez Departament Audytu Sektora Finansów Publicznych Ministerstwa Finansów, przedstawiony poniżej.



**Rysunek 2.** Diagram procesu zarządzania ryzykiem opracowany przez Departament Audytu Sektora Finansów Publicznych Ministerstwa Finansów.

**Źródło:**

[http://www.mf.gov.pl/files/audyt\\_wewn\\_i\\_kontrola\\_zarz/kontrola\\_zarzadcza\\_w\\_sektorze\\_publicznym/metodyka\\_i\\_dobre\\_praktyki/metodyka/zarzadzanie\\_ryzykiem.pdf](http://www.mf.gov.pl/files/audyt_wewn_i_kontrola_zarz/kontrola_zarzadcza_w_sektorze_publicznym/metodyka_i_dobre_praktyki/metodyka/zarzadzanie_ryzykiem.pdf), data pobrania: 10.2011 r.

Ponieważ istota zarządzania ryzykiem stanowi, w następstwie analizy, podejmowanie stosownych działań, definiuje się cztery rodzaje działań<sup>13</sup>:

1. unikanie ryzyka – wdrażanie działań mających na celu ominięcie tych czynności, które wiążą się z ryzykami,
2. redukcja ryzyka – wdrażanie działań ukierunkowanych bezpośrednio na ryzyka, mających na celu ich minimalizowanie,
3. zatrzymanie ryzyka – rezygnacja z realizacji zadań związanych z ryzykiem,
4. transfer ryzyka – polecenie realizacji działań związanych z ryzykiem przez inny podmiot /osobę, w wyniku czego narażenie na ryzyko przenoszone jest na nowego wykonawcę.

<sup>13</sup> Tarczyński W. , Mosiejewicz M.: „Zarządzanie ryzykiem”, PWE, Warszawa 2001, s. 7 – 35

Oba powyższe przykłady wspólnie wskazują, że kluczowym elementem zarządzania ryzykiem jest jego analiza, w następstwie której podejmowane są decyzje odnośnie dalszego postępowania. W poniższej tabeli przedstawiono dwa podejścia do analizy ryzyka:

| Lp. | <b>Federation of European Risk Management Associations</b> | <b>Departament Audytu Sektora Finansów Publicznych Ministerstwa Finansów</b> |
|-----|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Identyfikacja ryzyka                                       | Identyfikacja ryzyka                                                         |
| 2   | Opis ryzyka                                                | Ocena ryzyka                                                                 |
| 3   | Pomiar ryzyka                                              | Posortowanie                                                                 |

**Tabela 1.** Algorytm opisowy analizy ryzyka stosowany przez przykładowe instytucje

**Źródło:** Opracowanie własne

Zauważmy, że w obu przypadkach wspólnym działaniem jest identyfikacja ryzyka, a różnice pojawiają się na etapie oceny i pomiaru ryzyka, czyli jego wartościowania. Wynika to z wielości metod analizy ryzyka, które można klasyfikować jako metody jakościowe i ilościowe.

Do podstawowych wad analizy ryzyka realizowanej dotychczasowymi metodami należy zaliczyć<sup>14</sup>:

- Brak danych do obliczania prawdopodobieństwa występowania ryzyk elementarnych; bardzo często mamy trudności w określeniu prawdopodobieństwa poszczególnych ryzyk zidentyfikowanych w drodze analizy. Ze względu na mnogość ryzyk, istnieje bardzo duże prawdopodobieństwo, że dla niewielkiej grupy pozycji, niemożliwe jest określenie prawdopodobieństwa ich wystąpienia (brak niezbędnych do tego informacji). Powoduje to, że zbiór ryzyk albo nie jest w pełni zdefiniowany (część ryzyk nie posiada informacji o prawdopodobieństwie wystąpienia), albo poprzez wykluczenie tych ryzyk, zbiór jest niekompletny.
- Niemożliwość określenia kompletnego zbioru ryzyk; problemem jest już samo zdefiniowanie kompletnego zbioru ryzyk, z jakimi wiąże się dane przedsięwzięcie czy zdarzenie. Wynika to także z faktu, że trudnym zadaniem jest przewidywanie zagrożeń przyszłych, szczególnie tych, które jeszcze nie wystąpiły w praktyce,
- Brak możliwości badania skutków o wspólnej przyczynie; dotychczas znane metody nie umożliwiają badania skutków wywodzących się ze wspólnej przyczyny. Przykładem omawianej sytuacji może być zjawisko powodzi, które w skutkach może przy-

<sup>14</sup> [pjwstk.dyski.one.pl:81/public/ftp.pjwstk.edu.pl/Analiza\\_Ryzyka.doc](http://pjwstk.dyski.one.pl:81/public/ftp.pjwstk.edu.pl/Analiza_Ryzyka.doc)

nieść problemy epidemiologiczne, straty majątkowe, utrudnienia w codziennym funkcjonowaniu (opóźnienia, wzrost kosztów) itp.

- Brak analizy ryzyk wtórnych; czyli takich zagrożeń, które mogą powstać w wyniku wdrożenia działań zapobiegawczych przed ryzykiem pierwotnym. Oznacza to sytuację, w której dla zdefiniowanego ryzyka podjęto działania zapobiegawcze, które to same są narażone na ryzyko (wtórne),
- Brak uwzględniania ryzyka wynikającego ze świadomego działania (np. dywersja); w realizowanych dotychczas analizach nie uwzględnia się zagrożenia spowodowanego świadomym działaniem, uznając, że takie postawienie sprawy jest wynikiem założenia o profesjonalizmie ludzi,
- Trudności w interpretacji wyników; różnorodność formy wyników metod analizy ryzyka, skutkuje dużą niejednoznacznością w ich interpretacji, przez co trudno mówić o uniwersalnych miarach ryzyk. W efekcie wyniki analiz ryzyka są niestabilne, i w efekcie mało wiarygodne.

Do zalet stosowanych obecnie metod analizy ryzyka można zaliczyć<sup>15</sup>:

- Możliwość spójnych prezentacji danych i ocen ekspertów z różnych obszarów; dzięki uniwersalnemu charakterowi parametrów ryzyka możliwe jest definiowanie ryzyk wywodzących się z różnych obszarów w sposób jednolity, co umożliwia również porównywanie tych ryzyk. Oznacza to, że na definicję ryzyka nie ma wpływu jej pochodzenie (obszar, z którego się wywodzi), a sama definicja ryzyka (parametry ją opisujące) ma charakter uniwersalny.
- Możliwość oceny istotności poszczególnych założeń za pomocą analizy wrażliwości, która pozwala sortować założenia według ich wag.

## 2.3. Metody analizy ryzyka

Spośród znanych i stosowanych metod analizy ryzyka wyróżnić należy:

1. regułę Pareto (20/80),
2. drzewa zdarzeń, drzewa błędów,
3. diagramy Ishikawy,
4. analizę wrażliwości,
5. Value at Risk, Earnings at Risk, Cash Flow at Risk,
6. rejestry ryzyk,

---

<sup>15</sup> [pjwstk.dyski.one.pl:81/public/ftp.pjwstk.edu.pl/Analiza\\_Ryzyka.doc](http://pjwstk.dyski.one.pl:81/public/ftp.pjwstk.edu.pl/Analiza_Ryzyka.doc)

## 7. macierze ryzyka.

Metody jakościowe charakteryzują się werbalnym opisem konsekwencji wystąpienia ryzyka. Metody te są stosowane w zarządzaniu ryzykiem, poprzez właściwe zdefiniowanie konsekwencji planowanych działań zapobiegawczych. Wadą tych metod jest jednak brak oceny ryzyk łącznie, a w rzeczywistości najczęściej spotyka się procesy, w których nieprzewidziane pierwotnie zdarzenia zaistniały w trakcie realizacji przedsięwzięcia. Dlatego też metoda daje zadowalające rezultaty, gdy służy do podejmowania działań ukierunkowanych na przeciwdziałanie ryzyku, ale nie znajduje zastosowania w przypadku kompleksowej oceny ryzyka przedsięwzięcia. Jedną z ciekawszych metod z tej grupy jest metoda oparta o zasadę Pareto.

### **2.3.1. Reguła Pareto (20/80)**

Myślenie leżące u podstaw tej zasady zostało po raz pierwszy podane przez Vilfreda Pareto w roku 1897. Sama zasada, nazywana też zasadą 80/20 mówi, że 80% wyników wypływa z 20% przyczyn.<sup>16</sup> W przypadku analizy ryzyk stosowanie zasady Pareto polega na zidentyfikowaniu kluczowych przyczyn, które skutkują największą ilością nieprzewidzianych pierwotnie skutków. Oczywiście wartości 20% i 80% pojawiające się w alternatywnej nazwie metody są wartościami sugestywnymi, a ich celem jest jedynie wskazanie abstrakcji, że istnieje niewielka grupa czynników, które powodują znaczącą ilość wyników.

### **2.3.2. Drzewa zdarzeń; drzewa błędów**

Kolejną stosowaną metodą analizy ryzyka jest analiza graficzna, nazywana drzewem zdarzeń i drzewem błędów. Metody te służą zarówno do oceny jakościowej, jak i ilościowej. Obie metody stanowią graficzny model zależności przyczynowo – skutkowych występujących w rozpatrywanym problemie. W przypadku drzewa zdarzeń zakłada się, że określony skutek jest wynikiem ciągu zdarzeń, przez co drzewo rozpoczyna się zdarzeniem inicjującym i prezentuje wszystkie możliwe ciągi zdarzeń, a więc następstw zdarzenia inicjującego. W drzewie zdarzeń pojawiają się punkty rozgałęziające, symbolizujące alternatywne konsekwencje zdarzeń. Prawdopodobieństwo zaistnienia określonego punktu drzewa określa się mnożąc przez siebie prawdopodobieństwa wszystkich zdarzeń składających się na ścieżkę, wzdłuż której dochodzimy do danego punktu. Drzewo błędów buduje się tak samo jak drzewo zdarzeń, lecz w odwrotnym kierunku, to znaczy, że punktem inicjującym jest skutek, a drzewo rozwijane jest w kierunku przyczyn.

---

<sup>16</sup> <http://czas.ebiznes.org.pl/zasadapareto8020.htm>

Analiza jakościowa, czyli bez oszacowania prawdopodobieństwa pozwala zorientować się w zakresie ryzyka i zrozumieć sytuację, której ryzyko dotyczy. Metoda ilościowa pozwala wyznaczyć prawdopodobieństwo ciągów zdarzeń lub zdarzeń pojedynczych. W analizie ilościowej przyjmuje się dwa założenia:

1. Zdarzenia funkтора „lub” wzajemnie się wyłączają,
2. Wszystkie zdarzenia w drzewie są niezależnie w sensie probabilistycznym (są nieskorelowane).

Wzajemne wyłączanie się zdarzeń funkтора „lub” oznacza, że zdarzenie A na wyjściu występuje wtedy, gdy występuje co najmniej jedno ze zdarzeń  $B_1, B_2, \dots, B_n$  na wejściu funkтора. Wtedy prawdopodobieństwo  $p(A)$  zdarzenia A wynosi:

$$P(A) = p(B_1) + p(B_2) + \dots + p(B_n) \quad (2.1)$$

zakładając, że zdarzenia  $B_1, B_2, \dots, B_n$  się wzajemnie wyłączają, co oznacza że w praktyce może zaistnieć wyłącznie jedno z nich.

W praktyce jednak często stosuje się to oszacowanie prawdopodobieństwa gdy powyższy warunek nie jest spełniony, czyli zachodzi więcej niż jedno zdarzenie w tym samym momencie. W takiej sytuacji oszacowanie prawdopodobieństwa można uznać za zadowalające, gdy poszczególne prawdopodobieństwa zdarzeń  $B_1, B_2, \dots, B_n$  są stosunkowo małe. W takiej sytuacji niezależnie od tego czy zdarzenia się wykluczają, czy też nie, prawdziwa jest nierówność:

$$P(A) \leq p(B_1) + p(B_2) + \dots + p(B_n) \quad (2.2)$$

co w rezultacie zawyża wartość prawdopodobieństwa zdarzenia A.

W przypadku drugiego założenia, zakładając że C jest wyjściem funkтора „i”, a zdarzenia  $D_1, D_2, \dots, D_n$  stanowią jego wejście to:

$$P(C) = p(D_1)p(D_2) \dots p(D_n) \quad (2.3)$$

Natomiast w sytuacji, gdy założenie to nie jest spełnione, wtedy można napisać, że:

$$P(C) = p(D_1)p(D_1/D_2) \dots p(D_n/D_1 \dots D_{n-1}) \quad (2.4)$$

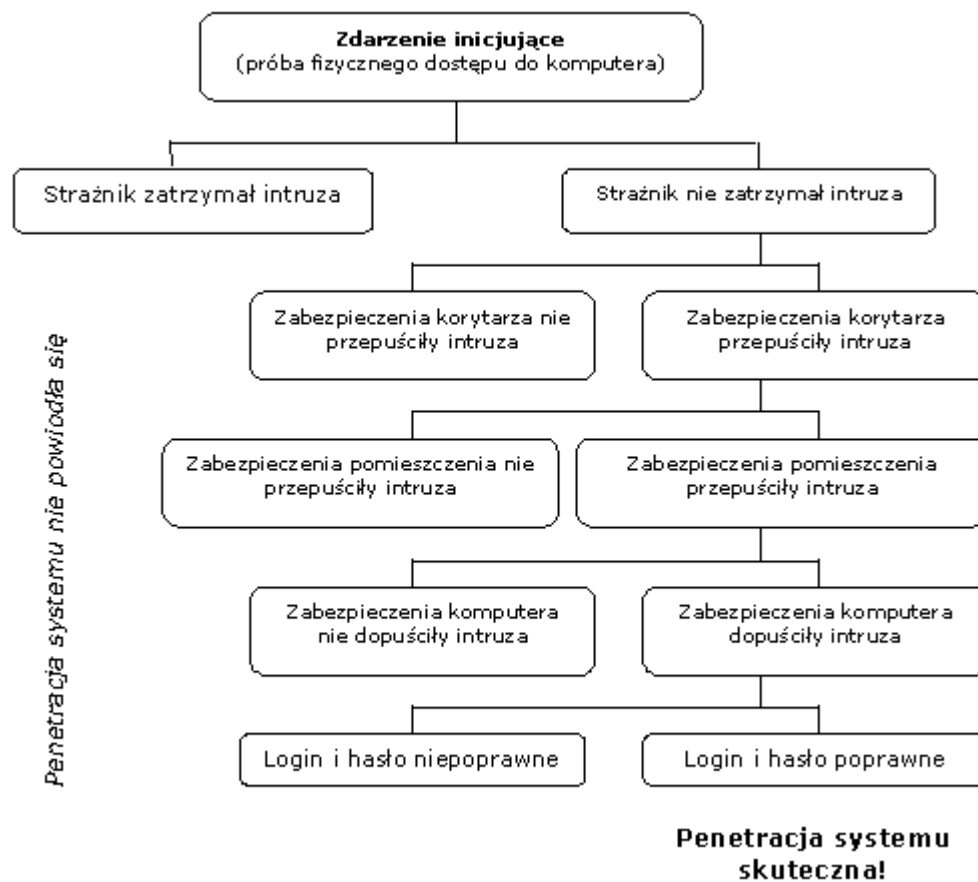
gdzie  $p(D_i/D_1 \dots D_j)$  oznacza prawdopodobieństwo warunkowe  $D_i$  przy założeniu występowania koniunkcji zdarzeń  $D_1 \dots D_{n-1}$ .

Powyższe stanowi przykład skutków wynikających ze wspólnej (tej samej) przyczyny.<sup>17</sup>

---

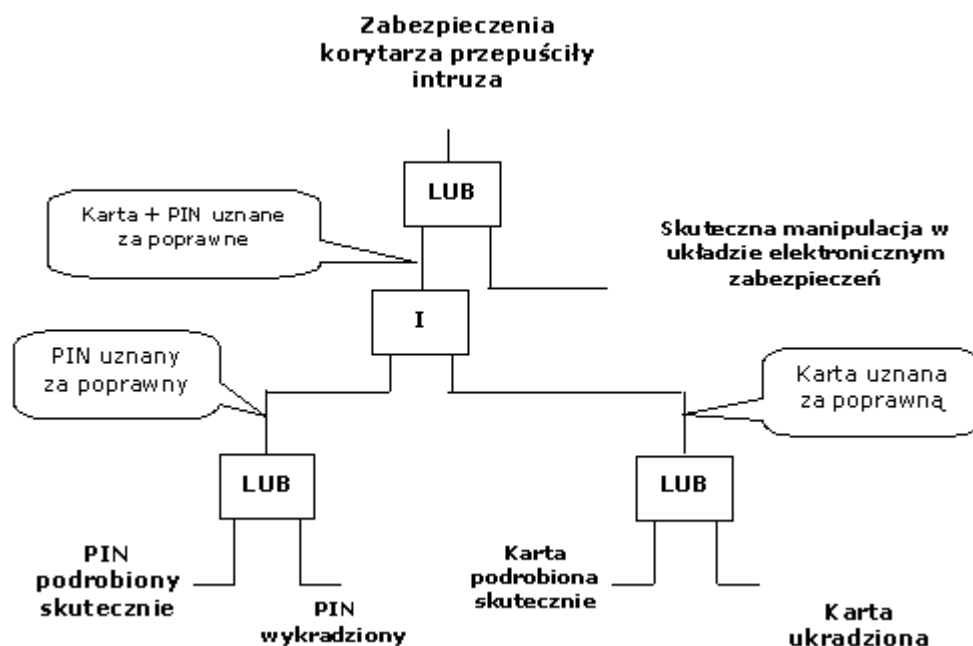
<sup>17</sup> [pjawstsk.dyski.one.pl:81/public/ftp.pjawstsk.edu.pl/Analiza\\_Ryzyka.doc](http://pjawstsk.dyski.one.pl:81/public/ftp.pjawstsk.edu.pl/Analiza_Ryzyka.doc)

Na poniższym rysunku przedstawiono przykłady odpowiednio drzewa zdarzeń i drzewa błędów.



**Rysunek 3.** Przykład drzewa zdarzeń

**Źródło:** <http://edu.pjwstk.edu.pl/wyklady/psk/scb/index14.html>, data pobrania: 10.2011 r.



**Rysunek 4.** Przykład drzewa błędów.

**Źródło:** <http://edu.pjwstk.edu.pl/wyklady/psk/scb/index14.html>, data pobrania: 10.2011 r.

### 2.3.3. Diagram Ishikawy

Rozwinięciem metody drzewa błędów jest tzw. diagram Ishikawy, zwany inaczej wykresem ryby lub rybiej ości. Kaoru Ishikawa<sup>18</sup> opracował koncepcję diagramu przyczynowo – skutkowego, w której inicjację analizy stanowi stwierdzenie wystąpienia określonego skutku, a w kolejnych krokach analiza prowadzona jest w kierunku identyfikacji wszystkich możliwych jej przyczyn.

Dodatkowo określił kategorie możliwych przyczyn dzieląc je na :

- 5M – człowiek (Man), metoda (method), maszyna (machine), materiał (material), zarządzanie (management).
- 4P – miejsce (place), zasady (procedure), pracownicy (people), polityka działalności (Policy).
- 4S – otoczenie (surroundings), dostawcy (suppliers), system (systems), umiejętności (skills).

Stosowane są również kombinacje w/w przyczyn.<sup>19</sup> Identyfikacja przyczyn problemu pozwala uhierarchizować ich ważność, oraz wspomaga definiowanie stosownych działań zaradczych dla analizowanego problemu.<sup>20</sup>

<sup>18</sup> [http://pl.wikipedia.org/wiki/Diagram\\_Ishikawy](http://pl.wikipedia.org/wiki/Diagram_Ishikawy)

<sup>19</sup> [http://etacar.put.poznan.pl/piotr.sawicki/Dydaktyka/Inz\\_jak/prezent\\_pdf/05.pdf](http://etacar.put.poznan.pl/piotr.sawicki/Dydaktyka/Inz_jak/prezent_pdf/05.pdf)

Do wad metody Ishikawy można zaliczyć trudność zaklasyfikowania poszczególnych przyczyn do właściwych grup lub podgrup oraz brak przejrzystości analizy problemów złożonych.<sup>21</sup>

#### **2.3.4. Analiza wrażliwości**

Analiza wrażliwości (ang. *sensitivity analysis*) jest kolejną metodą analizy ryzyka. Analiza ta rozumiana jest, jako badanie siły oddziaływania różnych czynników lub ich kombinacji na poziom rentowności przedsięwzięcia. Wrażliwość oznacza siłę reakcji rentowności (funkcji celu) na zmianę wybranego parametru lub ich kombinacji.<sup>22</sup> Jej podstawą jest badanie zarówno optymistycznych jak i pesymistycznych zmian parametrów.<sup>23</sup>

W poniższej tabeli przedstawiono zalety i wady metody analizy wrażliwości.

| <b>Zalety</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Wady</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Służy do identyfikacji ryzyka wskazując obszary, które powinny być przedmiotem głębszej analizy.</li> <li>2. Jest użyteczna głównie w przypadku przedsięwzięć rozwojowych, których ryzyko nie było wcześniej analizowane, a więc kiedy nie ma doświadczeń pochodzących z podobnych przedsięwzięć inwestycyjnych realizowanych wcześniej.</li> <li>3. Jej wyniki, tj. znajomość wpływu poszczególnych niezależnych zmiennych objaśniających na zmienną objaśnianą, można wykorzystać w innych analizach ryzyka.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Przyjmowanie uproszczonego nie odpowiadającego rzeczywistości założenia, o tym, iż badając określoną niezależną zmienną objaśniającą, tj. korygując ją o założony % zmian, pozostałe niezależne zmienne objaśniające przedsięwzięcia pozostawiane są na niezmiennym poziomie.</li> <li>2. Ryzyko przedsięwzięcia zależy zarówno od: wrażliwości kryterium decyzyjnego na zmiany niezależnych zmiennych objaśniających jak i zakresu prawdopodobnych wartości tych zmiennych odzwierciedlanych w ich rozkładach prawdopodobieństwa. Po-</li> </ol> |

<sup>20</sup>

<http://www.ioz.pwr.wroc.pl/pracownicy/wasinska/Pliki/Zarz%C4%85dzanie%20jako%C5%9Bci%C4%85%20-%20%C4%87wiczenia/W%C4%85sinska%20A.,%20Diagram%20Ishikawy%20-%20dla%20stud.pdf>

<sup>21</sup> [http://www.naukowy.pl/encyklopedia/Diagram\\_Ishikawy.vstrona\\_2](http://www.naukowy.pl/encyklopedia/Diagram_Ishikawy.vstrona_2)

<sup>22</sup> <http://akson.sgh.waw.pl/~mjawor/ksap/ME-konspekt2.pdf>

<sup>23</sup> [http://www.abc-ekonomii.net.pl/s/analiza\\_wrazliwosci.html](http://www.abc-ekonomii.net.pl/s/analiza_wrazliwosci.html)

| Zalety                                                                                                                                                                                                                         | Wady                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4. Można przedstawić wszystkie krzywe wrażliwości na jednym wykresie, co może ułatwić bezpośrednie porównania ryzyka determinowanego przez różne niezależne zmienne objaśniające.                                              | nieważ w analizie wrażliwości uwzględnia się tylko pierwszy czynnik, jest ona przez to niekompletna. |
| 5. Krzywe wrażliwości przedstawiają użyteczną informację o punktach granicznych, w których następuje zmiana kryterium decyzyjnego, oraz umożliwia obliczenie marginesów bezpieczeństwa realizacji konkretnego przedsięwzięcia. |                                                                                                      |

**Tabela 2.** Zestawienie zalet i wad metody analizy wrażliwości

Źródło: [http://wrogowski.nazwa.pl/materialy/zarzadzanie%20ryzykiem/Zarzadzanie\\_ryzykiem\\_wprowadzenie\\_I.pdf](http://wrogowski.nazwa.pl/materialy/zarzadzanie%20ryzykiem/Zarzadzanie_ryzykiem_wprowadzenie_I.pdf), data pobrania: 10.2011 r.

### **2.3.5. Metody *Value at Risk*; *Earnings at Risk*; *Cash Flow at Risk***

Kolejną metodą analizy ryzyka służącą ocenie ryzyka rynkowego, ale także kredytowego czy operacyjnego, jest metoda *Value at Risk*. VaR oznacza taką stratę wartości rynkowej, że prawdopodobieństwo jej osiągnięcia lub przekroczenia w zdefiniowanym przedziale czasowym jest równe określonej poziomowi tolerancji. VaR wynika z dwóch parametrów, które powinny zostać wcześniej zdefiniowane<sup>24</sup>:

- horyzont czasowy;
- poziom tolerancji, ewentualnie poziom ufności.

$$P(W \leq W_0 - VaR) = \alpha, \quad (2.5)$$

gdzie:

P – prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia;

W<sub>0</sub> – wartość zmiennej na początku okresu,

W – wartość zmiennej na koniec okresu;

$\alpha$  - współczynnik tolerancji (przy czym:  $1-\alpha$  jest poziomem ufności).

<sup>24</sup> <http://www.statsoft.pl/czytelnia/finanse/pdf/kuziak.pdf>

Z powyższego wynika, że z prawdopodobieństwem równym przyjętemu poziomowi tolerancji może zajść zdarzenie polegające na tym, że wartość na koniec okresu będzie mniejsza lub równa wartości obecna pomniejszonej o  $VaR$ .<sup>25</sup>

Nie ma uniwersalnej metody szacowania  $VaR$ , ale do najczęściej stosowanych można zaliczyć<sup>26</sup>:

- Podejście wariancji – kowariancji,
- Symulacji historycznej,
- Symulacji Monte Carlo,
- Podejście oparte na wykorzystaniu wartości pochodzących z ogona rozkładu,
- Podejście oparte na teorii wartości ekstremalnych,
- Podejście wyznaczania kwantyla dowolnego rozkładu.

Dla odpowiedzialnego stosowania metody  $VaR$  koniecznym działaniem jest testowanie metody. Testowanie wsteczne (tzw. *backtesting*) wyników pomiaru  $VaR$  ma za zadanie rozstrzygnięcie, czy daną metodę można zastosować, czy też zastosować trzeba inną metodę z dużej ilości metod konkurencyjnych.<sup>27</sup>

Metoda wykorzystująca  $VaR$ , jak każda metoda charakteryzuje się tak zaletami jak i wadami. W poniższej tabeli przedstawiono zestawienie zalet i wad metody z rozróżnieniem metod jej szacowania.

| Metoda                                  | Zalety                                                                                   | Wady                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Podejście wariancji – kowariancji       | Prostota                                                                                 | Przyjęcie założenia rozkładu normalnego; problem oszacowania średniej i wariancji na podstawie danych z przeszłości                                                                                       |
| Symulacja historyczna                   | Metoda nieparametryczna                                                                  | Problem z otrzymaniem jednorodnych danych historycznych; wrażliwość otrzymanych wyników na zbiory danych zastosowane w obliczeniach; konieczność ustalenia długości okresu, z którego mają pochodzić dane |
| Symulacja Monte Carlo                   | Duża dokładność; stosuje się wówczas, gdy nie ma możliwości wykorzystania innych podejść | Duża zależność wyników od przyjętego modelu cen (stóp zwrotu)                                                                                                                                             |
| Wyznaczanie kwantyla dowolnego rozkładu | Wykorzystanie innych rozkładów niż normalny                                              | Problem oszacowania parametrów rozkładu na podstawie danych z przeszłości; trudności                                                                                                                      |

<sup>25</sup> [portal.wsiz.rzeszow.pl/plik.aspx?id=9501](http://portal.wsiz.rzeszow.pl/plik.aspx?id=9501)

<sup>26</sup> <http://www.statsoft.pl/czytelnia/finanse/pdf/kuziak.pdf>

<sup>27</sup> <http://www.kpiontek.ae.wroc.pl/testyVaR.pdf>

| Metoda                               | Zalety                                                    | Wady                                                                                                      |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                      |                                                           | ze statystycznym wnioskowaniem dla rozkładów stabilnych                                                   |
| Teoria wartości ekstremalnych        | Uwzględnienie nietypowych sytuacji                        | Problem oszacowania parametrów rozkładu maksymalnej straty                                                |
| Wartości pochodzące z ogona rozkładu | Wykorzystuje obserwacje pochodzące tylko z ogona rozkładu | Stosowanie klasycznych metod estymacji pogarsza jakość oszacowań; problem ustalenia wartości progu tzw. u |

**Tabela 3.** Zestawienie zalet i wad metody Value at Risk

**Źródło:** Jajuga K. „Value at Risk”, Rynek Terminowy 13, 2001, str. 18 – 20

### 2.3.6. Rejestr ryzyk

Kolejną ze stosowanych metod jest tzw. rejestr ryzyka. Jak sama nazwa wskazuje jest to tabelaryczne zestawienie zidentyfikowanych ryzyk, tzn. przewidywanych skutków zaistnienia oraz ich prawdopodobieństwa, oraz zaplanowanych działań zaradczych.<sup>28</sup> Metoda ta służy do<sup>29</sup>:

- komunikacji ryzyka i jego statusu w projekcie,
- zarządzania ryzykiem.

Poniższa tabela przedstawia przykładowy rejestr ryzyka.

| l.p. | Zdarzenie                            | Skutek                                                                                  | Prawdopodobieństwo | Wpływ  | Reakcja       | Działania |
|------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------|---------------|-----------|
| 1    | Opóźnienie dostawcy                  | Opóźnienie dostawy produktu końcowego                                                   | Średnie            | Duży   | Przeniesienie | ...       |
| 2    | Ryzyko kursowe                       | Zwiększenie kosztów zakupu sprzętu                                                      | Małe               | Średni | Akceptacja    | ...       |
| 3    | Niedostateczne zabezpieczenie danych | Wyciek danych klientów na zewnątrz. Pogorszenie wizerunku. Zmniejszenie liczby klientów | Małe               | Duży   | Redukowanie   | ...       |
| 4    | ...                                  | ...                                                                                     | ...                | ...    | ...           | ...       |

**Tabela 4.** Przykład rejestru ryzyka

**Źródło:** [http://www.web.gov.pl/g2/big/2010\\_05/59ad2f1d864f3e8216133762de566129.pdf](http://www.web.gov.pl/g2/big/2010_05/59ad2f1d864f3e8216133762de566129.pdf) data pobrania:

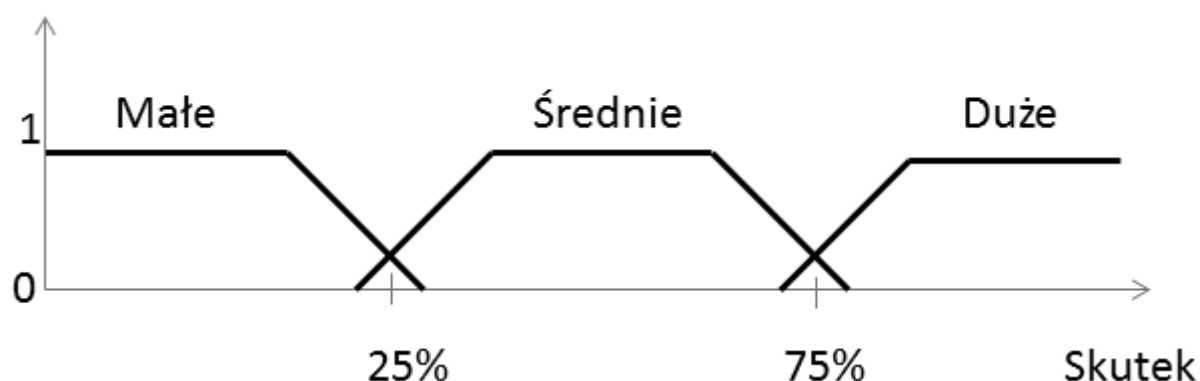
10.2011 r.

<sup>28</sup> Chapman R.: The effectiveness of working group risk identification and assessment techniques. International Journal of Project Management Vol. 16, No. 6, 1998

<sup>29</sup> [http://www.web.gov.pl/g2/big/2010\\_05/59ad2f1d864f3e8216133762de566129.pdf](http://www.web.gov.pl/g2/big/2010_05/59ad2f1d864f3e8216133762de566129.pdf)

### 2.3.7. Macierz ryzyka

Metoda macierzy ryzyka jest rozwinięciem metody rejestru ryzyka. W przeciwieństwie do rejestru ryzyka pozwala ona na jednoczesne zobrazowanie zbioru ryzyk zdefiniowanego dla badanego przedsięwzięcia. Konstrukcja macierzy ryzyka polega na przypisaniu każdemu zagrożeniu prawdopodobieństwa jego wystąpienia i skutku, jaki ze sobą niesie. Przykład definicji ryzyk poprzez określenie ich skutku i prawdopodobieństwa przedstawia tabela powyżej. Parametry ryzyk są określane z zastosowaniem teorii logiki rozmytej, z wykorzystaniem funkcji przynależności.



**Rysunek 5.** Przykład funkcji przynależności

**Źródło:** Opracowanie własne

W efekcie możliwe jest podanie macierzy ryzyk, której przykład przedstawiono na poniższym diagramie.

| Prawdopodobieństwo |             |       |        |      |             |
|--------------------|-------------|-------|--------|------|-------------|
| Bardzo duże        |             |       |        |      |             |
| Duże               | 8           | 3     | 4      |      |             |
| Średnie            | 1, 2        |       |        | 5    |             |
| Małe               |             | 6, 10 |        |      |             |
| Bardzo małe        | 9           |       | 7      |      |             |
|                    | Bardzo mały | Mały  | Średni | Duży | Bardzo duży |
|                    | Skutek      |       |        |      |             |

**Tabela 5.** Przykład macierzy ryzyk

**Źródło:** [http://www.web.gov.pl/g2/big/2010\\_05/59ad2f1d864f3e8216133762de566129.pdf](http://www.web.gov.pl/g2/big/2010_05/59ad2f1d864f3e8216133762de566129.pdf) data pobrania: 10.2011

Cyfry widniejące w macierzy odnoszą się do konkretnych, zidentyfikowanych ryzyk, a ich lokalizacja w macierzy wynika z przypisanego im prawdopodobieństwa wystąpienia i skutku oddziaływania. Ważnym elementem macierzy jest tzw. linia tolerancji, powyżej której wystą-

pienie ryzyka jest bardzo prawdopodobne, a skutek wystąpienia ryzyka duży (znaczący, istotny).<sup>30</sup>

Analiza ryzyka przy pomocy macierzy ryzyk w praktyce odbywa się w dwóch etapach. W pierwszym etapie w formie macierzy przedstawia się wszystkie zidentyfikowane ryzyka, następnie po uwzględnieniu działań zaradczych, w wyniku których zmianie ulegają wartości prawdopodobieństwa i skutku przypisane do ryzyka po raz kolejny prezentuje się macierz ryzyk tak, aby zobrazować ryzykowność projektu przy zastosowaniu przewidzianych działań zapobiegawczych.

Podsumowując opisane wyżej metody stwierdzić należy, że ryzyko zawsze towarzyszy działaniom podejmowanym przez człowieka i rozumiane jest, jako możliwość zaistnienia pierwotnie nieuwzględnianych czynników, które w rezultacie powodują inny niż zakładany efekt. W praktyce stosowane są różne metody analizy ryzyka o istocie jakościowej (czyli niemierzalnej w sensie liczbowym), jak i ilościowej (mierzalnej w sensie liczbowym).

Zasadnym jest też wniosek, że zasadniczą słabością opisanych powyżej metod jest trudność w jednoznacznej interpretacji wyników i trudność w ich późniejszym przetwarzaniu. Wadą tych metod jest także to, że w większości przedmiotem badań są pojedyncze ryzyka, a nie całościowo rozumiany przedmiot badań (czyli przedsięwzięcie, zespół cech itp.), które na działanie ryzyka jest narażony.

## **2.4. Metodyka zarządzania ryzykiem**

Wyżej opisane metody stanowią narzędzia z obszaru analizy ryzyka. Jak wskazano na diagramach rys. 1 i rys. 2, analiza ryzyka stanowi tylko konkretny element procesu zarządzania ryzykiem. W praktyce można spotkać się z technikami zarządzania ryzykiem takimi jak:

1. metodyka Project Management Body of Knowledge,
2. metodyka Prince 2,
3. Metodyka Risk Control Self Assessment (RCSA).

W swym zakresie odnoszą się one do postrzegania ryzyka, oceny, dokumentowania, wskazywania momentu zmaterializowania, planowania działań zapobiegawczych itp. Metodyka PMBoK (Project Management Body of Knowledge) zdaje się być bardziej rozpowszechniona, gdyż proponuje konkretne narzędzia do pomiaru ryzyk, natomiast metodyka PRINCE 2 skupia się na procesach, definicji szablonów procesów, dążąc do uniwersalności i powtarzalnego

---

<sup>30</sup> [http://www.web.gov.pl/g2/big/2010\\_05/59ad2f1d864f3e8216133762de566129.pdf](http://www.web.gov.pl/g2/big/2010_05/59ad2f1d864f3e8216133762de566129.pdf)

zastosowania jej w zarządzaniu projektami.<sup>31</sup> RSCA w swej definicji jest bardziej zbliżona do metodyki PRINCE 2, czyli również wskazuje konkretne narzędzia z zakresu analizy i zarządzania ryzykiem.

#### **2.4.1. Project Management Body of Knowledge<sup>32</sup>**

Project Management Body of Knowledge (PMBoK) jest metodą dokumentacyjną poświęconą zagadnieniu, jakim jest zarządzanie przedsięwzięciami, w tym zarządzanie ryzykiem tych przedsięwzięć. Metodyka PMBoK włada własną definicją przedsięwzięcia, które jest obiektem oddziaływania (zarządzania). Definicja ta mówi, że projekt jest tymczasową działalnością podejmowaną w celu wytworzenia niepowtarzalnego wyrobu, dostarczenia unikalnej usługi bądź osiągnięcia jedyne w swoim rodzaju rezultatu.

Zarządzanie ryzykiem według metodyki PMBoK opisane jest w formie sześciu procesów:

1. planowanie zarządzania ryzykiem, czyli wytypowanie metod, narzędzi i technik jakich planuje się użyć w ramach pracy nad przedsięwzięciem,
2. identyfikacja ryzyk, które mają wpływ na analizowany projekt,
3. jakościowa analiza ryzyka – określenie listy rankingowej ryzyk ze względu na ich wagę oraz wskazanie tych, którymi należy się zająć w dalszym ciągu prac prowadzonych w ramach danego przedsięwzięcia,
4. ilościowa analiza ryzyk – przeprowadzenie analizy liczbowej dla ryzyk wyodrębnionych w trakcie analizy jakościowej,
5. planowanie reakcji na ryzyko,
6. monitorowanie i kontrola ryzyk.

PMBoK zawiera również opis technik do zarządzania ryzykiem, tj.<sup>33</sup>:

1. diagram Ishikawy,
2. macierz ryzyka,
3. burza mózgów do identyfikacji ryzyka,
4. struktura podziału ryzyka (na kategorie i podkategorie celem uporządkowania ryzyk w grupach),
5. pieniężna wartość oczekiwana – iloczyn oszacowanych prawdopodobieństw i wartości pieniężnej skutków zaistnienia ryzyka,
6. drzewa decyzyjne.

---

<sup>31</sup> [http://www.wso.wroc.pl/wso/WPiKBN/pid/2010/zn\\_3\\_2010/004\\_Gorski\\_pdf\\_1.pdf](http://www.wso.wroc.pl/wso/WPiKBN/pid/2010/zn_3_2010/004_Gorski_pdf_1.pdf)

<sup>32</sup> „A guide to the Project Management Body of Knowledge”, PMBOK Guide Third Edition.

<sup>33</sup> Prywata M. „Zarządzanie ryzykiem w małych projektach”, [WWW.web.gov.pl](http://WWW.web.gov.pl)

### 2.4.2. Prince 2

Dobrze znana i szeroko stosowana metodyka Prince 2 wprowadza dwie definicje projektu:

1. projekt stanowi środowisko zarządcze stworzone w celu dostarczenia jednego lub większej liczby produktów biznesowych zgodnie z określonym Uzasadnieniem Biznesowym (Uzasadnienie to odpowiada na pytanie dlaczego warto zrealizować projekt),
2. projekt stanowi organizację powołaną na określony czas, w celu wytworzenia unikalnych i wcześniej zdefiniowanych wyników lub rezultatów w ustalonym czasie, przy wykorzystaniu uprzednio określonych zasobów.<sup>34</sup>

Ryzyko jest interpretowane w metodyce PRINCE2 jako odchylenie od zakładanego stanu zarówno jako czynnik pozytywny (szansa), jak i negatywny (zagrożenie). W wyniku takiego podejścia zadaniem jest identyfikowanie zagrożeń dotyczących projektu oraz podjęcia odpowiednich kroków w celu wykorzystania okazji, jakie mogą się pojawić, lub w celu uniknięcia, zredukowania lub zareagowania na zagrożenie.<sup>35</sup>

Analiza ryzyka i zarządzanie nim w metodyce PRINCE2 odbywa się w całym okresie życia projektu. Samo życie projektu zostało podzielone na etapy takie jak<sup>36</sup>:

- przygotowanie projektu,
- inicjacja projektu,
- sterowanie etapem,
- zarządzanie zakresem etapu,
- zamykanie projektu.

W pierwszym etapie jednym z opracowywanych dokumentów wchodzącym w skład tzw. „teczki projektu” jest „rejestr ryzyka”, inaczej zwanym „dziennikiem ryzyka”. W poniższej tabeli przedstawiono klasyfikację ryzyk, według której realizowana jest identyfikacja.

| <b>Strategiczne, handlowe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Niższy poziom wykonania prac niż określone w specyfikacji, poziom zarządzania poniżej oczekiwań, bankructwo wykonawców, niewypłacalność inicjatora projektu, nie wywiązanie się z zobowiązań dostawców, niewystarczające przychody kapitałowe, zmienność rynku, oszustwo, kradzież lub inne przestępstwo, nie wywiązanie się poddostawców z zawartych umów, brak możliwości ubezpieczenia, brak dostępności kapitału inwestycyjnego |
| <b>Ekonomiczne, finansowe, rynkowe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

<sup>34</sup> „Managing Successful Projects with PRINCE2”, Office of Government Commerce, 2005.

<sup>35</sup> „Managing Successful Projects with PRINCE2”, Office of Government Commerce, 2005.

<sup>36</sup> Bradley K.: Understanding PRINCE2. SPOCE Group, 2002

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zmiana wartości walut, wahania stóp procentowych, inflacja, niedostatek kapitału pracującego, nie osiągnięcie przychodów, negatywne oddziaływanie rynku na złożone plany                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Prawne</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Negatywny wpływ na projekt nowych lub zmieniających się regulacji prawnych, przedłużające się procedury lub całkowite uniemożliwienie zatwierdzenia np. zezwoleń, nieprzewidziane zobowiązania, utrata praw do własności intelektualnej, negatywne rozwiązania kontraktowe, niezidentyfikowane we właściwym momencie regulacje prawne i wymagania licencyjne, zmiany w strukturze podatków i taryf podczas realizacji projektu                                                                                                                       |
| <b>Organizacyjne, zarządcze, związane z czynnikiem ludzkim</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Niekompetentne zarządzanie, niewłaściwa polityka firmy, mało skuteczne przywództwo, niewłaściwie dobrany personel w stosunku do ról i kompetencji na stanowiska, brak lub zły system doboru pracowników, niezidentyfikowane lub niezrozumiane role i obowiązki, negatywny wpływ wewnętrznych konfliktów na cele projektu, konflikty w zespołach, nie podejmowanie decyzji w istotnych momentach lub podejmowanie błędnych decyzji, brak wsparcia ze strony organizacji, przekłamania w przekazie informacji, zły stan bezpieczeństwa i higieny pracy |
| <b>Polityczne</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Zmieniająca się ogólna sytuacja polityczna, zmiana rządu lub ugrupowań rządzących, zmiany na politycznej arenie krajowej i międzynarodowej, wybuch wojny, wzniesienie zamieszek lub wprowadzenie innych ograniczeń swobody, niekorzystny wpływ mediów, brak poparcia opinii publicznej                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Środowiskowe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Katastrofy naturalne i inne rozległe kataklizmy, sztormy, powodzie, burze śnieżne, skażenia wywołane katastrofami komunikacyjnymi lub wywołane awariami, katastrofy komunikacyjne i transportowe jak wypadki lotnicze i kolizje pociągów                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Techniczne, eksploatacyjne, infrastrukturalne</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Nieodpowiednia i źle wykonana konstrukcja, niedbalstwo lub inne techniczne zaniedbania, brak wiedzy, błąd ludzki i niekompetencja, uszkodzenia infrastruktury, mniejsza od oczekiwanej wytrzymałość i trwałość eksploatacyjna, zwiększone koszty demontażu lub likwidacji, zagrożenie i zaniedbania bezpieczeństwa, błędy wykonawcze, nieustalony i ciągle zmieniający się zakres projektu, niesprecyzowane oczekiwania                                                                                                                              |

**Tabela 6.** Kategorie ryzyk w metodyce PRINCE2

**Źródło:** [http://www.prince2-basics.com/PRINCE2\\_90\\_Risk\\_categories.shtml](http://www.prince2-basics.com/PRINCE2_90_Risk_categories.shtml), data pobrania 10.2011 r.

Zgodnie z zasadami PRINCE2 na etapie identyfikacji ryzyk istotne jest wprowadzenie wpływu zagrożenia na projekt. Równie istotnym jest oszacowanie prawdopodobieństwa zaistnienia danego ryzyka, oraz oszacowania czasu, w jakim dane ryzyko może zaistnieć, czyli tzw. materializacji ryzyka. Dodatkowo zgodnie z metodyką PRINCE2 do danego ryzyka należy przypisać tzw. właściciela, czyli kompetentną osobę, która będzie odpowiedzialna za monitorowanie danego ryzyka, oraz podjęcie w odpowiednim momencie stosownych działań zapobiegawczych, określonych w rejestrze. Dziennik ryzyk podlega powtarzającej się weryfikacji poprzez:

- Aktualizację listy ryzyk, zarówno zawartość jak i czas ważności ryzyk,
- Śledzenie oznak materializacji ryzyka,
- Podjęcie decyzji o wdrożeniu planów awaryjnych.<sup>37</sup>

Bardzo ważnym w metodyce PRINCE2 jest podejście procesowe, oraz uporządkowanie w postaci raportowania działań. W zakresie zarządzania ryzykiem za bardzo korzystną należy uznać powtarzalność weryfikacji dziennika ryzyk po zakończeniu każdego etapu. Za wadę metodyki PRINCE2 należy uznać bardzo mocno rozwiniętą formalizację etapów, dokumentowania i raportowania podejmowanych działań w zakresie projektu.<sup>38</sup>

### **2.4.3. Risk Control Self Assessment<sup>39</sup>**

Risk Control Self Assessment (RCSA) stanowi metodykę do zarządzania ryzykiem w ramach organizacji. Jak sama nazwa wskazuje (Risk Control Self Assessment – samodzielna kontrola ryzyka), główny nacisk jest położony na zastosowanie jej wewnątrz organizacji, czyli dostosowanie narzędzi do możliwości i zasobów jakie posiada dany podmiot.

Spośród narzędzi można wyróżnić metody opisane powyżej, tj. rejestr ryzyk, czy macierz ryzyk. Metodyka uwzględnia natomiast trzy możliwe podejścia do stosowania metodyki RCSA:

1. Podejście „warsztatowe” – polega na angażowaniu osób w dyskusję na temat znanych im ryzyk, ich kontroli i możliwych usprawnień. Osoby te stanowią źródło informacji, a forma ich gromadzenia jest tożsama z burzą mózgów.
2. Kwestionariusze – część firm stosujących metodykę RCSA wprowadziła do użytku kwestionariusze, ukierunkowane pod poszczególne grupy zadaniowe w ramach organizacji.

---

<sup>37</sup> [http://www.wso.wroc.pl/wso/WPiKBN/pid/2010/zn\\_3\\_2010/004\\_Gorski\\_pdf\\_1.pdf](http://www.wso.wroc.pl/wso/WPiKBN/pid/2010/zn_3_2010/004_Gorski_pdf_1.pdf)

<sup>38</sup> [http://www.wso.wroc.pl/wso/WPiKBN/pid/2010/zn\\_3\\_2010/004\\_Gorski\\_pdf\\_1.pdf](http://www.wso.wroc.pl/wso/WPiKBN/pid/2010/zn_3_2010/004_Gorski_pdf_1.pdf)

<sup>39</sup> The Institute of Operational Risk, “Risk Control Self Assessment”, Sound Practice Guidance, 2010.

3. Podejście hybrydowe – polega na połączeniu powyższych podejść, tzn. w ślad za pracami „warsztatowymi” realizowane są akcje z wykorzystaniem kwestionariuszy.

Cała metodyka ukierunkowana jest na jak najlepsze zidentyfikowanie ryzyk, oraz planowanie działań zaradczych. W tym celu posługują się takimi narzędziami jak wyżej wspomniane rejestry ryzyk, czy macierz ryzyk.

#### **2.4.4. Podsumowanie**

Na bazie znanych metod analizy ryzyka, wypracowane zostały dwie kluczowe metodyki zarządzania, uwzględniające aspekt zarządzania ryzykiem. Są to PRINCE2, Project Management Body of Knowledge oraz Risk Control Self Assessment. Metodyki te opisują cały proces zarządzania ryzykiem w cyklu życia przedsięwzięcia. Niestety zarówno metody analizy jak i same metodyki borykają się z niżej wymienionymi problemami:

1. Subiektywna ocena prawdopodobieństwa, jakie jest przypisywane poszczególnym, definiowanym ryzykom, nawet w drodze grupy delfickiej, może skutkować błędami w analizie wskazując inne niż rzeczywiste prawdopodobne scenariusze.
2. W niektórych aplikacjach prawdopodobieństwo występowania ryzyk jest definiowane w postaci funkcji rozkładu prawdopodobieństwa, co wymaga od użytkownika zaawansowanej wiedzy na temat definiowanego zjawiska, a w efekcie znacząco ogranicza użyteczność aplikacji, ze względu na wysoki poziom skomplikowania.
3. Analiza jakościowa nie daje możliwości dalszego przetworzenia wyników, tzn. ich obróbki ilościowej.
4. Analiza ilościowa realizowana w oparciu o obecnie znane metody analizy generuje zupełnie nowe wskaźniki, które trudno wykorzystać w dalszej obróbce danych.
5. Ryzyka reprezentują zdarzenia związane z konkretnymi, możliwymi do wyodrębnienia elementami projektu, natomiast ich skutek jest określany miarą konsekwencji finansowych, jako zmienna jednowymiarowa i z punktu widzenia całego przedsięwzięcia. Utrudnia to uwzględnianie innych odchyleń niż finansowe, np. opóźnienia, oraz zawęża grono ekspertów kwalifikujących się do definiowania ryzyk /eksperci muszą posiadać doświadczenie w realizacji całych przedsięwzięć, a nie wybranych ich fragmentów/.

Znaczna ekspozycja na błąd w szacowaniu prawdopodobieństwa poszczególnych ryzyk, w istotny sposób zmniejsza wiarygodność analizy ryzyka. Identyfikacja ryzyk związanych często z elementarnymi czynnościami, z punktu widzenia całego przedsięwzięcia, może stanowić źródło błędów przy ocenie ryzyka przedsięwzięcia. Nietypowość zmiennych wynikowych w

ilościowej analizie ryzyka utrudnia w sposób istotny prowadzenie dalszej analizy przedsięwzięcia, jako procesu uwzględniającego potencjalne ryzyko.

Powyższe wnioski powodują że dotychczas stosowane metody analizy ryzyk traktowane są jedynie jako wyznacznik jakościowy, aniżeli precyzyjne wskaźniki określające ryzykowność przedsięwzięć<sup>40</sup>.

## **2.5. Informatyczne narzędzia do zarządzania ryzykiem**

Powyżej opisane metody analizy ryzyk, metodyki zarządzania ryzykiem obecnie są rozpowszechniane w postaci aplikacji software'owych, wspomagających zarządzanie projektami, bądź przedsiębiorstwami. Poniżej przedstawiono przykładowe aplikacje, jakie obecnie są dostępne na rynku, oraz ich krótki opis.

### **2.5.1. Palisade @Risk**

@Risk jest aplikacją stworzoną przez firmę PALISADE, która prowadzi działalność na terenie pięciu kontynentów. Aplikacja @Risk jest zrealizowana, jako nakładka na Microsoft Excel. Funkcjonalność aplikacji została oparta o metodę Monte Carlo. Zarządzanie ryzykiem zostało zidentyfikowane w trzech krokach:

1. Dla wszystkich pozycji przepływów pieniężnych przypisuje się funkcję rozkładu prawdopodobieństwa, z 35 możliwych funkcji.
2. Realizowana jest symulacja zgodna z metodą Monte Carlo w ilościach przekraczających 1000 symulacji.
3. Na podstawie uzyskanych wyników realizowane są raporty, wykresy, analizy, w zależności od oczekiwań użytkownika.<sup>41</sup>

Aplikacja funkcjonuje w oparciu o przepływy finansowe, w których poszczególne pozycje nie są ze sobą powiązane jak to ma miejsce w przypadku diagramu Gantt'a. Za istotny element analizy należy uznać definiowanie funkcji rozkładu prawdopodobieństwa dla poszczególnych pozycji przepływów finansowych. Stanowi to bardziej złożoną deklarację prawdopodobieństwa zaistnienia ryzyka, oraz w swej naturze ma charakter uznaniowy. Ma to istotne znaczenie dla użytkowników, od których wymaga się bardzo zaawansowanych kompetencji, tj. identyfikowania funkcji rozkładu prawdopodobieństwa dla poszczególnych pozycji Cash flow.<sup>42</sup>

---

<sup>40</sup> Boehm B.: Software Risk Management: Principles and Practices. IEEE Software, 1991

<sup>41</sup> <http://www.palisade.com/risk/?gclid=CJWQoKjTv6sCFUW-zAod01FGvg>

<sup>42</sup> [http://www.palisade.com/downloads/manuals/EN/RISK5\\_EN.pdf](http://www.palisade.com/downloads/manuals/EN/RISK5_EN.pdf)

### **2.5.2. SAS Book Runner**

Program Book Runner stworzony został przez amerykańską firmę SAS założoną w 1976 roku. Aplikacja jest zorientowana na analizę zmienności ryzyk dla przedsiębiorstw z branży surowcowej – gaz, energia elektryczna, ropa itp. Narzędzie to funkcjonuje w oparciu o metodologię Value at Risk, Cash Flow at Risk i ekspozycji na przyszłą możliwą wartość.<sup>43</sup> Wskazuje to na ukierunkowanie narzędzia do analizy zagadnień, dla których można określić horyzont czasowy i poziom tolerancji/ufności, co jest wymagane dla metod pochodnych od VaR.<sup>44</sup>

### **2.5.3. Aplikacja ERP (Enterprise Risk Management) autorstwa**

#### ***MKinsight***

Aplikacja ERP autorstwa MKinsight została opracowana z myślą o szerokim gronie organizacji od firm, poprzez urzędy, kończąc na osoba fizycznych. Jej funkcjonalność jest oparta na rejestrze ryzyk i macierzy ryzyk, inaczej zwanej mapami ciepła. Aplikacja skupia się na możliwie obszernym rejestrowaniu ryzyk i planowaniu działań zapobiegawczych, w tym przypisywaniu osób odpowiedzialnych za poszczególne ryzyka. Aplikacja nie uwzględnia możliwości modelowania za pomocą metod symulacyjnych lub innych znanych.<sup>45</sup>

### **2.5.4. Risky Project firmy Intaver**

Aplikacja Risky Project została opracowana przez Kanadyjską firmę Intaver Institute Inc.<sup>46</sup> Została ona przygotowana w taki sposób, aby mogła współpracować z popularnymi aplikacjami do zarządzania projektami takimi jak Microsoft Project czy Primavera. Do zdefiniowanych projektów w postaci diagramów Gantt'a, tworzony jest rejestr ryzyk, w którym definiuje się ryzyka poprzez ich skutek oraz prawdopodobieństwo wystąpienia. Na podstawie tak stworzonej bazy wiedzy możliwe są zarówno analizy jakościowe jak i ilościowe. Aplikacja wykorzystuje metodę macierzy ryzyk oraz symulacji Monte Carlo. Tak druga metoda jest wykorzystywana do wygenerowania prawdopodobnego, czyli możliwego do zaistnienia scenariusza, który jest następnie porównywany z planem projektu nie obciążonym ryzykami. Aplikacja skupia się przede wszystkim na zarządzaniu ryzykiem, tj. prezentowaniu możliwych skutków zaistnienia poszczególnych ryzyk na projekt, oraz planowaniu działań zapobiegawczych.<sup>47</sup>

---

<sup>43</sup> <http://www.sas.com/solutions/riskmgmt/>

<sup>44</sup> [http://www.sas.com/resources/product-brief/104317\\_0110.pdf](http://www.sas.com/resources/product-brief/104317_0110.pdf)

<sup>45</sup> <http://www.mkacuity.com/?gclid=CJuZgp3Uv6sCFUW-zAod01FGvg>

<sup>46</sup> <http://www.intaver.com/>

<sup>47</sup> <http://www.intaver.com/Presentations/RiskyProjectPresentation.ppt>

### **2.5.5. Risk Wizard**

Aplikacja Risk Wizard została opracowana przez Australijską firmę Risk Wizard Pty Ltd. Jej podstawowy zadaniem jest przyjazne środowisko do komponowania rejestru ryzyk i związanych z tym czynności z zakresu zarządzania ryzykiem, tj. przypisywanie osób odpowiedzialnych i definiowanie działań zapobiegawczych. Aplikacja ta jest wykorzystywana przez podmioty zajmujące się gospodarką surowcową, urzędy, instytucje finansowe, edukacyjne, transportowe. Stanowi ona przyjazne dla użytkownika narzędzie do monitorowania i zarządzania ryzykiem.<sup>48</sup>

### **2.5.6. Risk Decision**

Aplikacja Risk Decision została opracowana przez brytyjską firmę Northwest Controlling Corporation Ltd. Jej funkcjonalność została oparta na rejestrze ryzyk połączonym z macierzą ryzyk. Celem aplikacji jest wsparcie przy ocenie niepewności, podejmowanych akcji i decyzji. Nie realizuje ona zaawansowanych symulacji ryzyka, jedynie służy do obrazowania zdefiniowanych ryzyk.<sup>49</sup>

### **2.5.7. Podsumowanie**

Jak można zauważyć powstaje coraz więcej narzędzi informatycznych do zarządzania ryzykiem. Ich różnorodność jest podyktowana różnorodnością samych metod analizy ryzyka. Ich celem jest jednak bezpośrednie zarządzanie ryzykiem, poprzez identyfikację i następnie planowanie działań zmierzających do minimalizacji ryzyk. Brakuje wśród nich narzędzi umożliwiających spojrzenie całościowe na badane przedsięwzięcie. Jak można zauważyć, wyżej wymienione aplikacje są autorstwa firm z całego globu, od USA do Australii, co jest potwierdzeniem, że dziedzina zarządzania ryzykiem jest znana, badana i rozwijana na całym świecie.

---

<sup>48</sup> <http://www.riskwizard.com/Software/Risk-Management/RiskManagement>

<sup>49</sup> <http://www.noweco.com/download/riskdece.pdf>

## 3. Przedsięwzięcie; ryzyko

### 3.1. Przedsięwzięcie

Nie jest możliwym opisać przedsięwzięcie za pomocą jednego parametru, tak, aby oddawał on obraz całego zagadnienia. Przedsięwzięcia, niezależnie czy biznesowe czy inne, stanowią zbiory informacji.

Zbiór i należenie do zbioru są pojęciami pierwotnymi, których się nie definiuje. Sam zbiór jest określony w sposób jednoznaczny poprzez wszystkie swoje elementy. Jednym ze specyficznych przypadków jest tzw. zbiór pusty, który nie zawiera żadnego elementu. W grupie zagadnień dotyczących zbiorów istnieje też pojęcie rodziny zbiorów, czyli grupy zbiorów zakwalifikowanych do jednego zbioru.<sup>50</sup>

#### 3.1.1. Teoria mnogości

Synonimem dla „zbioru” jest „mnogość”, natomiast dział matematyki, który zajmuje się badaniem ogólnych własności zbiorów nazywa się teorią mnogości. Mając na uwadze, że przedsięwzięcia są identyfikowane jako zbiory przeróżnych informacji, są też one klasyfikowane do różnych zbiorów, które wspólnie należą do rodziny zbiorów. Również często identyfikowane są relacje pomiędzy, zarówno poszczególnymi zbiorami, jak i ich elementami, dlatego też w analizie przedsięwzięć mamy do czynienia z teorią mnogości.<sup>51</sup>

Teoria mnogości jako odrębny obszar zainteresowań badawczych istnieje od XIX wieku. Za twórcę tej dziedziny uważany jest Georg Cantor (niemiecki matematyk, ur. 03.03.1845 roku),<sup>52</sup> a Jego definicja „zbioru” jest następująca:

*Zbiorem nazywamy zgromadzenie w jedną całość wyrażnie wyróżnionych przedmiotów naszej intuicji lub naszej myśli.*<sup>53</sup>

Istotą tej definicji jest więc założenie, że jeżeli istnieje kryterium  $K(x)$ , według którego możemy wyodrębnić przedmioty, to właśnie te przedmioty stanowią dobrze określony zbiór  $\{x \mid K(x)\}$ . Cantor uważa, że zbiór taki jest upostaciowieniem kryterium, które go definiuje (poprzez określenie jego elementów).

Posługiwanie się teorią mnogości wymaga pewnej dyscypliny i sporej precyzji myślenia. Zgodnie z tzw. antynomią Russela, „naiwne” pojmowanie zbiorów prowadzić może do sprzeczności.<sup>54</sup>

---

<sup>50</sup> <http://www.math.edu.pl/zbiory>

<sup>51</sup> <http://www.math.edu.pl/algebra-zbiorow>

<sup>52</sup> [http://pl.wikipedia.org/wiki/Georg\\_Cantor](http://pl.wikipedia.org/wiki/Georg_Cantor)

<sup>53</sup> <http://www.mimuw.edu.pl/~urzy/Wtm/wtm.pdf>, str. 1

### 3.1.2. Logika

W sytuacji, gdy udało się wyodrębnić elementy i następnie zakwalifikować je do zbiorów, kolejnym etapem pracy na informacjach jest określenie ich zależności między sobą. Wnioskowanie odbywa się na podstawie zasad logiki.

*Logika (z gr. Logos – rozum) – zajmuje się badaniem ogólnych praw, według których przebiegają wszelkie poprawne rozumowania, w szczególności wnioskowania.*<sup>55</sup>

Logika matematyczna, to dział matematyki, który wyodrębnił się na przełomie XIX i XX wieku, wraz z dążeniem do dogłębnego zbadania podstaw matematyki. Koncentruje się ona na analizowaniu zasad rozumowania oraz pojęć z nim związanych z wykorzystaniem sformalizowanych oraz uściślonych metod i narzędzi matematyki.<sup>56</sup> Do podstawowych narzędzi matematyki należy zaliczyć aksjomaty. Zgodnie z definicją współczesnej matematyki aksjomaty są zdaniami wyodrębnionymi spośród wszystkich twierdzeń teorii, wybranymi tak, aby wynikały z nich wszystkie pozostałe twierdzenia tej teorii.<sup>57</sup> W budowie aksjomatów wykorzystuje się symbole logiczne takie jak koniunkcję, alternatywę, negację, implikację czy równoważność.<sup>58</sup> Dzięki nim wykonywana jest znacząca większość wnioskowania.

### 3.1.3. Teoria grafów

Równie istotnym obszarem w zakresie definiowania przedsięwzięć jest teoria grafów. Grafem nazywamy zbiór wierzchołków połączonych krawędziami, natomiast każda krawędź ma dwa końce, które są wierzchołkami w grafie. Na bazie sporządzonego grafu określane są drogi, czyli ciąg krawędzi. Na poniższym rysunku przedstawiono przykładowy graf.

---

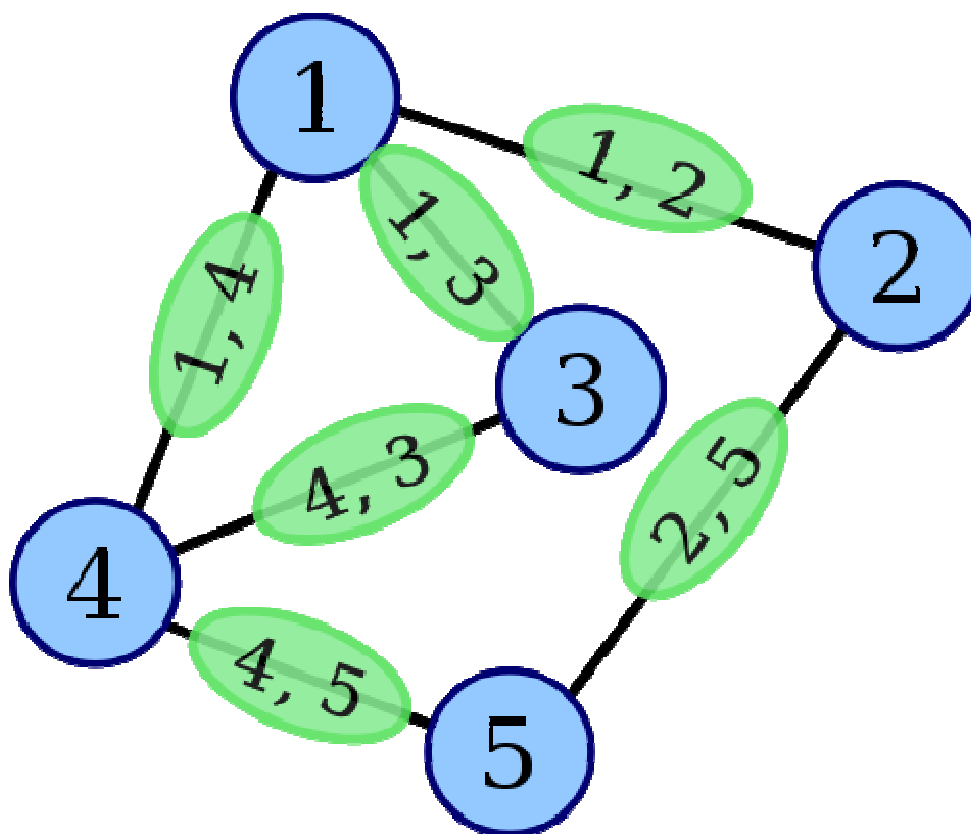
<sup>54</sup> <http://www.mimuw.edu.pl/~urzy/Wtm/wtm.pdf> str. 2

<sup>55</sup> [http://ukm.mat.uni.torun.pl/Swiecie/Swiecie\\_prezentacja5.pdf](http://ukm.mat.uni.torun.pl/Swiecie/Swiecie_prezentacja5.pdf) slajd 3

<sup>56</sup> [http://pl.wikipedia.org/wiki/Logika\\_matematyczna](http://pl.wikipedia.org/wiki/Logika_matematyczna)

<sup>57</sup> <http://pl.wikipedia.org/wiki/Aksjomat>

<sup>58</sup> <http://www.mimuw.edu.pl/~urzy/Wtm/wtm.pdf> str. 2



**Rysunek 6.** Przykład grafu

**Źródło:** [http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Line\\_graph\\_construction\\_2.svg&filetimestamp=20081129214525](http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Line_graph_construction_2.svg&filetimestamp=20081129214525), data pobrania: 10. 2011 r.

Teoria grafów pozwoliła na rozwiązanie tak znanego zagadnienia jakim jest problem komiwojażera, czyli określenie najkrótszej drogi do przebycia poprzez wszystkie wierzchołki grafu.<sup>59</sup>

### 3.1.4. Algorytmy

Dziedziną pochodną do teorii grafów jest dziedzina algorytmów. Zgodnie z definicją algorytm stanowi przepis opisujący krok po kroku rozwiązanie problemu lub osiągnięcie jakiegoś celu. Najstarsze algorytmy liczą około 2000 lat.<sup>60</sup> Istnieje kilka metod prezentacji algorytmów:

- słowny – zazwyczaj mało dokładny,
- lista kroków,
- schemat blokowy,

<sup>59</sup> [math.uni.lodz.pl/~marmaj/Files/grafyLic.pdf](http://math.uni.lodz.pl/~marmaj/Files/grafyLic.pdf)

<sup>60</sup> [http://www.staff.amu.edu.pl/~psi/informatyka/kluczew/I2\\_Algorithms.htm#Definicja](http://www.staff.amu.edu.pl/~psi/informatyka/kluczew/I2_Algorithms.htm#Definicja) algorytmu

- drzewo algorytmu.<sup>61</sup>

Każda z powyższych metod jest stosowana w praktyce, nie mniej za najbardziej rozwiniętą należy uznać drzewa algorytmów i rozwiązania od niej pochodne.

Drzewo posiada jeden, wyróżniony, charakterystyczny element, tzw. korzeń. Jest to jedyny element drzewa, który nie posiada elementów poprzednich i w praktyce oznacza „start”.<sup>62</sup>

Bardziej złożoną formą prezentacji algorytmów są schematy blokowe, które są tzw. metajęzykiem. Jest to język bardzo ogólny, służy do opisywania algorytmów w taki sposób, aby możliwe było ich zaimplementowanie w każdym języku informatycznym. Jego częściami składowymi są proste znaki graficzne, w których umieszczane są komendy i proste instrukcje.<sup>63</sup>

Wiedza z zakresu algorytmizacji i schematów blokowych znalazła szerokie zastosowanie w realizacji przedsięwzięć, także w ich zarządzaniu. Przyjmuje się, że pierwszym przedsięwzięciem zrealizowanym zgodnie ze współczesnymi pojęciami zarządzania projektami była budowa kolei transkontynentalnej w USA po 1870 roku. Na przełomie XIX i XX wieku Frederick Taylor badając i próbując optymalizować wydajność zespołów pracowniczych doszedł do wniosku, że każdą pracę można podzielić na mniejsze elementy, a najmniejszym z nich jest pojedynczy ruch. Takie podejście wpisywało się właśnie w teorię o algorytmach i schematach blokowych.

### **3.1.5. Harmonogram**

Z powyższymi wydarzeniami zbiega się wynalezienie harmonogramu, którego twórcą był Karol Adamiecki. Harmonogram stanowi rozkład, a dokładnie rozplanowanie czynności w czasie. Adamiecki jako pierwszy zastosował też metodę chronometrażu.<sup>64</sup> Polegało to na ustaleniu czasu potrzebnego na wykonanie pracy w określonych warunkach techniczno – organizacyjnych na podstawie określonej liczby pomiarów czasu.<sup>65</sup> Niestety Adamieckiego ubiegł Henry Gantt, który opracował sposób graficznej reprezentacji wielu różnych działań, wykonywanych w różnym czasie i składających się w jedno wspólne przedsięwzięcie i opublikował to w 1910 roku. Adamiecki opublikował swoją metodę w 1931 roku.

<sup>61</sup> [http://www.staff.amu.edu.pl/~psi/informatyka/kluczew/I2\\_Algorithms.htm#Sposobyprzedstawianiaalgorytmow](http://www.staff.amu.edu.pl/~psi/informatyka/kluczew/I2_Algorithms.htm#Sposobyprzedstawianiaalgorytmow)

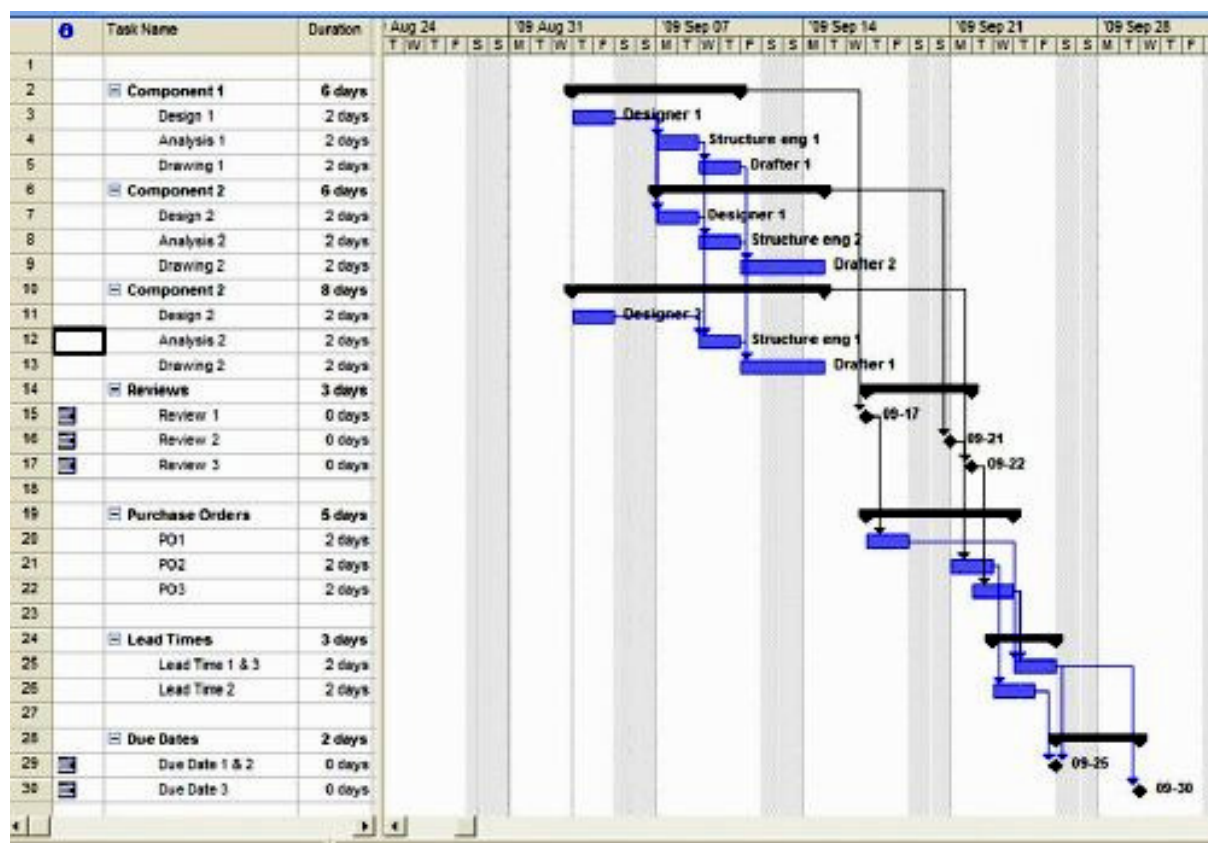
<sup>62</sup> <http://www.algorytm.org/klasyczne/drzewo.html>

<sup>63</sup> <http://www.algorytm.org/kurs-algorytmiki/schematy-blokowe.html>

<sup>64</sup> <http://pl.wikipedia.org/wiki/Harmonogram>

<sup>65</sup> <http://pl.wikipedia.org/wiki/Chronometra%C5%BC>

Na typowym wykresie Gantt'a wiersze zawierają stanowiska pracy, natomiast kolumny oznaczają jednostki czasu.<sup>66</sup> Plan działań przedstawiany jest w formie diagramu Gantt'a, stając najczęściej planowany do zrealizowany i następnie jako faktycznie realizowany, przez co samo narzędzie, jakim jest diagram Gantt'a służy do planowania i monitorowania realizacji przedsięwzięć.<sup>67</sup> Na poniższym wykresie przedstawiono typową prezentację projektu w postaci wykresu Gantt'a.



**Wykres 1.** Wykres Gantt'a przykładowego przedsięwzięcia

**Źródło:** <http://www.goldenline.pl/forum/1138546/widok-zadan-polaczonych-na-wykresie-Gantt'a>

### **3.1.6. Proces optymalizowania harmonogramu**

Kolejnym etapem rozwoju zarządzania projektami było opracowanie metod optymalizacji harmonogramów. Metody matematyczne do optymalizacji (metoda SIMPLEX) systemów i projektów militarnych oraz cywilnych stosowane były na szeroką skalę podczas II wojny światowej. Pod koniec lat 50 – tych w USA opracowano dwie metody optymalizacji tj. planowania sieciowego projektów:

<sup>66</sup> Kerzner H.: Project Management A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. John Wiley & Sons, 2001

<sup>67</sup> [http://mfiles.pl/pl/index.php/Wykres\\_Gantt'a](http://mfiles.pl/pl/index.php/Wykres_Gantt'a)

- Firma DuPont Inc. opracowała metodę ścieżki krytycznej (CPM – Critical Path Method) stosowaną do harmonogramowania projektów o zdeterminowanym czasie realizacji zadań składowych.
- Firma Lockheed Corporation opracowała metodę PERT (Programme Evaluation and Review Technique), którą stosuje się do harmonogramowania projektów z uwzględnieniem losowości czasu realizacji zadań składowych.

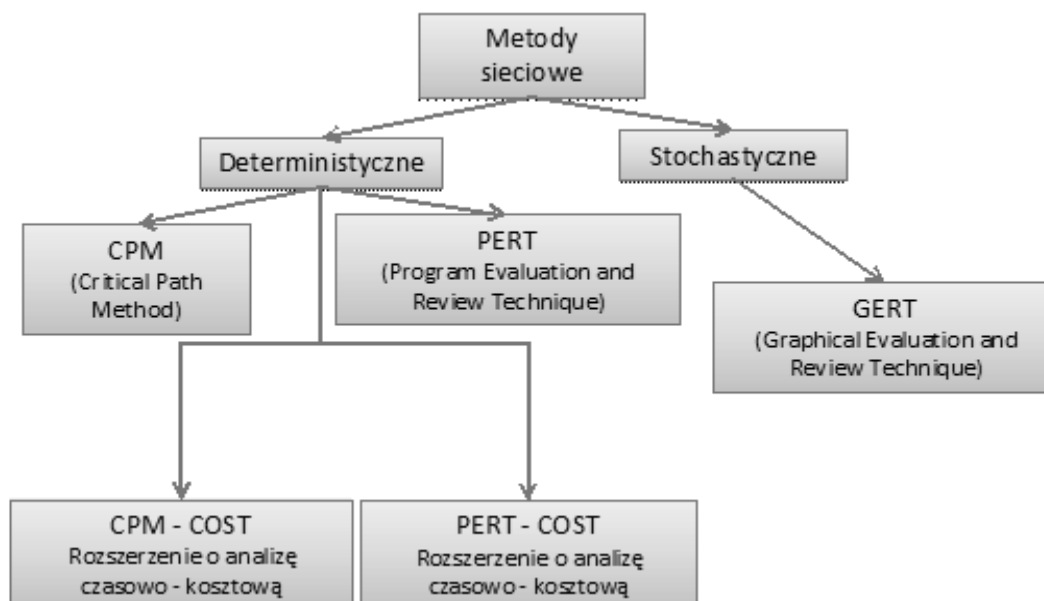
Metody te były w dalszym okresie rozwijane i obecnie stanowią podstawy w teorii zarządzania projektami.<sup>68</sup>

Ze względu na strukturę logiczną metody projektowania sieciowego dzieli się na dwie kategorie:

- Sieci o strukturze zdeterminowanej DAN (Deterministic Analysis Network),
- Sieci o strukturze stochastycznej GAN (Generalized Analysis Network).

Sieć o strukturze zdeterminowanej to taka, w której wszystkie zdefiniowane czynności będą zrealizowane. Sieć o strukturze stochastycznej to taka w której tylko część ze zdefiniowanych czynności będzie zrealizowana, a definiowanie czynności polega na przypisywaniu im prawdopodobieństwa realizacji.<sup>69</sup>

Na poniższym wykresie przedstawiono podział metod planowania sieciowego.



**Rysunek 7.** Podział struktur i modeli sieciowych

**Źródło:** [www.pbtlej.wsiz.rzeszow.pl/materialy/boii/badania\\_operacyjne\\_ii.doc](http://www.pbtlej.wsiz.rzeszow.pl/materialy/boii/badania_operacyjne_ii.doc), data pobrania 09.2011 r.

<sup>68</sup> [www.pbtlej.wsiz.rzeszow.pl/materialy/boii/badania\\_operacyjne\\_ii.doc](http://www.pbtlej.wsiz.rzeszow.pl/materialy/boii/badania_operacyjne_ii.doc)

<sup>69</sup> [www.uz.zgora.pl/~mpatan/materialy/bo/wyklady/druk\\_4d.pdf](http://www.uz.zgora.pl/~mpatan/materialy/bo/wyklady/druk_4d.pdf)

W celu definiowania przedsięwzięć, w tym przedsięwzięć biznesowych należy wyróżnić kilka definicji<sup>70</sup>:

- **Przedsięwzięcie (projekt, proces)** jest to zorganizowane działanie ludzkie zmierzające do osiągnięcia określonego celu, zawarte w skończonym przedziale czasu, z wyróżnionym początkiem, końcem oraz zrealizowane przez skończoną liczbę osób, środków technicznych, energii, materiałów, środków finansowych i informacji. Podstawowymi elementami przedsięwzięcia są zdarzenia i czynności.
- **Zdarzenie** w modelu sieciowym oznacza osiągnięcie stanu zaawansowania prac przy realizacji przedsięwzięcia.
- **Czynność** jest to dowolnie wyodrębniona część przedsięwzięcia charakteryzująca się trwaniem, terminem rozpoczęcia, zakończenia oraz ilością zaangażowanych do jej realizacji środków.

Zdarzenie może być efektem rozpoczęcia lub zakończenia jednej lub kilku czynności. Do jego definicji stosuje się następujące parametry:

$i$  – numer zdarzenia,  $i = 1, 2, 3, \dots$

$t_i$  – najwcześniejszy możliwy moment zaistnienia zdarzenia  $i$

$T_i$  – najpóźniejszy dopuszczalny moment zaistnienia zdarzenia  $i$

$L_i$  - zapas czasu dla zdarzenia  $i$ <sup>71</sup>

Konstruowanie sieci opisującej przedsięwzięcia przebiega według następującego schematu:

1. Zdefiniowanie celu i czasu realizacji projektu,
2. Wyodrębnienie listy czynności, w tym:
  - a. Ustalenie logicznego następstwa poszczególnych czynności,
  - b. Określenie parametrów czynności.
3. Wykreślenie wykresu Gantt'a.
4. Budowa diagramu sieciowego.
5. Wyznaczenie ścieżki krytycznej.
6. Interpretacja wyników.

Jak już wcześniej wspomniano przedsięwzięcie definiowane jest w postaci diagramu Gantt'a, natomiast przy pomocy metod CPM lub PERT może być ono optymalizowane pod kątem czasowym i kosztowym.

---

<sup>70</sup> [http://www.uz.zgora.pl/~mpatan/materialy/bo/wyklady/druk\\_4d.pdf](http://www.uz.zgora.pl/~mpatan/materialy/bo/wyklady/druk_4d.pdf) str. 2

<sup>71</sup> [www.pbetlej.wsiz.rzeszow.pl/materialy/boii/badania\\_operacyjne\\_ii.doc](http://www.pbetlej.wsiz.rzeszow.pl/materialy/boii/badania_operacyjne_ii.doc)

Metoda CPM pozwala zarówno planować, jak i analizować czasy trwania oraz koszty poszczególnych czynności wchodzących w skład projektu. Istotą tej metody jest planowanie przedsięwzięć w taki sposób, aby ich realizacja odbywała się jak najszybciej i po jak najniższym koszcie. Pojedyncze zdarzenie można uznać za zrealizowane dopiero wtedy, gdy wszystkie dochodzące do niego czynności zostaną wykonane.

Metoda PERT jest stochastyczną wersją metody CPM. Oznacza to, że czasy wykonywania poszczególnych czynności oraz czas realizacji całego przedsięwzięcia są zmiennymi losowymi. Przyjmuje się, że czasy te mają rozkład normalny.<sup>72</sup>

Powyżej opisane metody stanowią praktykowane techniki optymalizacji przedsięwzięć. Za ich pomoc definiowane są projekty zarówno małe /np. budowlane/ jak i te bardzo złożone (np. wyprawy w kosmos).<sup>73</sup>

Niestety planowanie nie gwarantuje realizacji zgodnie z założeniami. Bardzo często rzeczywistość mija się z tym, co w teorii wydawało się dobrze zdefiniowane i zaplanowane.

#### **3.1.6.1. Metoda ścieżki krytycznej CPM**

Metoda ścieżki krytycznej funkcjonuje w oparciu o teorię grafów. Łukom sieci przypisywane są liczby rzeczywiste przedstawiające rzeczywisty czas realizacji poszczególnych czynności  $(i,j) - t_{ij}$ . Węzły sieci, czyli zdarzenia, opisane są najwcześniejszym i najpóźniejszym możliwym terminem wystąpienia, odpowiednio  $T_i(w)$ ,  $T_i(p)$ . Zdarzenia w sieci są ponumerowane zgodnie z kolejnością ich występowania w czasie  $(1,2,...,n)$ .<sup>74</sup>

Następnym krokiem jest wyznaczenie zapasów czasu dla poszczególnych zdarzeń, zgodnie ze wzorem

$$L_i = T_i(p) - T_i(w) \quad (3.1)$$

W celu wyznaczenia ścieżki krytycznej oblicza się również zapasy czasu czynności zgodnie ze wzorem

$$Z_{i-j} = (T_j(p) - t_{i-j}) - T_i(w) \quad (3.2)$$

---

<sup>72</sup> [www.pbetlej.wsiz.rzeszow.pl/materialy/boii/badania\\_operacyjne\\_ii.doc](http://www.pbetlej.wsiz.rzeszow.pl/materialy/boii/badania_operacyjne_ii.doc)

<sup>73</sup> Angelis L., and Stamelos I.: A Simulation Tool for Efficient Analogy Based Cost Estimation. Empirical Software Engineering (5), 2000

<sup>74</sup> [http://www.issi.uz.zgora.pl/~mpatan/materialy/bo/wyklady/druk\\_6z.pdf](http://www.issi.uz.zgora.pl/~mpatan/materialy/bo/wyklady/druk_6z.pdf)

Ścieżka krytyczna stanowi najdłuższą drogę w sieci, a jej czas trwania jest równy terminowi końcowemu.<sup>75</sup>

### 3.1.6.2. Metoda PERT

Można pozwolić sobie na stwierdzenie, że metoda PERT jest pierwszym podejściem do urealnienia teoretycznej prezentacji projektu. Punktem wyjścia tej metody jest określenie dla każdej z czynności parametrów takich jak:

- Czas optymistyczny [a] – najkrótszy możliwy czas wykonania czynności,
- Czas pesymistyczny [b] – najdłuższy możliwy czas wykonania czynności,
- Czas modalny [m] – najbardziej prawdopodobny czas wykonania czynności.

Następnie w oparciu o te wartości wyliczane są następujące parametry:

- Średni czas wykonania czynności, określany wzorem

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (3.3)$$

- wariancja czasu trwania czynności, określana wzorem

$$\sigma^2 = \left[ \frac{b - a}{6} \right]^2 \quad (3.4)$$

gdzie:

- $T_e$  - średni czas realizacji danego przedsięwzięcia,
- $\sigma^2$  - Wariancję czasu realizacji całego przedsięwzięcia.

Średni czas realizacji danego przedsięwzięcia obliczany jest w drodze sumowania średnich czasów wykonania czynności znajdujących się na ścieżce krytycznej, którą znajdujemy analizując sieć i wyznaczając najdłuższą trasę z węzła początkowego do końcowego.

Wariancja czasu realizacji całego przedsięwzięcia liczona jest jako suma wszystkich wariancji na ścieżce krytycznej (jako suma wszystkich czynności leżących na ścieżce krytycznej).

W następnym kroku obliczane jest odchylenie standardowe  $\sigma$  czasu wykonania całego przedsięwzięcia  $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$  (odchylenie standardowe jest równe pierwiastkowi z wariancji).

Dzięki temu możemy określić, jakie jest prawdopodobieństwo, że przedsięwzięcie będzie zakończone w terminie  $T_i$ . W tym celu musimy rozwiązać zadanie typu – oblicz  $p(X < T_i)$  dla rozkładu normalnego.

W pierwszym kroku następuje standaryzacja rozważanej zmiennej losowej:

---

<sup>75</sup> [www.pbetlej.wsiz.rzeszow.pl/materialy/boii/badania\\_operacyjne\\_ii.doc](http://www.pbetlej.wsiz.rzeszow.pl/materialy/boii/badania_operacyjne_ii.doc)

$$z_i = \frac{T_i - T_e}{\sigma_T} \quad (3.5)$$

Dla obliczonej statystyki  $z_i$  z tablic rozkładu normalnego odczytujemy wartość dystrybuanty zmiennej losowej. Stanowi to szukane prawdopodobieństwo ukończenia projektu w wyznaczonym terminie  $T_i$ .<sup>76</sup>

Wychodząc z założenia, że powyżej opisana metoda ma na celu umożliwić zdefiniowanie projektu w taki sposób, aby określić rzeczywisty przebieg przedsięwzięcia, metodę tą należy jednak uznać za podejście prymitywne, ponieważ bazuje na trzech, uogólnionych parametrach, które nie są w stanie w precyzyjny sposób opisać charakteru poszczególnych czynności, w szczególności gdy tymi parametrami zamierza się definiować przyszłe czynności.

### **3.1.7. Podsumowanie**

Przedsięwzięcie, niezależnie od tego, czy jest biznesowe czy też nie jest związane z działalnością biznesową, w swej istocie jest zbiorem informacji, które należy przetworzyć. Obecnie najczęściej stosowaną metodą do definiowania przedsięwzięć jest diagram Gantt'a. Metoda ta wcześniej opracowana była przez Karola Adamieckiego, ale niestety nie opublikowana przez niego, stąd zasługi nie spływają pod adresem polskiego naukowca. Do optymalizacji przedsięwzięć definiowanych w postaci diagramu Gantt'a najczęściej stosowane są metody CPM lub PERT. Narzędzia te pozwalają w czytelny i precyzyjny sposób definiować obiektowo przedsięwzięcie. Metody te pozwalają również na dynamiczne definiowanie przedsięwzięcia, tj. bieżącą poprawę procesu w miarę upływu czasu. Jest to chyba najistotniejsza zaleta metody.

## **3.2. Ryzyko – definicja, reprezentacja**

Dziedzina zarządzania projektami dynamicznie rozwinęła się w kierunku zarządzania ryzykiem. Ryzyko występuje w każdej realizowanej działalności, zarówno biznesowej, społecznej, przyrodniczej, kulturowej i wielu innych. Ryzyko stanowi możliwość wystąpienia zdarzeń, zarówno negatywnych jak i pozytywnych, które mogą wpływać na zamierzone cele.<sup>77</sup>

Wiele z definicji ryzyka utożsamiane jest z prawdopodobieństwem. W takim rozumieniu ryzyko stanowi prawdopodobieństwo wystąpienia innego niż zakładano na wstępie rezultatu. Ważne jest, że inny stan nie zawsze musi oznaczać w efekcie gorszy wynik od założonego, dlatego bardziej uniwersalne od wskazywania istoty odstępstwa, czy jest ona pozytywna czy

<sup>76</sup> [www.pbetlej.wsiz.rzeszow.pl/materialy/boii/badania\\_operacyjne\\_ii.doc](http://www.pbetlej.wsiz.rzeszow.pl/materialy/boii/badania_operacyjne_ii.doc)

<sup>77</sup> [http://www.prawo.univ.gda.pl/knpf/files/publications/14\\_System\\_zarzadzania\\_ryzykiem.pdf](http://www.prawo.univ.gda.pl/knpf/files/publications/14_System_zarzadzania_ryzykiem.pdf)

negatywna jest stwierdzenie, że nastąpiło odchylenie od wzorca. Dlatego też ryzyko można przedstawić w sposób następujący:

$$R = f(P, S) \quad (3.6)$$

gdzie:

- R – ryzyko,
- P – prawdopodobieństwo,
- S - skutek.

Ze względu na różnorodną naturę ryzyka zdefiniowane zostały różne klasyfikacje, według których identyfikuje się to zagadnienie.

Jedna z praktykowanych klasyfikacji dzieli ryzyko na następujące kategorie<sup>78</sup>:

- Ryzyko polityczne – odnoszące się do struktur takich jak układ władzy, grupy społeczne, stosunki międzynarodowe.
- Ryzyko techniczne – uzależnione jest od stopnia nowoczesności maszyn i ich wykonania jak również sposobu eksploatacji. Istotą takich ryzyk jest możliwość wystąpienia awarii i w efekcie przestojów.
- Ryzyko ekonomiczne – wynikające z koniunktury gospodarczej, płac, kursów walut, stóp procentowych i podatkowych.

Tzw. Orange Book autorstwa Ministerstwa Skarbu Jej Królewskiej Mości wprowadził podział ryzyka na<sup>79</sup>:

- Zewnętrzne – wynikające ze środowiska zewnętrznego, które nie znajduje się w całości pod kontrolą, ale możliwe jest podjęcie pewnych działań w celu jego zmniejszenia.
- Operacyjne – związane z wykonywanymi operacjami, zarówno z realizacją zobowiązań, jak i budowaniem oraz utrzymywaniem wydajności i potencjału.
- Związane ze zmianą – wynikające z decyzji o realizacji nowych przedsięwzięć wykraczających poza obecne zdolności.

Inny podział ryzyka wywodzi się z dziedziny ubezpieczeń. Poniżej przedstawiono podział kategorii klasyfikacji ryzyk<sup>80</sup>:

- Ryzyka finansowe i niefinansowe,
- Ryzyka statyczne i dynamiczne,

---

<sup>78</sup> Nahotko S.: „Efektywność i ryzyko ekonomiczne w działalności gospodarczej”, Oficyna Wydawnicza Ośrodka Postępu Organizacyjnego, Bydgoszcz 1996

<sup>79</sup> Ministerstwo Skarbu Jej Królewskiej Mości: „Pomarańczowa Księga. Zarządzanie ryzykiem – zasady i koncepcje”, październik 2004

<sup>80</sup> [www.assembla.com/spaces/sum\\_zim/.../Ryzyko\\_Ubezpieczeniowe.doc](http://www.assembla.com/spaces/sum_zim/.../Ryzyko_Ubezpieczeniowe.doc)

- Ryzyka czyste i spekulatywne,
- Ryzyko fundamentalne i partykularne,
- Ryzyka przyrodnicze i społeczne,
- Ryzyka osobowe i majątkowe.

Kolejna propozycja podziału odnosi się do identyfikacji miejsc, gdzie mogą potencjalnie wystąpić odchylenia. Podział taki wynika z natury ryzyk ubezpieczeniowych i liczy sześć elementów<sup>81</sup>:

1. przegląd struktury organizacji, jej działów i departamentów,
2. analiza przepływów w organizacji,
3. analiza księgowa,
4. lustracja obiektów,
5. analiza wypadków, które spowodowały szkodę oraz tych, które tylko mogły ją spowodować,
6. analiza najsłabszych ogniw oraz przesłanek i odbioru ryzyka.

Istnieje kilka technik rejestracji ryzyk. W zależności od charakteru analizowanego przedsięwzięcia można wyróżnić następujące metody<sup>82</sup>:

- Rejestr maszynowy – możliwy do zrealizowania w przypadku wszelkiego rodzaju linii technologicznych realizujących przedsięwzięcie /np. produkcja samochodów/.
- Ankieta – metoda stosowana w przypadku przedsięwzięć, które realizowane są głównie zasobami ludzkimi. Ankieta przeprowadzana jest pośród osób zaangażowanych w realizację przedsięwzięcia i w zakresie odpowiadającym kompetencjom zaangażowanej grupy osób.
- Metoda Delficka – jest to metoda zaliczana do grupy metod heurystycznych, która została opracowana przez O. Helmera i N. Dalkey’a w latach 50 XX wieku. W metodzie tej wykorzystuje się formę pośrednią wyrażania opinii przez ekspertów. Jest to bardziej złożona metoda ankietowa, która polega na konfrontowaniu wyników ankiet, jako anonimowych komentarzy w kilku kolejnych rundach.

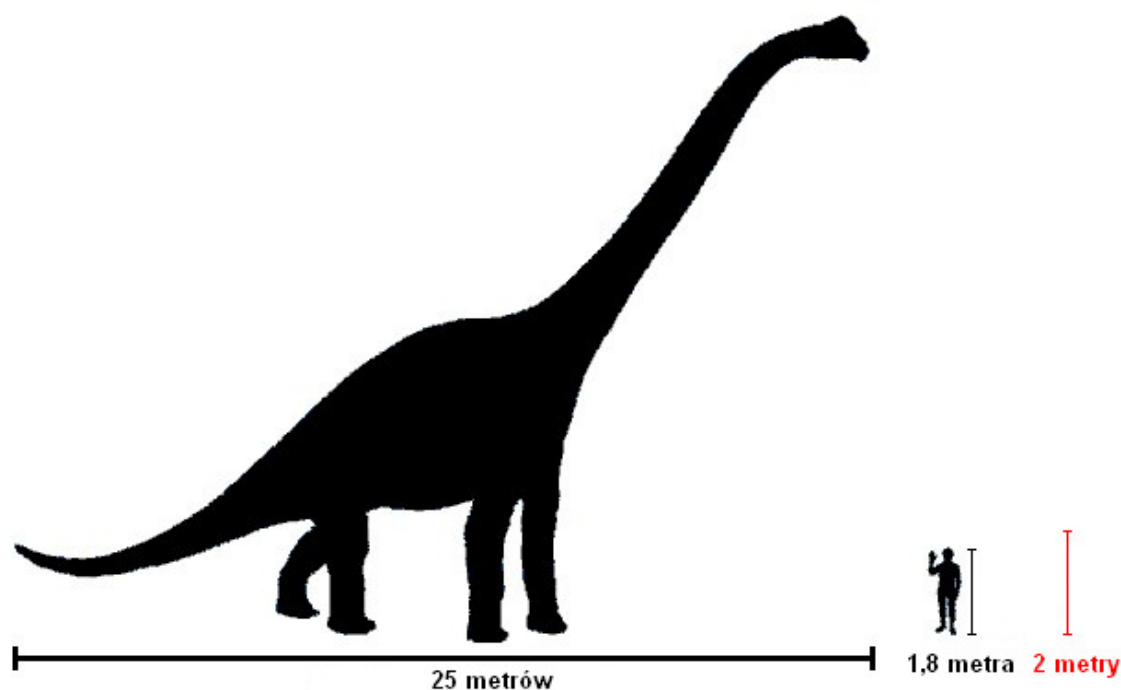
Dla ułatwienia przeprowadzenia rejestru ryzyk, zastosowanie znajdują w/w klasyfikacje ryzyk, które sugerują obszary ich poszukiwania.

Kolejnym bardzo ważnym aspektem jest określenie tzw. obserwatora. Zadanie to polega na określeniu punktu odniesienia, do którego przyrównywane będą skutki, odchylenia które

<sup>81</sup> [http://stare.ryzyko.pl/?l\\_menu=68](http://stare.ryzyko.pl/?l_menu=68)

<sup>82</sup> [http://mfiles.pl/pl/index.php/Technika\\_delficka](http://mfiles.pl/pl/index.php/Technika_delficka)

przypisane są poszczególnym ryzykom. Na poniższej grafice przedstawiono istotę doboru obserwatora do wielkości badanej.



**Rysunek 8.** Wymiary człowieka i dinozaura

**Źródło:** opracowanie własne

Jeżeli za obserwatora przyjąć człowieka, wysokość 2 metrów jest wielkością dużą. Z punktu widzenia dinozaura było z pewnością inaczej (jeśli dinozaury potrafiły choć trochę myśleć; współczesne badania dowodzą, że myślały, ale realizowały jedynie pojedyncze zadania?) Ta sama zasada dotyczy ryzyk przypisywanych przedsięwzięciu i odpowiedniej identyfikacji obserwatora. Najczęściej za punkt odniesienia, do którego przyrównuje się skutki wystąpienia ryzyka stosuje się wartości parametrów charakteryzujących przedsięwzięcie, przy czym najczęściej są to wskaźniki z analizy finansowej, takie, jak NPV, IRR, PP itd. lub rzadziej wielkości charakterystyczne innego rodzaju (np. czas, cele itd.).

Ma to bardzo ważne znaczenie przede wszystkim w przypadku bardzo dużych przedsięwzięć, gdzie do rejestracji ryzyk wykorzystuje się duże zbiory danych (ale także wiele opinii ekspertów o różnych specjalnościach i co za tym idzie doświadczeniu i percepcji postrzegania zagrożeń).

Pomiar ryzyka polega na przypisaniu konkretnemu ryzyku wartości charakteryzującej zakres skutków, jakie niesie za sobą to ryzyko. Mając na względzie różnorodność metod analizy ryzyk, również możliwości i sposoby definiowania miar ryzyk są niejednolite. W przypadku

analizy jakościowej miara ryzyka również ma charakter opisowy. W przypadku metody macierzowej, miara ryzyka jest wymuszana zdefiniowanymi przedziałami, na podstawie których grupuje się ryzyka. W przypadku metod symulacyjnych miara ryzyka jest wielkością liczbowa.<sup>83</sup>

Bardzo ważną kwestią jest nadanie wartości ryzyku. W praktyce może to być realizowane w różny sposób, choć podstawową formą jest określenie prawdopodobieństwa wystąpienia ryzyka oraz sformatowanie jego skutku (patrz wzór 3.6).

Ważną kwestią jest wartościowanie zmiennej S (skutku), czyli zasada, według której skutek odnosi się do wzorca (zdefiniowana wartość zmiennej charakterystycznej). Zmienna S może być definiowana jako negacja wzorca (Wz). W takiej sytuacji zmienną S zapiszemy jako:

$$S = \sim Wz \quad (3.7)$$

gdzie:

- S – skutek,
- Wz – wzorzec.

Do wartościowania zmiennej S w tej postaci można zastosować na przykład kod binarny. Ryzyka tak opisywane dotyczą wąskiej grupy zjawisk, gdzie identyfikuje się bardzo zaostrome kryteria, np. dobór grupy krwi do transfuzji, gdzie każda inna grupa niż pożądana jest nie do przyjęcia i stanowi w swej istocie niepożądany skutek.

Inną reprezentacją zmiennej S jest częściowe odstępstwo od wzorca, tzn.

$$S = N \cdot Wz \quad (3.8)$$

gdzie:

- S – skutek,
- N – wskaźnik odstępstwa, wyrażany np. jako wartość %,
- Wz – wzorzec.

Taki sposób definiowania zmiennej S jest szeroko stosowany w przedsięwzięciach, dla których odchylenie od pożądanego efektu mieści się w określonym przedziale możliwych rezultatów. Dla przykładu, jeśli wzorzec oznacza 100 osobników populacji będących wynikiem kolejnego rozrodu, to skutek może oznaczać zmniejszenie populacji o 20% w odniesieniu do populacji wzorcowej.

---

<sup>83</sup> Carr M., Konda S., Monarch I., Ulrich C.: Taxonomy-Based Risk Identification. Software Engineering Institute Carnegie Mellon University Pittsburgh, Pennsylvania 1993

Jak już wspomniano wcześniej bardzo ważnym dla poprawnej definicji ryzyk jest określenie obserwatora. Zazwyczaj w literaturze metody definicji ryzyk stosują za punkt odniesienia całościowy wynik przedsięwzięcia i w odniesieniu do niego określają odchylenie. Przykładem mogą być poniższe tabele prezentujące przykładowy podział ryzyk w oparciu o punkty progu.

| Odchylenie     |                    |
|----------------|--------------------|
| Opis           | Definicja          |
| Katastroficzny | Wpływ >75% na NPV  |
| Poważny        | Wpływ <75% na NPV  |
| Znaczący       | Wpływ <50% na NPV  |
| Średni         | Wpływ <25% na NPV  |
| Nieznaczący    | Wpływ <10% na NPV  |
| Żaden          | Brak wpływu na NPV |

**Tabela 7.** Klasyfikacja ryzyk pod kątem skutku / odchylenia

**Źródło:** Opracowanie własne

| Prawdopodobieństwo |                                                                                           |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Opis               | Definicja                                                                                 |
| Często             | Występuje cyklicznie przynajmniej raz w miesiącu; 75% szans na wystąpienie zdarzenia      |
| Regularnie         | Występuje cyklicznie przynajmniej raz w roku; 50% - 75% szans na wystąpienie zdarzenia    |
| Okazjonalnie       | Występuje cyklicznie przynajmniej raz na 3 lata; 30% - 50% szans na wystąpienie zdarzenia |
| Nieczęsto          | Występuje cyklicznie raz na 6 lat; 10% - 30% szans na wystąpienie zdarzenia               |
| Rzadko             | Nie występuje przez okres 10 lat; 1% - 10% szans na wystąpienie                           |
| Nigdy              | Nie występuje wcale; mniej niż 1% szans na wystąpienie                                    |

**Tabela 8.** Klasyfikacja ryzyk pod kątem częstości występowania

**Źródło:** Opracowanie własne

Istnieje również praktyka definiowania ryzyk z dodatkowym parametrem, o charakterze informacyjnym. Jego istota polega na oznaczeniu skutku nie tylko jako odchylenia od wzorca w rozumieniu ilościowym, ale jako oznaczenie efektu jako sukces lub porażka. W takiej sytuacji

definicja ryzyka jest rozwinięta o jeszcze jedną zmienną, i jest reprezentowana w sposób następujący.

$$R=f(P,S,E) \quad (3.9)$$

gdzie:

- R – ryzyko,
- P – prawdopodobieństwo wystąpienia ryzyka,
- S – skutek,
- E – efekt.

Taki zapis znajduje uzasadnienie w przypadku, gdy analizowane zagrożenie odnosi się do przedsięwzięcia, po którym następują kolejne czynności. Zmienna E przyjmuje wartości logiczne, które oznaczają albo kontynuację przedsięwzięcia, albo jego przerwanie. Zadaniem tej zmiennej jest określenie czy dane ryzyko nie tylko niesie za sobą skutek w postaci odchylenia od założonej wartości, ale również czy było na tyle poważne, że przerwało realizację przedsięwzięcia czy realizacja była możliwa do dalszej kontynuacji.

### **3.2.1. Podsumowanie**

W analizie ryzyka o charakterze ilościowym najbardziej trafną definicją ryzyka jest prawdopodobieństwo zaistnienia pewnego zdarzenia, nie uwzględnionego w realizacji przedsięwzięcia, które nie wpłynęło na jego definicję (harmonogram). Metody identyfikowania ryzyk mogą być w pełni zautomatyzowane jak również realizowane w drodze ankiet w ramach grup ekspertów.

Bardzo ważną kwestią dla poprawnego definiowania ryzyk jest określenie tzw. obserwatora, w odniesieniu do którego zachodzi wartościowanie ryzyk, a dokładnie ich oddziaływania na przedsięwzięcie (skutek / odchylenie).

Za mankament identyfikowania ryzyk należy wskazać jednowymiarową reprezentację skutków, gdzie zdarzenia najczęściej mogą przyjąć wydźwięk wielowymiarowy – wpływają na koszt, na czas realizacji, na jakość.

## 4. Opis algorytmu metody

### 4.1. Wstęp

Jak już zauważono we wcześniejszych częściach pracy, ryzyko jest nierozzerwalnie związane z wszelkiego rodzaju działaniami zarówno biznesowymi, jak i o innym charakterze. Spośród wielu wad dotychczas opracowanych metod analizy ryzyka należy wskazać w szczególności:

1. Trudności w gromadzeniu danych wejściowych, czyli danych o ryzykach.
2. Niekompatybilność wyników analizy ryzyka w dalszym procesie zarządzania, tzn. trudność interpretacji wyników i ich dalszego przetwarzania.

Pierwsza z wad związana jest z technikami identyfikacji i klasyfikacji ryzyk, w szczególności, gdy podejmowane działania nie są w pełni skomputeryzowane, automatycznie mierzone, ale w których ryzyka są definiowane na podstawie subiektywnych ocen specjalistów. Wadą takiego podejścia jest mała dokładność pomiarowa, zarówno w zakresie identyfikacji ryzyk, jak również ich wartościowania. Za niemożliwe należy uznać zdefiniowanie zamkniętego katalogu ryzyk, który można by uznać za kompletny.

Ponieważ przedsięwzięcia są zbiorem różnych zadań, więc źródła i charakter ryzyk są nieograniczone. W dotychczas stosowanych metodach analizy ryzyka bardzo często ich skutek był definiowany z punktu widzenia finalnego rezultatu, np. całkowitego wyniku finansowego przedsięwzięcia, niezależnie od tego, w którym momencie i w związku z którym elementem przedsięwzięcia był związany. Ma to swoje pozytywne strony, pozwala porównać ryzyka stosując jedną miarę. Nie mniej często skutek, jaki jest odnotowany na poziomie całego przedsięwzięcia jest wynikiem szeregu zdarzenia elementarnych, które były przypisane do danego ryzyka. Dla prześledzenia powstawania skutku zastosowanie mają drzewa błędów, drzewa zdarzeń, czy diagram Ishikawy. Nie mniej wykonanie takiej analizy dla każdego zidentyfikowanego ryzyka jest niezwykle czasochłonne i skomplikowane, w szczególności, gdy oczekujemy informacji ilościowej, nie jakościowej.

Również problematyczne jest wartościowanie ryzyk. Jak przedstawiono w poprzednim rozdziale ryzyko jest wielkością definiowaną za pomocą dwóch zmiennych, prawdopodobieństwa wystąpienia i skutku jaki za sobą niesie (wzór 3.6).

Trudność w wartościowaniu dotyczy obu zmiennych, zarówno prawdopodobieństwa jak i skutku, choć prawdopodobieństwo należy wskazać jako najbardziej problemowe. Najczęściej definiowanie prawdopodobieństwa odbywa się w drodze subiektywnej oceny eksperckiej. Rzadko jest to wykonywane w drodze pomiaru dającego precyzyjny wynik liczbowy. Skut-

kiem tego jest bardzo mała dokładność analizy, spowodowana małą dokładnością pomiaru prawdopodobieństwa wystąpienia ryzyka. Druga zmienna, skutek, jest łatwiej policzalna, aczkolwiek często wymaga zastosowania skomplikowanych narzędzi analitycznych. Wynika to z faktu, że ryzyka są identyfikowane na poziomie elementarnym /pojedyncze zdarzenia w życiu procesu/ a skutek określany jest z różnej perspektywy, z punktu widzenia wyniku całego przedsięwzięcia, jak i z punktu widzenia właśnie tych zdarzeń elementarnych. Niejednorodność metod utrudnia sprawne realizowanie analiz.

Powyższe jest tylko przyczynkiem do drugiej z wad, która polega na niekompatybilności wyników analizy ryzyka w dalszym procesie zarządzania. W zależności od przyjętej metody analizy ryzyka, wnioski przyjmują postać werbalną, graficzną lub ilościową. Umożliwiają one dalsze zarządzanie ryzykiem, czyli podejmowanie akcji przeciwdziałających potencjalnym ryzykom. Trudność dotyczy jednak przetwarzania wyników analizy ryzyka w dalszym procesie zarządzania przedsięwzięciem w oparciu o zasadę akceptacji poziomu ryzyka. Oczywiście należy wskazać tu metodę Value at Risk, jako tę, która podaje precyzyjnie margines ryzyka, czyli tzw. wartość zagrożoną, nie mniej zastosowanie tej metody jest dość istotnie ograniczone.

Również ważnym zagadnieniem dla analizy ryzyka jest rodzaj badanego skutku, czyli wielkości fizycznej, jaką reprezentuje. *De facto* ona stanowi istotę analizy ryzyka. Skutek odnosi się do cech, jakimi jest definiowany badany obiekt. W przypadku przedsięwzięcia może to być czas realizacji, jak i inna charakterystyczna cecha, np. wynik finansowy, liczebność płonów, wielkość populacji. Jest to uzależnione ewidentnie od charakteru badanego przedsięwzięcia, oraz tej cechy, której wrażliwość na zagrożenia ma być przedmiotem badań.

## **4.2. Opis metody**

Przedmiotem niniejszej dysertacji jest propozycja metody analizy ryzyka powielarnych procesów biznesowych z zastosowaniem algorytmów stochastycznych. Z powodzeniem należy ją zaliczyć do metod ilościowych. Dzięki swojej funkcjonalności może znaleźć zastosowania w szerszym zakresie przedsięwzięć, nie tylko o charakterze biznesowym.

Metoda ta zakłada analizę ryzyka przedsięwzięcia z punktu widzenia maksymalnie dwóch zmiennych charakterystycznych dla badanego procesu. Jedną z tych zmiennych w każdym wypadku będzie czas realizacji, co jest efektem zastosowania programowania sieciowego do definicji przedsięwzięcia. Druga zmienna charakterystyczna może mieć dowolny charakter, który będzie reprezentatywny dla czynności wchodzących w skład procesu. Zmienna ta z po-

wodzeniem może reprezentować wynik finansowy przedsięwzięcia, co jest typowe dla definicji procesów biznesowych.

Proces funkcjonowania metody podzielić można na cztery etapy. Na poniższym schemacie przedstawiono uproszczony schemat funkcjonowania metody.



**Rysunek 9.** Schemat postępowania proponowanej metody

**Źródło:** Opracowanie własne

Prezentowana metoda pomija konieczność definiowania ryzyk elementarnych, ograniczając się na zdefiniowaniu rzeczywistych wyników realizacji poszczególnych czynności, wchodzących w skład realizacji przedsięwzięcia. Następnie przy zastosowaniu algorytmów stochastycznych generowana jest populacja procesów o różnym przebiegu ich realizacji. Populacja ta w drodze optymalizacji jest przedmiotem sortowania i następnie prezentacji wyników w układzie trójwymiarowym lub dwuwymiarowym. Metoda umożliwia łącznie trzy scenariusze analizy:

1. dla układu trójwymiarowego, gdzie podstawą kryterium sortowania są dwie zmienne charakterystyczne.
2. Dla układu dwuwymiarowego:
  - a. gdy przedmiotem analizy ryzyka jest wyłącznie czas realizacji przedsięwzięcia, a druga zmienna charakterystyczna została pominięta.
  - b. gdy kryterium oceny stanowi zmienna wynikowa dwóch zmiennych charakterystycznych przedsięwzięcia.

#### **4.2.1. Definiowanie danych wejściowych**

W pierwszym etapie następuje definiowanie danych wejściowych. Kluczowe znaczenie dla tego etapu ma zakres wymaganych danych. Jak już wskazywano we wcześniejszych częściach pracy, jedną z podstawowych wad metod analizy ryzyka jest niekompletność zbioru ryzyk, oraz trudność w ich definiowaniu, np. poprzez określanie prawdopodobieństwa ryzyk elementarnych. Proponowana metoda już na etapie definicji danych wejściowych ogranicza zakres wymaganych informacji, przez co stanowi atrakcyjną konkurencję dla pozostałych metod analizy ryzyka. W zakresie definicji danych wymagane są następujące informacje:

1. Definicja obiektu, który jest przedmiotem badań. Obiekt stanowi przedsięwzięcie, a jego definicja jest realizowana zgodnie z teorią diagramów Gantt'a. Istnieje dowol-

ność w dzieleniu przedsięwzięcia na czynności składowe, pod warunkiem że możliwa będzie definicja pozostałych danych wejściowych, które *de facto* determinują szczegółowość podziału projektu na elementarne czynności. Każda czynność definiowana jest w postaci zbioru parametrów tj.:

- a. czas trwania czynności,
- b. wartość czynności (definiowana w przypadku wnioskowania w układzie trójwymiarowym, oraz za pomocą zmiennej wynikowej dwóch zmiennych charakterystycznych),
- c. liczba oraz precyzyjna indykacja poprzedzających czynności.

Tak zdefiniowane dane pozwalają utworzyć diagram Gantt'a dla badanego przedsięwzięcia. Tzw. zmienna charakterystyczna czynności jest pomijana w przypadku analizy dwuwymiarowej na podstawie jednej zmiennej charakterystycznej – czasu realizacji przedsięwzięcia. Zasadność jej uwzględnienia wynika z faktu, że rzadko przedsięwzięcia są charakteryzowane wyłącznie czasem realizacji. Najczęściej przypisana jest do nich druga zmienna charakterystyczna, określająca cel realizacji, np. założony wynik finansowy, wielkość upraw itp. Dlatego też ważnym jest aby również ta zmienna była przedmiotem analizy w zakresie oceny ryzyka. W takim przypadku, każda z czynności, oprócz informacji niezbędnych do zbudowania diagramu Gantt'a powinna zawierać również informację o zmiennej charakterystycznej czynności determinującej wpływ tej czynności na planowany efekt. Każda czynność definiowana jest w sposób następujący:

$$c_i = f(t, A, \sum p, p_0, \dots, p_n) \quad (4.1)$$

gdzie:

$c_i$  – czynność  $i$ ,

$t$  – czas wykonania czynności  $i$ ,

$A$  - wartość zmiennej charakterystycznej czynności określająca czynność  $i$  (pomijana dla układu dwuwymiarowego z wnioskowaniem na podstawie jednej zmiennej charakterystycznej),

$\sum p$  – suma czynności poprzedzających (poprzedników),

$p_0, \dots, p_n$  – numery czynności poprzedzających (poprzedników),

$i, n$  – liczby porządkowe.

2. Dla każdej zidentyfikowanej czynności definiowany jest rejestr realizacji, tzn. rzeczywistych realizacji tej czynności. Ponieważ każda czynność stanowi indywidualne

zdarzenie, które może zaistnieć bez konieczności realizacji innych czynności, zdarzenie jest rejestrowane za pomocą trzech parametrów:

- a. rzeczywisty czas realizacji,
- b. rzeczywista wartość czynności (pomijana dla układu dwuwymiarowego z wnioskowaniem na podstawie jednej zmiennej charakterystycznej),
- c. informacja czy czynność została wykonana z pozytywnym efektem, czy z porażką, tzn. czy udało się osiągnąć zamierzony efekt, czy też nie.

Zapis tych wielkości może też być realizowany w formie wielkości procentowych określających odchylenia od wartości wzorcowych. Wtedy zapis takiego zdarzenia realizowany jest w sposób następujący:

$$Z_{ij} = f(\Delta t_{ij}, \Delta A_{ij}, E_{ij}) \quad (4.2)$$

gdzie:

$Z_{ij}$  – zdarzenie nr j przypisane do czynności nr i,

$\Delta t_{ij}$  – zmiana czasu realizacji wynikająca ze zdarzenia nr j przypisanego do czynności nr i,

$\Delta A_{ij}$  – zmiana wartości zmiennej charakterystycznej wynikająca ze zdarzenia nr j przypisanego do czynności nr i (pomijana dla układu dwuwymiarowego z wnioskowaniem na podstawie jednej zmiennej charakterystycznej),

$E_{ij}$  – ostateczny efekt realizacji zdarzenia nr j przypisanego do czynności nr i. Parametr ten wskazuje czy czynność została skończona z pożądanym skutkiem i możliwe było kontynuowanie przedsięwzięcia, tzn. kolejnych czynności (sukces), czy jednak ta czynność nie była możliwa do wykonania, nawet przy zwiększonych nakładach czasowych i finansowych i nie możliwe było kontynuowanie przedsięwzięcia, czyli kolejnych czynności (porażka).

Istnieje kilka możliwych technik definiowania danych wejściowych. Wynikają one z charakteru przedsięwzięcia, jakie jest przedmiotem badań, a dokładnie z charakteru podejmowanych czynności i zasobów, jakie są angażowane do ich realizacji. W sytuacji, gdy przedmiotem badań jest proces wytwórczy realizowany za pomocą wysoce zautomatyzowanej linii produkcyjnej, technika definicji danych wejściowych może być w bardzo dużym stopniu zautomatyzowana. Proces wytwórczy jako przedsięwzięcie jest precyzyjnie określone, natomiast rejestr realizacji poszczególnych czynności może być w pełni skomputeryzowany. Należy jednak zauważyć, że dla tego typu przedsięwzięcia kluczowymi zasobami są maszyny. Innym przy-

kładem może być proces realizowany w głównej mierze przez ludzi. W takiej sytuacji za technikę definicji danych wejściowych można uznać ankietowanie, grupę Delficką itp.<sup>84</sup>

Bardzo ważnym odstępstwem od dotychczas stosowanych metod analizy ryzyka jest rezygnacja z definiowania prawdopodobieństwa ryzyk elementarnych. Eliminuje to bardzo dużą trudność dotychczas stosowanych metod. Warunkiem koniecznym jest jednak aby ilość zdefiniowanych realizacji dla każdej czynności była nie mniejsza niż trzydzieści. Wielkość próby ( $\geq 30$ ) wynika z praktykowanej wiedzy na temat prób statystycznych. Dla prób, których liczebność jest równa lub większa niż 30 sztuk, zachodzi zbieżność rozkładu t – Studenta z rozkładem normalnym, przez co można uznać taką próbę za reprezentatywną bez konieczności stosowania dodatkowych wskaźników modyfikujących.<sup>85</sup>

W poniższej tabeli zaprezentowano przykładową ankietę możliwą do zastosowania przy definiowaniu realizacji dla poszczególnych czynności.

| <b>Czynność XX</b> |                |                |                      |      |
|--------------------|----------------|----------------|----------------------|------|
| Lp.                | $\Delta A$ [%] | $\Delta t$ [%] | Sukces/porażka [0/1] | Opis |
| 1                  | ...            | ...            | ...                  | ...  |
| 2                  | ...            | ...            | ...                  | ...  |
| 3                  | ...            | ...            | ...                  | ...  |

**Tabela 9.** Przykład tabeli możliwych do zastosowania przy definiowaniu rejestrów realizacji dla poszczególnych czynności

**Źródło:** Opracowanie własne

Należy zwrócić również uwagę na fakt, że rejestr realizacji odpowiada rzeczywistym realizacjom danej czynności, stąd ich parametry wywodzą się z doświadczeń historycznych. Jednak w dalszej części realizacji procesu oceny ryzyk, wiedza o genezie poszczególnych realizacji staje się nieistotna dla wygenerowania tzw. krzywej ryzyka. Można stwierdzić, że w rejestrze realizacji liczącym minimum 30 przypadków, informacja przypisana do poszczególnych realizacji zanika, stając się nieistotną, gdyż kluczowe znaczenie ma zbiór wartości ewentualnych odchyłeń, a nie ich geneza.

#### **4.2.2. Symulacja stochastyczna**

Kolejnym etapem po zdefiniowaniu danych wejściowych jest przeprowadzenie szeregu symulacji o charakterze stochastycznym, których celem jest wygenerowanie populacji przedsię-

<sup>84</sup> Ignasiak E.: Sieciowe planowanie przedsięwzięć o niezdeterminowanej strukturze. Akademia Ekonomiczna, Poznań 1978

<sup>85</sup> <http://www.ioz.pwr.wroc.pl/Pracownicy/mercik/zbiory/Ekonometria%20wst%C4%99p/Rozk%C5%82ad%20tStudenta.pdf>

wzięć będących kompilacją procesu wzorcowego i zdefiniowanych odchyleń wynikających z zapisanych realizacji poszczególnych czynności.<sup>86</sup> Dla każdej czynności (zgodnie z wprowadzoną definicją procesu) z przypisanego jej rejestru realizacji losowane jest zdarzenie, które odwzorowuje faktyczną realizację tej czynności, tzn. albo zgodnie ze wzorcem, albo wskazuje odchylenia w funkcji czasu, zmiennej charakterystycznej, oraz wskazuje na ewentualną porażkę w realizacji danej czynności. Zgodnie z teorią programowania sieciowego zależności pomiędzy poszczególnymi czynnościami, dotyczące kolejności ich występowania, nie ulegają zmianie. W związku z powyższym w wyniku symulacji może nastąpić zmiana czasów realizacji poszczególnych czynności, być może zmiana czynności wchodzących w skład tzw. ścieżki krytycznej, również zmiana wartości charakteryzującej czynności, oraz ulec może zmianie efekt końcowy, poprzez niezrealizowanie przedsięwzięcia (któraś z czynności zakończyła się porażką).<sup>87</sup>

Podczas losowania zakłada się równe szanse dla każdego zdarzenia, jakie zostało zarejestrowane w rejestrze realizacji. W ten sposób rozkład odchyleń wylosowanych dla danej czynności wynikać będzie wyłącznie z faktycznych realizacji, jakie zostały zapisane w rejestrze dla danej czynności.

Losowanie stochastyczne jest realizowane zgodnie z metodą Monte Carlo. Stosowana jest ona do modelowania matematycznego procesów zbyt złożonych, aby można było przewidzieć ich wyniki za pomocą podejścia analitycznego.<sup>88</sup>

Zgodnie z definicją Buslenko N.P. i Golenko D.I., metoda prób statystycznych (inaczej zwana metodą Monte Carlo) polega na poszukiwaniu rozwiązania różnych zagadnień matematyki numerycznej poprzez konstrukcję dla każdego zadania procesu losowego z parametrami równymi szukanym wielkościom tego zadania. Przybliżone wartości tych wielkości otrzymuje się przez obserwacje procesu losowego i obliczenie jego charakterystyk statystycznych równych w przybliżeniu szukanym parametrom.

Pomimo tego, że idea metody Monte Carlo została zaprezentowana kilkadziesiąt lat temu, era informatyki umożliwiła jej wdrożenie na szeroką skalę. Sam fakt osiągnięcia ogromnych mo-

---

<sup>86</sup> Twardochleb M., Włoch P.: „Wspomaganie procesu podejmowania decyzji dla modelu zagadnienia inwestycyjnego z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo”, Konferencja InfoGryf 2010.

<sup>87</sup> Rolski T.: „Wykład z symulacji stochastycznej i teorii Monte Carlo”, Instytut Matematyczny, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław 2009

<sup>88</sup> [http://www.montecarlo.nasadowski.com/index.php?str=zastosowanie\\_metod\\_monte\\_carlo](http://www.montecarlo.nasadowski.com/index.php?str=zastosowanie_metod_monte_carlo)

cy obliczeniowych, oraz możliwość zapamiętywania wyników losowania generatorami pseudolosowymi, pozwala na powtarzanie prowadzonych badań.<sup>89</sup>

#### **4.2.3.     *Optymalizacja obiektu metodą CPM***

Pierwszym etapem przetworzenia danych po ich wygenerowaniu jest optymalizacja diagramu Gantt'a za pomocą metody ścieżki krytycznej (Critical Path Method). Metoda CPM została szerzej opisana w części 2.1.6.1.

Jej funkcjonowanie oparte jest na teorii grafów, gdzie łukom sieci przypisywane są liczby rzeczywiste przedstawiające rzeczywisty czas realizacji poszczególnych czynności. Węzły sieci są natomiast opisane najwcześniejszymi i najpóźniejszymi możliwymi terminami wystąpienia.

Celem tej optymalizacji jest wyznaczenie całkowitego czasu realizacji przedsięwzięcia. Tak wyznaczona wartość ma posłużyć do weryfikacji odstępstwa wygenerowanego procesu od procesu wzorcowego, w rozumieniu czasu realizacji przedsięwzięcia. Całkowity czas realizacji, jak i zoptymalizowany diagram Gantt'a może też zostać wykorzystany do przetworzenia drugiej zmiennej charakterystycznej opisującej przedsięwzięcie, w szczególności, gdy przedmiotem badań jest przedsięwzięcie biznesowe, a druga zmienna to wartość finansowa. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w części 4.2.4. poświęconej sortowaniu.

#### **4.2.4.     *Sortowanie***

Kolejnym etapem jest sortowanie wygenerowanych przedsięwzięć w populacji według odgórnie przyjętego kryterium. Istotę kryterium może określać każda ze zmiennych charakteryzujących przedsięwzięcie, tj. czas realizacji, druga zmienna charakterystyczna, lub kombinacja tych dwóch zmiennych.<sup>90</sup> Celem sortowania jest określenie kolejności wygenerowanych przedsięwzięć w ramach stworzonej populacji, które charakteryzują się coraz to większym odchyleniem od wartości wzorcowych. W ten sposób możliwe jest wyznaczenie krzywej ryzyka, odpowiadającej rozkładowi prawdopodobieństwa osiągnięcia danych wyników dla tego samego przedsięwzięcia.

---

<sup>89</sup> Halton J. H.: Sequential Monte Carlo Techniques for the Solution, Journal of Scientific Computing, 1994

<sup>90</sup> Rozenberg L., Trojczak - Golonka P.: „Proces odkrywania wiedzy z baz danych (na przykładzie bazy danych przedsiębiorstw)”, Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej RPI'2006, Szczecin, 2006

W zależności od przyjętej definicji przedsięwzięcia, krzywa ryzyka, czyli rozkład prawdopodobieństwa może mieć postać dwu – lub trójwymiarową. Jest to wynikiem poniżej opisanych scenariuszy:

1. Reprezentacja trójwymiarowa:

Przedsięwzięcie jest definiowane dwiema zmiennymi, w tym czasem realizacji i drugą zmienną charakterystyczną dla przedsięwzięcia. W takiej sytuacji prawdopodobieństwo jest definiowane następującą funkcją:

$$P = f(t_{\text{całkowity}}, WP) \quad (4.3)$$

gdzie:

P – prawdopodobieństwo,

$t_{\text{całkowity}}$  – całkowity czas realizacji przedsięwzięcia.

WP – wartość charakterystyczna przedsięwzięcia.

2. Reprezentacja dwuwymiarowa

- a. Przedsięwzięcie jest definiowane wyłącznie czasem realizacji, i czas stanowi kryterium sortowania. W takiej sytuacji prawdopodobieństwo jest definiowane następującą funkcją:

$$P = f(t_{\text{całkowity}}) \quad (4.4)$$

gdzie:

P – prawdopodobieństwo,

$T_{\text{całkowity}}$  – całkowity czas realizacji przedsięwzięcia.

- b. Przedsięwzięcie jest definiowane jedną zmienną, będącą wynikiem przekształcenia zmiennych charakteryzujących przedsięwzięcie, tzn. czasu realizacji i wartości charakterystycznej dla przedsięwzięcia. W takiej sytuacji prawdopodobieństwo jest definiowane następującą funkcją:

$$P = f(N),$$

$$\text{gdzie } N = f(t_{\text{całkowity}}, WP) \quad (4.5)$$

gdzie:

P – prawdopodobieństwo,

N – zmienna wynikowa, zależna od  $t_{\text{Całkowity}}$  i WP.

$t_{\text{Całkowity}}$  – całkowity czas realizacji przedsięwzięcia.

WP – wartość charakterystyczna przedsięwzięcia.

W dwóch sytuacjach, dla układu trójwymiarowego i dwuwymiarowego z sortowaniem na podstawie zmiennej wynikowej zmiennych charakterystycznych, dla potrzeb sortowania równie istotne znaczenie ma wyznaczenie wartości charakterystycznej przedsięwzięcia - WP. Wielkość ta stanowi sumę wartości charakterystycznych przypisanych do poszczególnych czynności i jest reprezentowana następującą formułą:

$$WP = \sum WC_i \quad (4.6)$$

gdzie:

WP – wartość charakterystyczna przedsięwzięcia,

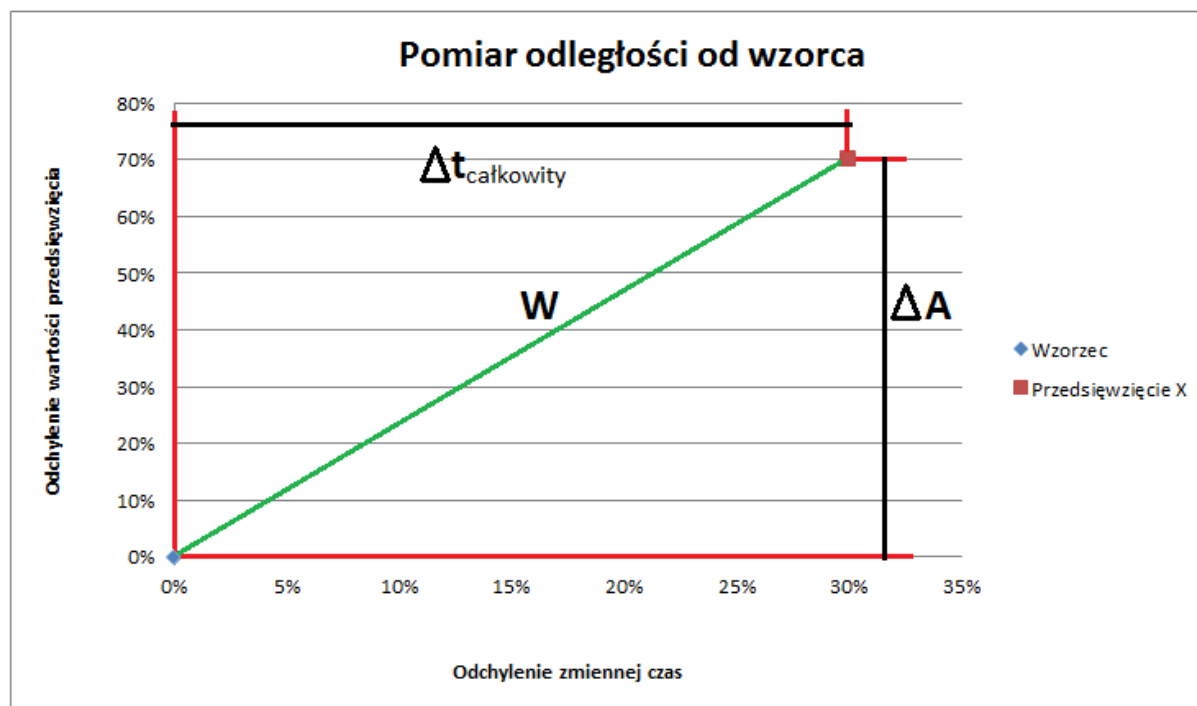
WC<sub>i</sub> – wartość charakterystyczna i – tej czynności.

#### **4.2.4.1. Sortowanie w trzech wymiarach 3D**

Sortowanie 3D uwzględnia fakt, że analizie podlegają procesy identyfikowane dwiema zmiennymi charakterystycznymi.

W sytuacji, gdy przedsięwzięcie identyfikowane jest dwiema zmiennymi, pojawia się problem związany z wyborem kryterium sortowania. W sortowaniu nie można zastosować dwóch niezależnych zmiennych z tą samą uwagą, należy wskazać bezwzględnie jedno kryterium. W takiej sytuacji kluczowym zagadnieniem jest określenie relacji pomiędzy dwiema zmiennymi charakterystycznymi. Zasadniczym jest pytanie, czy któraś ze zmiennych jest wiodąca, bardziej ważna, jeżeli tak to, w jakim stopniu, jak rozróżnić dwie zmienne.

Należy również zauważyć, że dwie zmienne charakteryzujące przedsięwzięcie reprezentują różne wielkości. Stąd, aby możliwe było ich wspólne przetworzenie niezbędne jest odniesienie ich do tej samej miary. W tym celu można zastosować miarę odchylenia wyrażaną w wartościach procentowych. Dla każdej ze zmiennych przeprowadzane jest badanie odstępstwa od wartości wzorcowej, przez co przedmiotem badania jest zmienność, a nie faktyczna wartość danej zmiennej. Dzięki tak wyznaczonym wielkościom możliwe jest wyznaczenie wielkości odchylenia (**W**), która stanowi odległość euklidesową od wzorca. Na poniższym wykresie zaprezentowano, w jaki sposób określa się wielkość wektora dla każdego wygenerowanego procesu.



**Rysunek 10.** Prezentacja graficzna wyników wzorca i przykładowego procesu X

**Źródło:** opracowanie własne

Zmienne wyrażane w wartościach procentowych wyznaczone są według następujących formuł:

1. Wartość przedsięwzięcia – wartość parametru wyznaczona według formuły:

$$\Delta A = \Delta WP_i[\%] = \frac{WP_{\max}[j] - WP_i[j]}{WP_{\max}[j] - WP_{\min}[j]} \cdot 100\% \quad (4.7)$$

gdzie:

$\Delta WP_i[\%]$  – odchylenie wielkości charakteryzującej i – te przedsięwzięcie, wyrażana w procentach.

$WP_i[j]$  – wielkość charakteryzująca i – te przedsięwzięcie, wyrażana w charakterystycznych dla niej jednostkach.

$WP_{\max}[j]$  – maksymalna wielkość charakteryzująca przedsięwzięcie z populacji, wyrażana w charakterystycznych dla niej jednostkach.

$WP_{\min}[j]$  – minimalna wielkość charakteryzująca przedsięwzięcie z populacji, wyrażana w charakterystycznych dla niej jednostkach.

2. Czas – wartość parametru wyznaczona według formuły:

$$\Delta B = \Delta t_{\text{całkowity}_i}[\%] = \frac{t_{\text{całkowity}_i}[\text{dni}] - t_{\text{całkowity}_{wz}}[\text{dni}]}{t_{\text{całkowity}_{\max}}[\text{dni}] - t_{\text{całkowity}_{\min}}[\text{dni}]} \cdot 100\% \quad (4.8)$$

gdzie:

$\Delta t_{\text{całkowity } i} [\%]$  – odchylenie wielkości charakteryzującej czas wykonania  $i$  – tego procesu, wyrażana w procentach.

$t_{\text{całkowity } i} [\text{dni}]$  – wielkość charakteryzująca czas wykonania  $i$  – tego procesu, wyrażana w dniach.

$t_{\text{całkowity } WZ} [\text{dni}]$  – wielkość charakteryzująca czas wykonania procesu, wyrażana w dniach.

$t_{\text{całkowity } \max} [\text{dni}]$  – maksymalna wielkość charakteryzująca czas wykonania procesu, wyrażana w dniach.

$t_{\text{całkowity } \min} [\text{dni}]$  – minimalna wielkość charakteryzująca czas wykonania procesu, wyrażana w dniach.

Oczywiście jednostki, w jakich wyrażany jest czas realizacji mogą mieć różną wartość zgodnie z obowiązującym podziałem jednostek czasu.

Jak można zauważyć istnieje różnica w wyznaczaniu odstępstwa procentowego dla zmiennej określającej czas realizacji przedsięwzięcia i zmiennej określającej wartość przedsięwzięcia. Wynika to z charakteru zmiennej. Ponieważ wedle proponowanej metody jednym z parametrów cechujących czynności jest zmienna określająca efekt, tzn. sukces lub porażkę, niezbędnym było uwzględnienie sytuacji, w której na skutek porażki, przedsięwzięcie zakończyło się w krótszym terminie niż zakładano. Dlatego tak jak w przypadku wartości charakterystycznej założono, że wynikiem generacji może być wartość równa lub mniejsza od wartości wzorcowej, tak w przypadku zmiennej określającej czas realizacji odchylenie może zaistnieć w obu kierunkach, tzn. wydłużyć (w przypadku sukcesu) lub skrócić (w przypadku porażki) czas realizacji przedsięwzięcia.

Następnie w celu wyliczenia odchylenia  $i$  – tego procesu od procesu wzorcowego, jak już wspomniano należy posłużyć się twierdzeniem Pitagorasa stosując poniższą formułę:

$$W = \sqrt{(\Delta A)^2 + (\Delta B)^2} \quad (4.9)$$

gdzie:

$W$  – wielkość wektora.

$\Delta A$  – różnica wielkości  $A$  wzorca i badanego procesu.

$\Delta B$  – różnica wielkości  $B$  wzorca i badanego procesu.

Powyższa formuła znajduje zastosowanie w sytuacji, gdy obie zmienne są analizowane z równą wagą. Należy jednak uwzględnić sytuację, w której któryś z parametrów będzie ważniejszy w ocenie ryzyka.

W takiej sytuacji należy uwzględnić konieczność określenia wag dla obu parametrów. Wagi te określałyby relacje pomiędzy tymi parametrami w zadaniu oceny procesu, wskazując na bardziej i mniej istotny parametr.

Dla takiej sytuacji określanie wielkości wektora odbywać się powinno za pomocą następującej funkcji:

$$W = \sqrt{X \cdot (\Delta A)^2 + Y \cdot (\Delta B)^2}, \text{ przy czym } X+Y=1 \quad (4.10)$$

gdzie:

W – wielkość wektora,

$\Delta A$  – różnica wielkości A wzorca i badanego procesu,

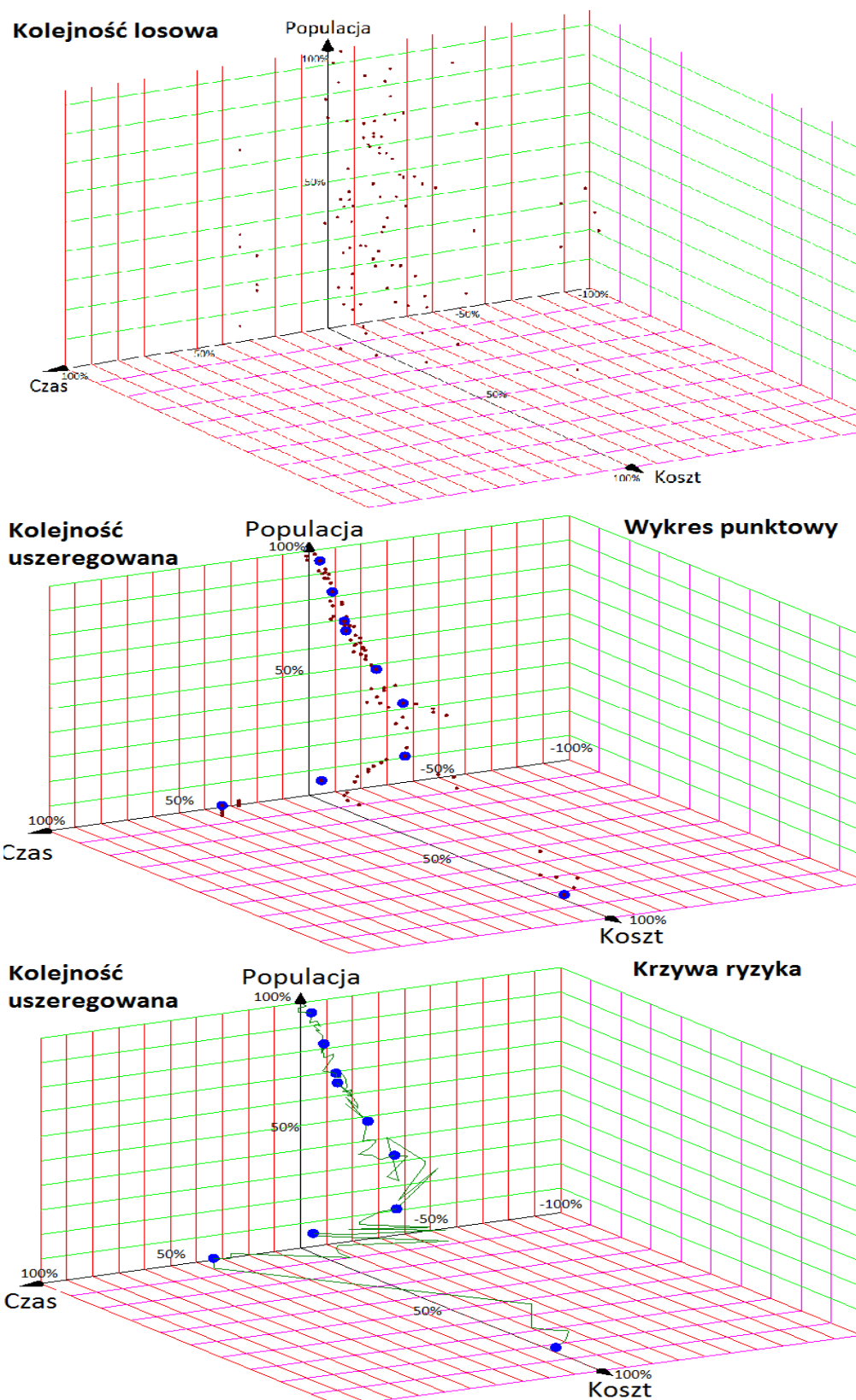
$\Delta B$  – różnica wielkości B wzorca i badanego procesu,

X – waga dla parametru  $\Delta A$ ,

Y – waga dla parametru  $\Delta B$ .

Wadą wartościowania jest trudność w określeniu wag, a dokładnie subiektywność tej oceny. Można zatem przyjąć, że technika sortowania z uwzględnieniem wag jest jak najbardziej możliwą do zastosowania, nie mniej wyniki i ich interpretacja są ewidentnie uznaniowe, podlegające subiektywnej ocenie, przez co trudno uznać je za reprezentatywne w szerszym kontekście.

Na poniższym wykresie zaprezentowano populację procesów będących efektem symulacji stochastycznej oraz posortowaną reprezentację populacji procesów, w postaci punktowej i liniowej. Niebieskimi punktami oznaczono wartości reprezentujące interwały 10% na osi prawdopodobieństwa.



**Wykres 2.** Reprezentacja populacji procesów jako wynik symulacji stochastycznej i posortowana populacja procesów

**Źródło:** Opracowanie własne

#### **4.2.4.2. Sortowanie w dwóch wymiarach 2D**

Zgodnie z opisaną w punkcie 4.2.4. reprezentacją prawdopodobieństwa, istnieją scenariusze definiowania tej funkcji w układzie dwuwymiarowym. Jest to sytuacja, w której, albo prawdopodobieństwo jest funkcją jednej zmiennej – czasu realizacji przedsięwzięcia, albo, gdy prawdopodobieństwo jest funkcją zmiennej będącej wynikiem dwu zmiennych charakterystycznych, tj. czasu realizacji i zmiennej reprezentującej wartość przedsięwzięcia.

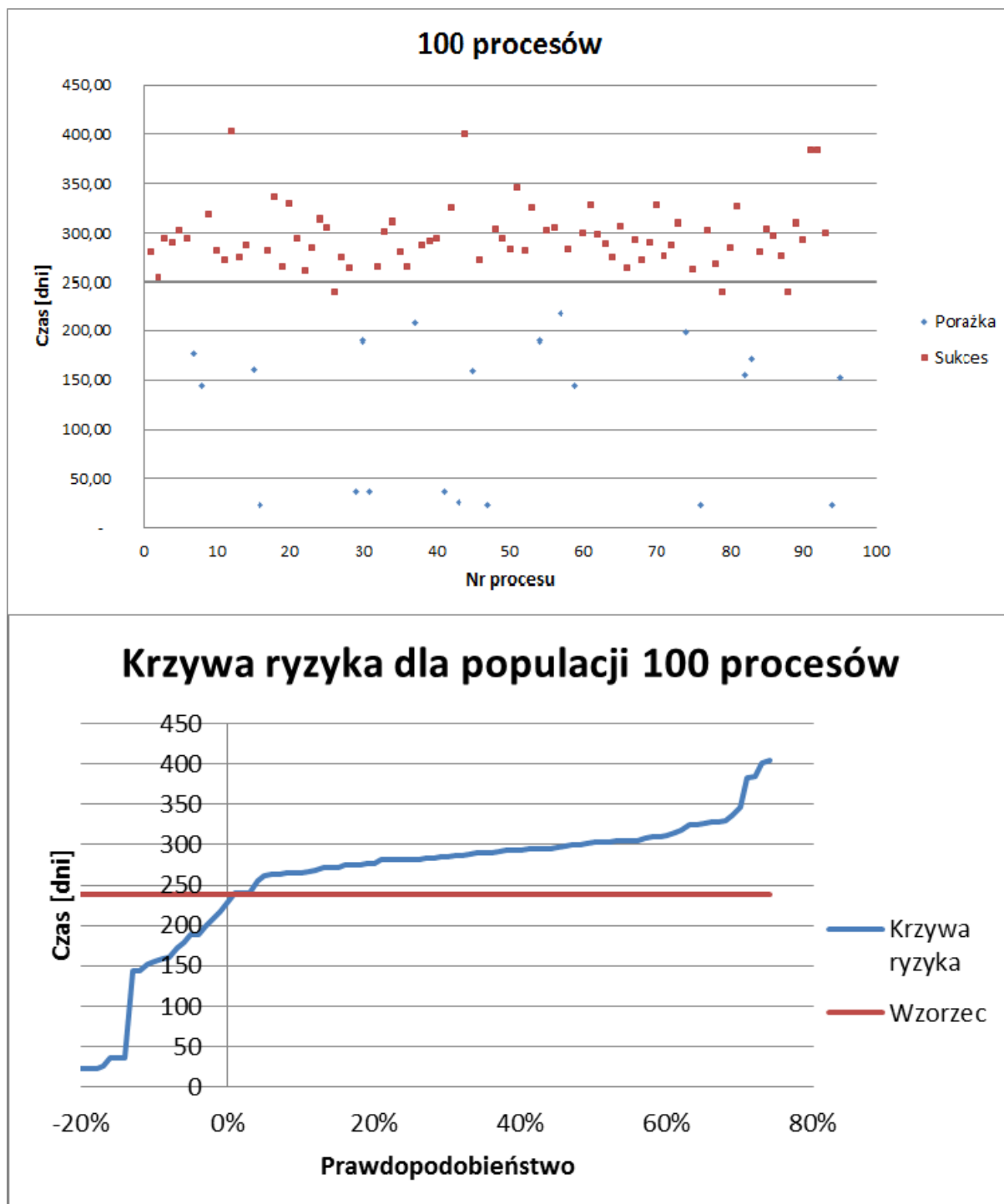
##### **4.2.4.2.1. Sortowanie 2D dla jednej zmiennej charakterystycznej – czas realizacji**

Pierwszy przypadek sortowania w układzie dwuwymiarowym reprezentuje przedsięwzięcia, które stanowią typowy wyścig z czasem. Kryterium sortowania stanowi w tym przypadku zmienna charakteryzująca całkowity czas realizacji przedsięwzięcia. Druga zmienna charakterystyczna nie jest brana pod uwagę w analizie ryzyka, lub w ogóle nie występuje. Celem takiego sortowania jest określenie prawdopodobieństwa odchylenia czasu realizacji przedsięwzięcia.

Ważnym zagadnieniem dla tego przypadku jest zależność osiągniętego efektu realizacji przedsięwzięcia (sukces lub porażka) od czasu realizacji. Punktem odniesienia jest czas realizacji przedsięwzięcia zdefiniowany dla procesu wzorcowego. W odniesieniu do tej wartości wytyczana jest krzywa ryzyka, która z lewej strony przedstawia procesy zakończone porażką, a z prawej strony procesy zakończone sukcesem.

Na poniższym wykresie przedstawiono populację procesów wygenerowanych w drodze symulacji stochastycznej, oraz posortowaną reprezentację tej samej populacji procesów.

Na osi odciętych wyznaczono kolejno wygenerowane procesy. Z powodzeniem można by stwierdzić, że reprezentuje ona iteracje. Jednak należy wziąć pod uwagę, że wykres obrazuje jedynie fragment uzyskanych wyników pracy systemu. Każdy proces reprezentowany na wykresie w postaci punktowej za pomocą zmiennej czas realizacji, stanowi jednocześnie zbiór wiedzy na temat samego wygenerowanego procesu (opóźnienia poszczególnych czynności, sukces lub porażka realizacji). Dlatego oś odciętych reprezentuje kolejno ponumerowane procesy, stanowiące każdorazowo zbiór danych.



**Wykres 3.** Reprezentacja populacji procesów jako wynik symulacji stochastycznej i sortowania według zmiennej czas realizacji

**Źródło:** Opracowanie własne

#### 4.2.4.2.2. Sortowanie 2D dla zmiennej wynikowej dwóch zmiennych charakterystycznych

Drugim z przypadków sortowania dwuwymiarowego jest sytuacja, w której możliwe jest przekształcenie dwóch zmiennych charakterystycznych w jedną zmienną, która reprezentuje

obie zmienne. W przypadku przedsięwzięć biznesowych ich definicja najczęściej polega na określeniu czasu realizacji i wartości finansowej (kosztów, przychodów). Dla tak zdefiniowanego przedsięwzięcia możliwe jest zastosowanie tzw. metody dyskontowej, która pozwala przekształcić zmienne reprezentujące czas realizacji i nakłady finansowe, w jedną wspólną zmienną o nazwie „wartość bieżąca netto”. Metoda dyskontowa jest narzędziem analizy finansowej stosowanym powszechnie na całym świecie. Zadaniem tej metody jest wycena przyszłych pozycji finansowych (kosztów i przychodów) na moment realizacji analizy. Dzięki jej zastosowaniu możliwe jest porównanie przedsięwzięć charakteryzujących się różnym okresem realizacji.

Dla wyznaczenia zmiennej NPV zastosowanie ma poniższa formuła:

$$NPV = \sum_{t=0}^n NCF_t \cdot (1+r)^{-t} \quad (4.11)$$

gdzie:

NPV – wartość bieżąca netto (Net Present Value).

$NCF_t$  – przepływy pieniężne netto w kolejnych latach okresu obliczeniowego.

$r$  – stopa dyskonta.

$t$  – kolejny rok okresu obliczeniowego.

Dla metody dyskontowej możliwe jest zastosowanie różnych jednostek czasu, nie tylko mierzonych w latach kalendarzowych.<sup>91</sup> W przypadku zmiennych charakteryzujących się czasem trwania mierzonym w innych jednostkach niż lata kalendarzowe, stosuje się proporcje czas w roku do pełnego roku kalendarzowego. Dla przykładu, jeżeli czas mierzony jest w dniach, zastosowanie znajduje formuła wyrażająca stosunek liczby dni do liczby dni w roku kalendarzowym, tj. 365 dni, czyli:

$$t = \frac{d}{365} \quad (4.12)$$

gdzie:

$t$  – wskaźnik okresu obliczeniowego

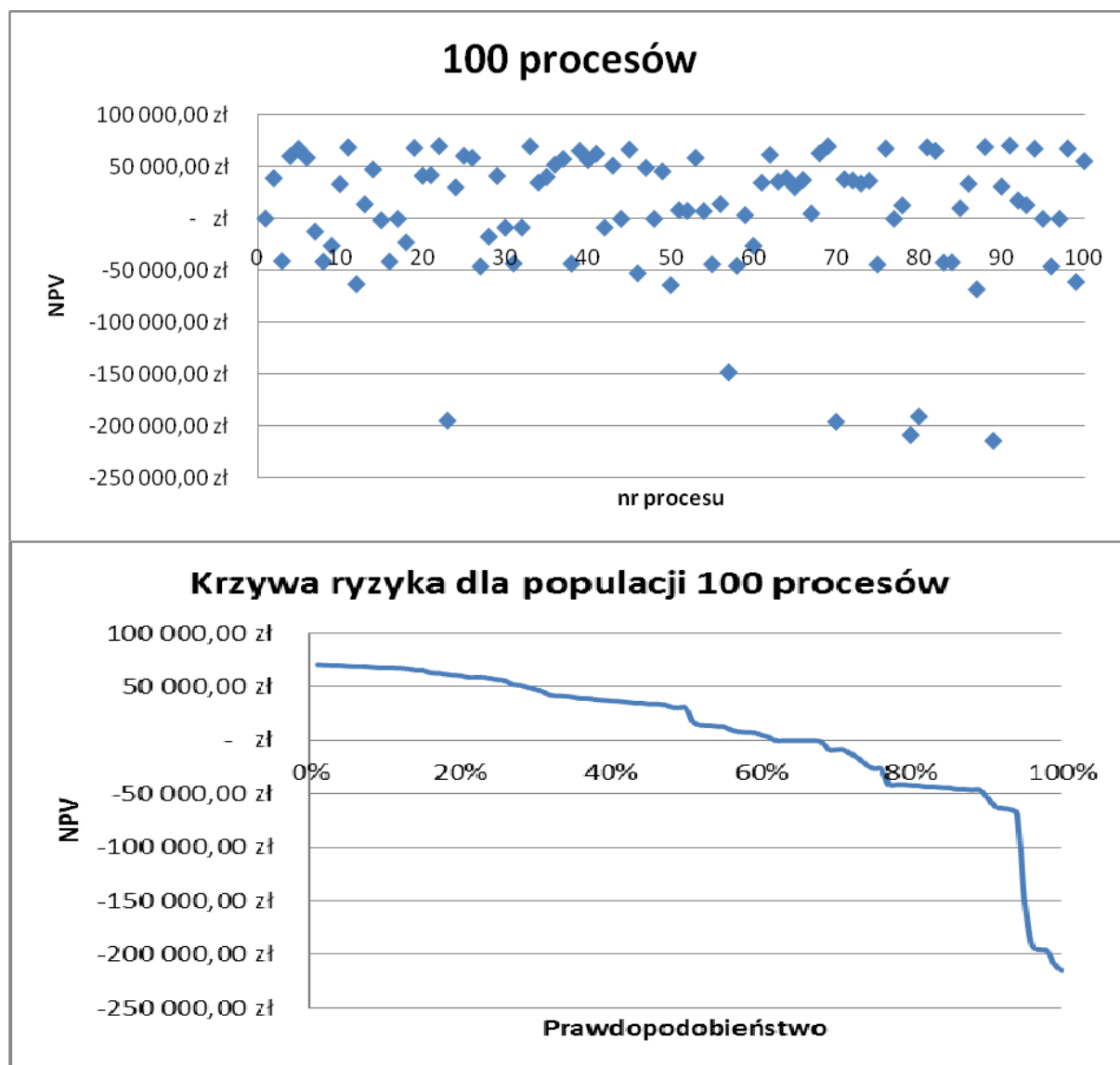
$d$  – ilość dni przypisana dla danej czynności

W wyniku przekształcenia parametrów charakteryzujących proces do postaci Wartości Bieżącej Netto NPV dla każdego wygenerowanego procesu, możliwe jest przeprowadzenie sortowania procesów na podstawie jednego spójnego kryterium, jakim jest NPV.

---

<sup>91</sup> [ie.ae.krakow.pl/~styczy4m/metodydyskontowe.doc](http://ie.ae.krakow.pl/~styczy4m/metodydyskontowe.doc)

Na poniższym wykresie zaprezentowano populację procesów będących efektem symulacji stochastycznej, oraz posortowaną reprezentację populacji procesów.



**Wykres 4.** Reprezentacja populacji procesów jako wynik symulacji stochastycznej i posortowana populacja procesów

**Źródło:** Opracowanie własne

Metoda dyskontowa znajduje zastosowanie wyłącznie dla przedsięwzięć o charakterze biznesowym, definiowanych zmiennymi charakterystycznymi reprezentującymi czas realizacji oraz wartości finansowe poszczególnych czynności. Pomimo faktu, że podejście to ogranicza się do bardzo wąskiej kategorii przedsięwzięć, należy zwrócić uwagę, że właśnie przy tej grupie procesów dziedzina analiz ryzyka znajduje ogromne zastosowanie, oraz charakteryzuje się ogromną potrzebą rozwoju metod analiz ryzyka.

### **4.3. Algorytm metody analizy poziomu ryzyka powielarnych procesów biznesowych**

Metodę Monte Carlo stosuje się dla rozwiązywania problemów badawczych, dla których metody analityczne nie znajdują zastosowania. Ma to miejsce również w przypadku, gdy dla przeprowadzenia badania naukowego niezbędne jest przeprowadzenie bardzo dużej ilości obliczeń. W parze z metodą Monte Carlo występuje zastosowanie aplikacji komputerowych, które ze względu na swoją moc obliczeniową w znakomity sposób ułatwiają, a czasem nie tylko ułatwiają, co umożliwiają zrealizowanie takich symulacji.

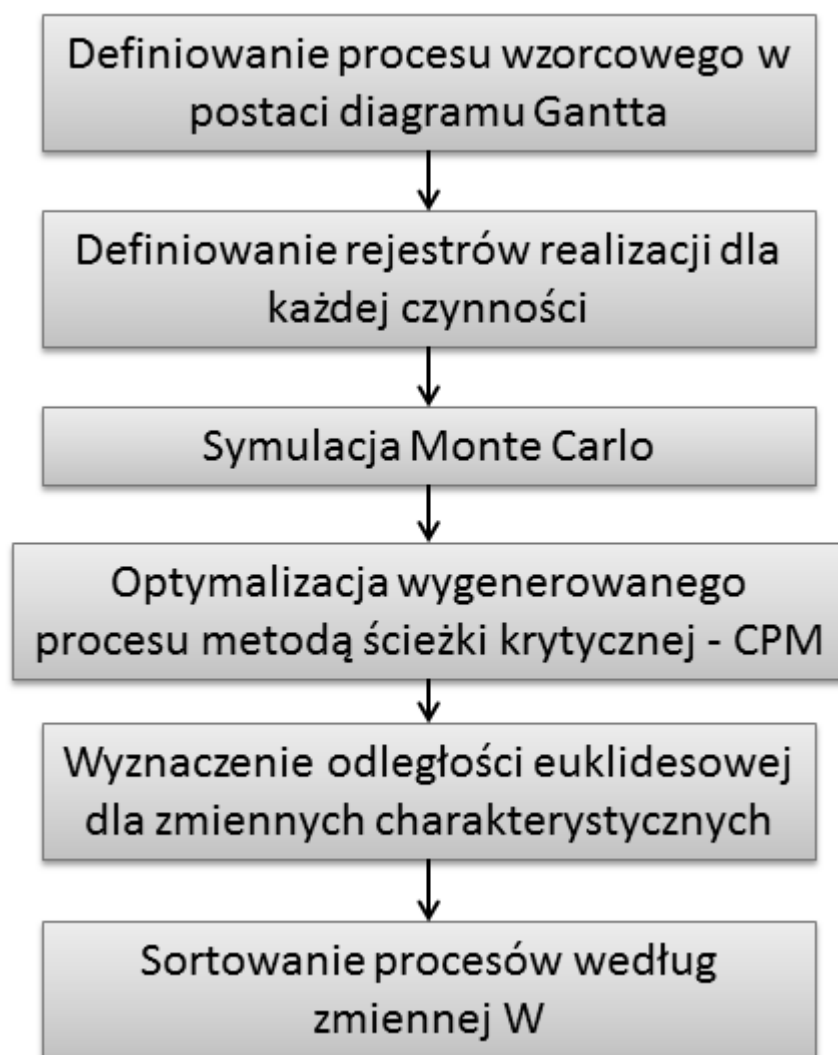
Proponowana metoda również zalicza się do tych przypadków, przy których możliwość zastosowania narzędzi informatycznych stanowi o powodzeniu jej funkcjonowania. Dlatego też w celu weryfikacji poprawności funkcjonowania metody niezbędnym jest sporządzenie aplikacji software'owej, która umożliwia przeprowadzenie procesu symulacji stochastycznej i w jej wyniku szeregu obliczeń na wygenerowanej populacji procesów.

W dalszej części przedstawiono algorytm dla wnioskowania w układzie trójwymiarowym i dwa algorytmy dla wnioskowania w układzie dwuwymiarowym.

#### ***4.3.1. Algorytm sortowania w trzech wymiarach 3D***

W niniejszej części pracy przedstawiony został algorytm dla wnioskowania trójwymiarowego. Jego zasada funkcjonowania opiera się na sześciu kluczowych krokach:

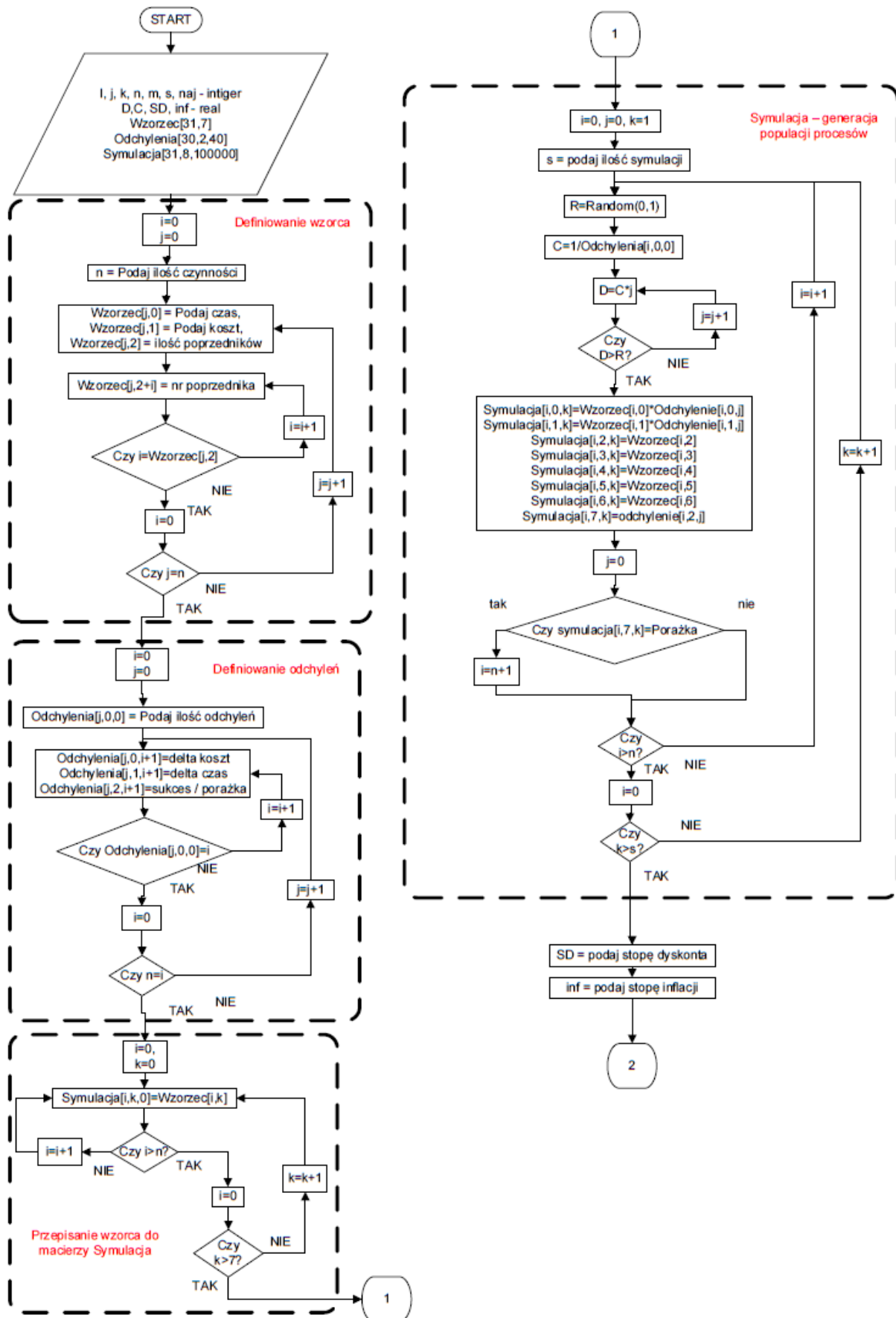
1. Definicja wzorca – badanego procesu, oraz rejestrów realizacji dla każdej zdefiniowanej czynności.
2. Generacja n populacji procesów z wykorzystaniem symulacji stochastycznej metodą Monte Carlo.
3. Optymalizacja procesów metodą ścieżki krytycznej.
4. Transponowanie zmiennych charakterystycznych do postaci odległości euklidesowej.
5. Sortowanie procesów w oparciu o zmienną wynikową (odległość euklidesową).

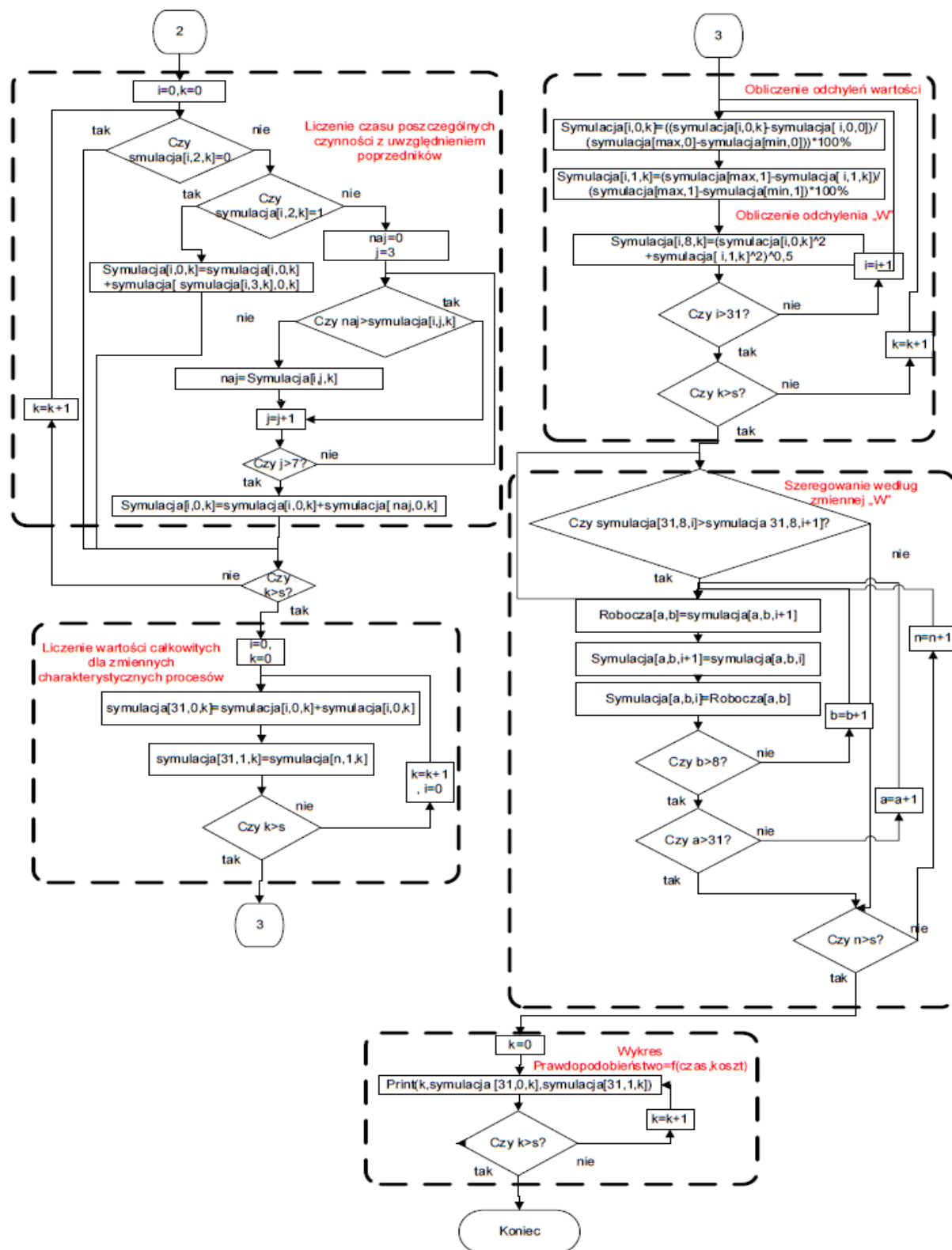


**Rysunek 11.** Schemat blokowy dla metody z wnioskowaniem trójwymiarowym

**Źródło:** Opracowanie własne

Poniżej przedstawiono algorytm odpowiadający funkcjonowaniu metody z sortowaniem trójwymiarowym. W każdym z wyróżnionych linią przerywaną bloków wprowadzono kolorem czerwonym nazwę bloku, wskazującą zadanie realizowane przez poszczególne bloki algorytmu. Bloki odpowiadają zadaniom przedstawionym na schemacie blokowym.





**Rysunek 12.** Algorytm metody z wnioskowaniem trójwymiarowym

**Źródło:** Opracowanie własne

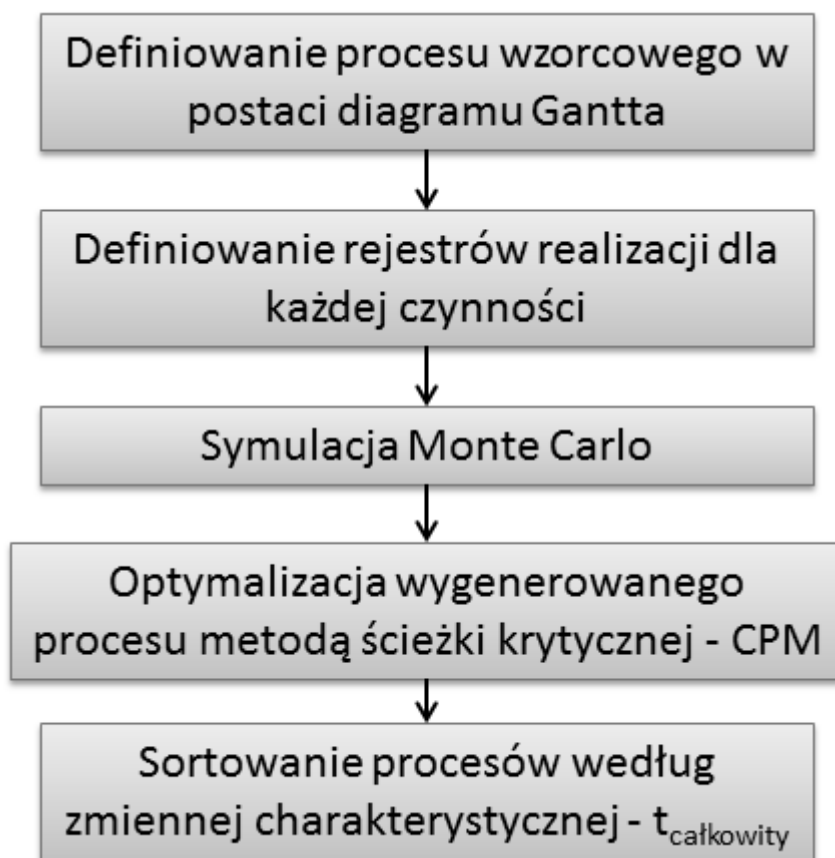
### ***4.3.2. Algorytm sortowania w dwóch wymiarach 2D***

Zgodnie z przedstawionymi w punkcie 4.2.4.2 rodzajami sortowania dla układu dwuwymiarowego, algorytm dla metody dwuwymiarowej może mieć dwie postaci. W pierwszym przypadku mamy do czynienia z algorytmem odpowiadającym sortowaniu na podstawie czasu realizacji przedsięwzięcia. W drugim przypadku mamy do czynienia z sortowaniem na podstawie zmiennej będącej wynikiem dwóch zmiennych charakterystycznych (w omawianym przypadku posłużono się metodą dyskontową do wyznaczenia zmiennej wartości bieżącej netto – NPV. Typowe narzędzie w analizie przedsięwzięć biznesowych).

#### **4.3.2.1. Algorytm 2D dla sortowania według jednej zmiennej charakterystycznej**

Algorytm dla wnioskowania dwuwymiarowego z sortowaniem według jednej zmiennej charakterystycznej, jest szczególnym przypadkiem metody. W tym podejściu zakłada się, że informacją istotną dla wnioskowania jest tylko jedna zmienna charakterystyczna – czas realizacji przedsięwzięcia. Ona stanowi kryterium sortowania. Druga zmienna charakterystyczna jest pomijana, lub w ogóle niezdefiniowana. Tego typu algorytm znajduje zastosowanie w ocenie przedsięwzięć, dla których analizuje się ryzyko opóźnień realizacji. Mogą to być np. szeroko praktykowane przedsięwzięcia z kategorii problemów transportowych, gdzie czas realizacji zlecenia jest zmienną kluczową.

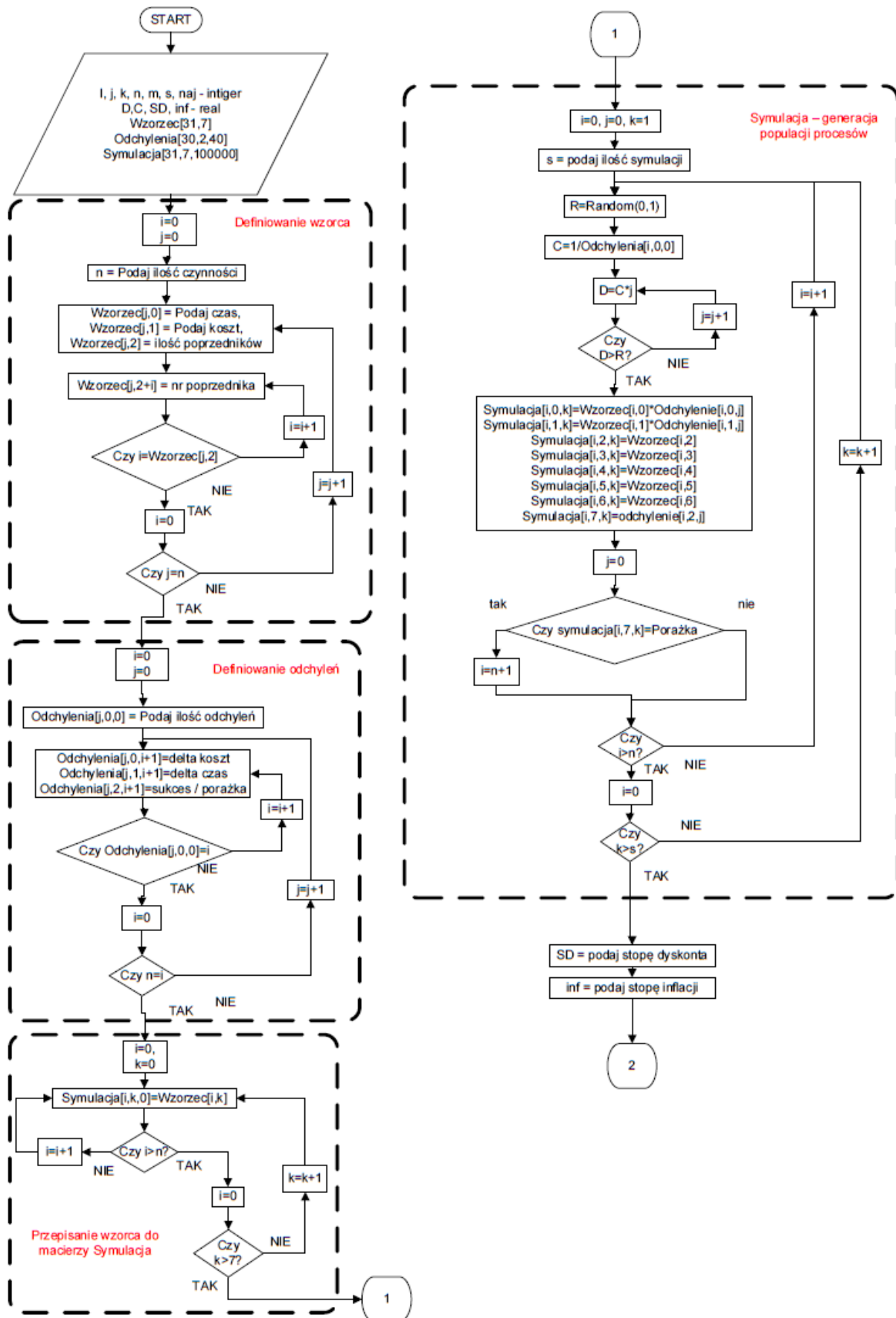
Poniżej przedstawiono schemat blokowy algorytmu 2D z sortowaniem według jednej zmiennej charakterystycznej, następnie przedstawiono sam algorytm.

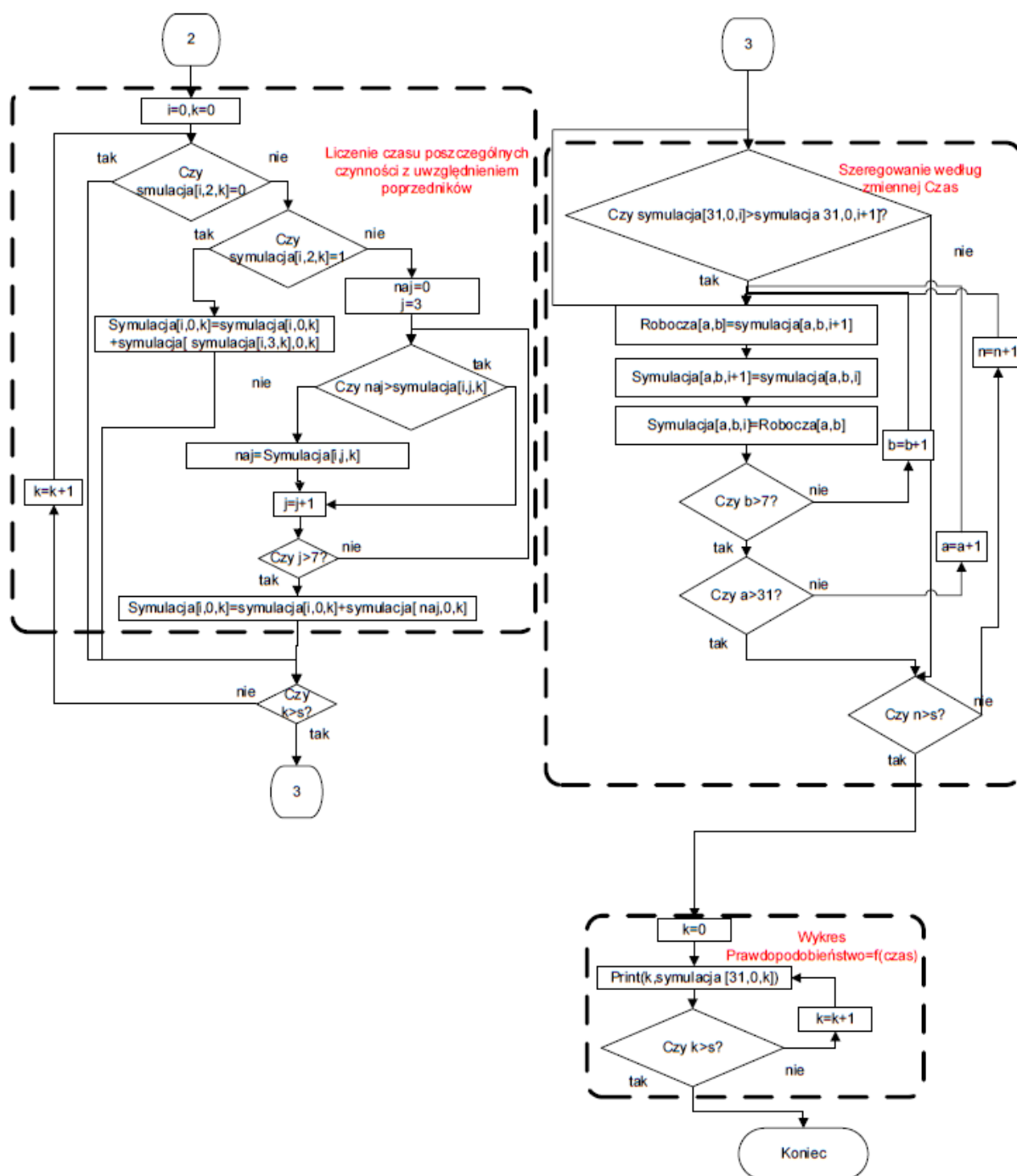


**Rysunek 13.** Schemat blokowy dla metody z wnioskowaniem dwuwymiarowym

**Źródło:** Opracowanie własne

Pierwszym krokiem funkcjonowania algorytmu jest definicja wzorca – badanego przedsięwzięcia, oraz rejestrów realizacji, dla każdej czynności wchodzącej w skład procesu. Podczas definicji wzorca nieistotna jest druga zmienna charakterystyczna, gdyż nie będzie brana pod uwagę w procesie analizy ryzyka przedsięwzięcia. Następnie dla zdefiniowanej ilości iteracji realizowana jest symulacja stochastyczna z wykorzystaniem metody Monte Carlo, efektem której powstaje populacja procesów realizacji tego samego przedsięwzięcia. Każdy z wygenerowanych procesów podlega optymalizacji metodą ścieżki krytycznej – CPM. Następnie realizowane jest sortowanie wygenerowanych procesów według czasu realizacji przedsięwzięcia. Poniżej przedstawiono algorytm metody 2D z sortowaniem według jednej zmiennej charakterystycznej. W każdym z wyróżnionych linią przerywaną bloków wprowadzono kolorem czerwonym nazwę bloku, wskazującą zadanie realizowane przez poszczególne bloki algorytmu. Bloki odpowiadają zadaniom przedstawionym na schemacie blokowym.





**Rysunek 14.** Algorytm metody z wnioskowaniem dwuwymiarowym, dla jednej zmiennej charakterystycznej

**Źródło:** Opracowanie własne

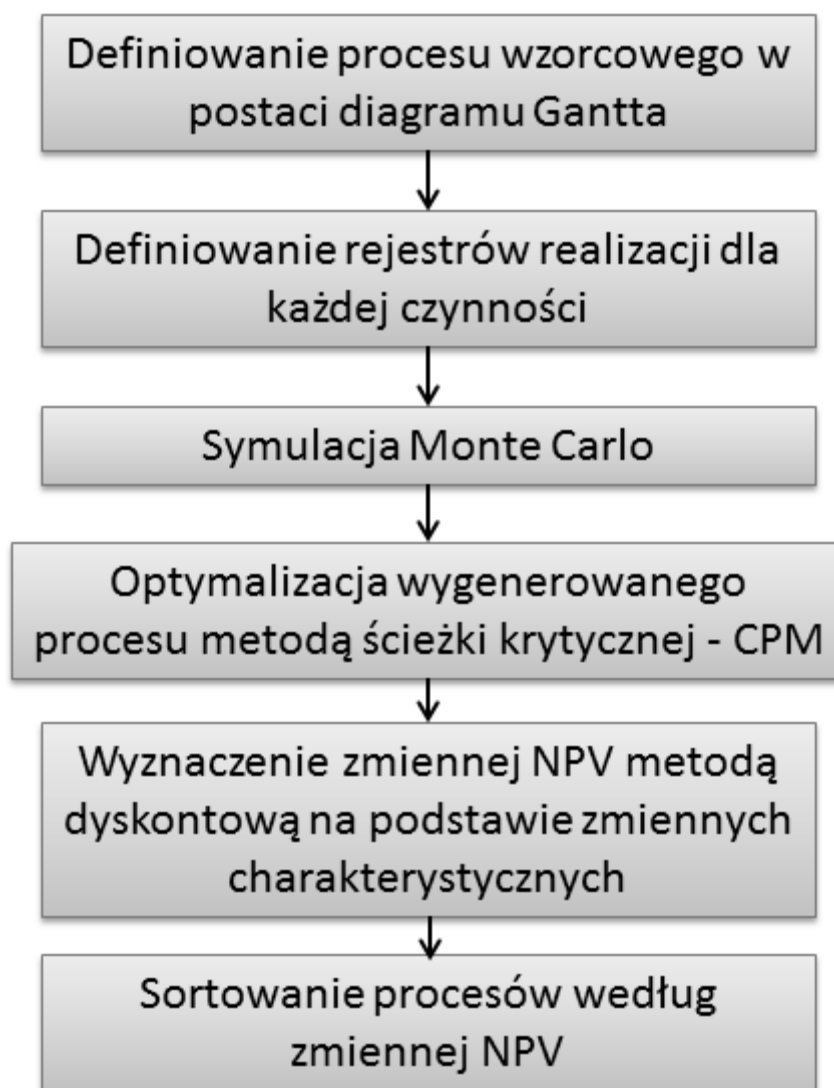
#### 4.3.2.2. Algorytm 2D dla sortowania według zmiennej wynikowej dwóch zmiennych charakterystycznych

Algorytm dla wnioskowania dwuwymiarowego jest szczególnym przypadkiem przedstawianej metody. Aby mógł być zrealizowany niezbędne jest określenie zasady, na jakiej dwie

zmienne charakteryzujące proces są transponowane do jednej zmiennej. W przypadku przedsięwzięć biznesowych, które stanowią istotny element niniejszej dysertacji, za taką należy uznać metodę dyskontową.

Najczęściej przedsięwzięcia biznesowe są przedstawiane za pomocą dwóch parametrów, czasu realizacji i wyniku finansowego przedsięwzięcia. Dla tych dwóch parametrów zastosowanie znajduje metoda dyskontowa, która pozwala transponować te wielkości do jednej, tzw. Bieżącej Wartości Netto (NPV – Net Present Value).

Proces funkcjonowania algorytmu przedstawia się w sposób następujący.



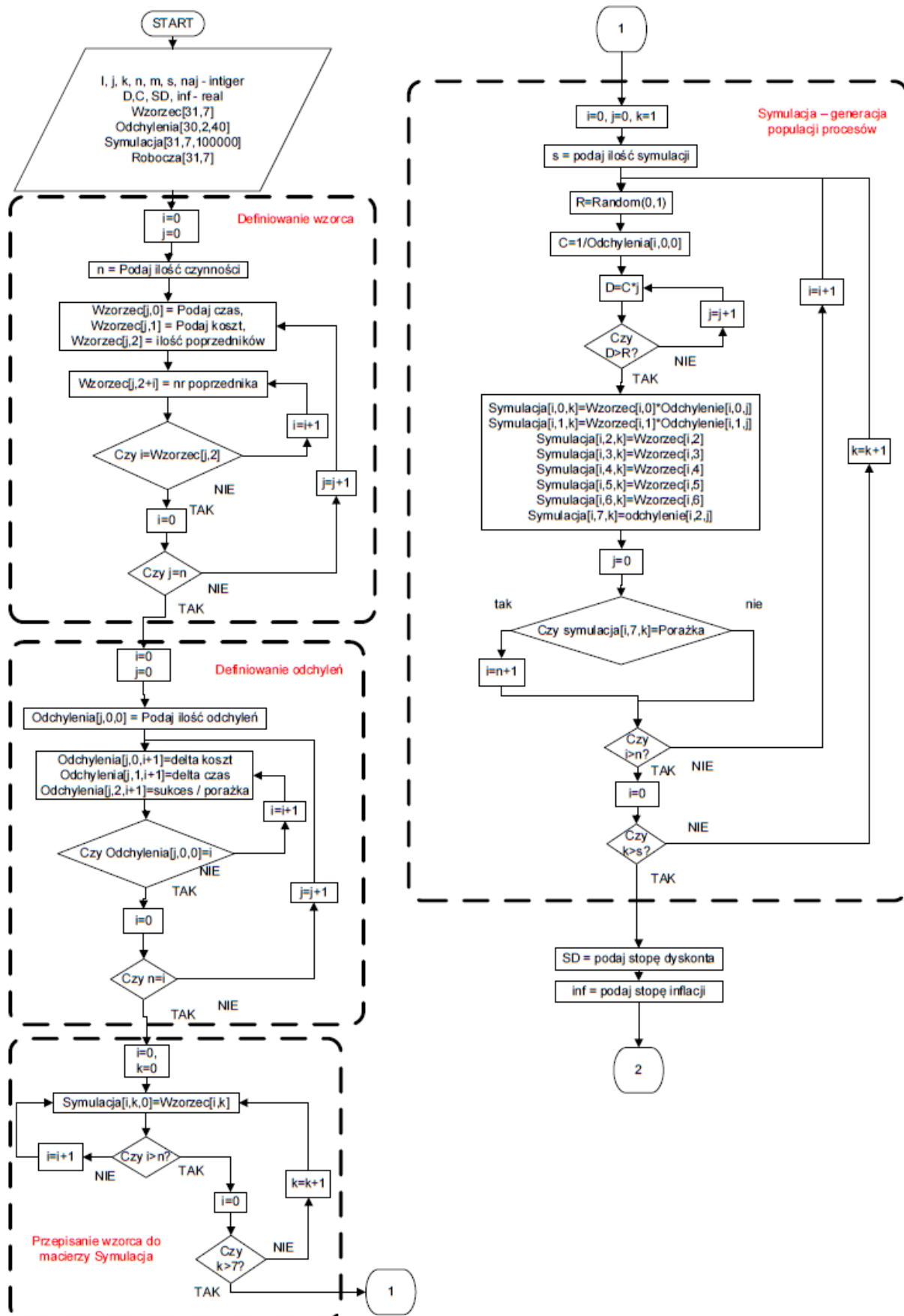
**Rysunek 15.** Schemat blokowy dla metody z wnioskowaniem dwuwymiarowym

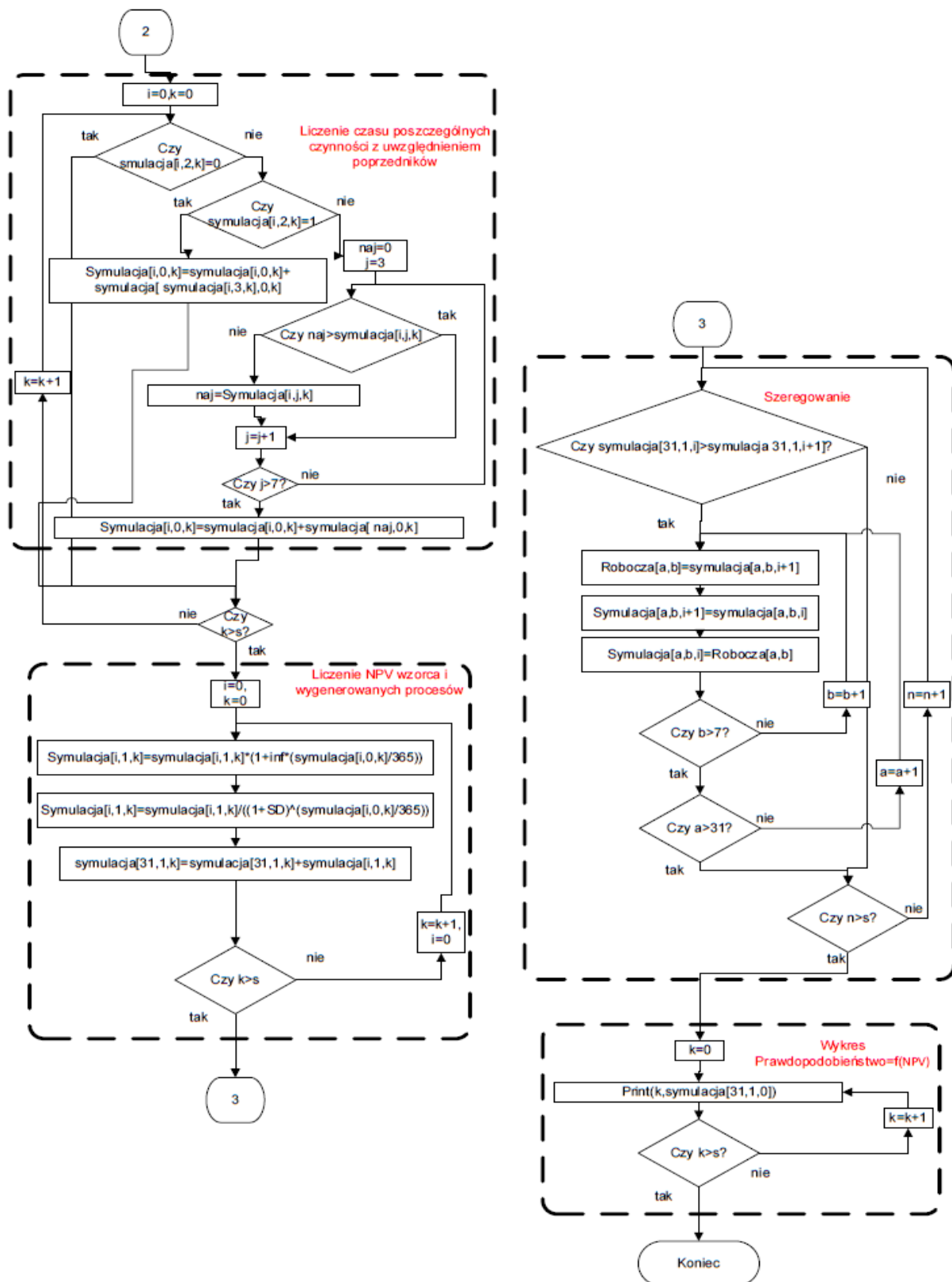
**Źródło:** Opracowanie własne

Pierwszym krokiem funkcjonowania algorytmu jest definicja wzorca – badanego przedsięwzięcia, oraz rejestrów realizacji, dla każdej czynności wchodzącej w skład procesu. Następnie dla zdefiniowanej ilości iteracji realizowana jest symulacja stochastyczna z wykorzysta-

niem metody Monte Carlo, efektem której powstaje populacja procesów realizacji tego samego przedsięwzięcia. Każdy z wygenerowanych procesów podlega optymalizacji metodą ścieżki krytycznej – CPM. Następnie realizowane jest transponowanie zmiennych charakteryzujących proces, w zmienną NPV. Zmienna ta jest parametrem będącym podstawą sortowania w populacji, na podstawie którego powstaje krzywa ryzyka.

Poniżej przedstawiono algorytm metody z sortowaniem według zmiennej wynikowej dwóch zmiennych charakterystycznych. W każdym z wyróżnionych linią przerywaną bloków wprowadzono kolorem czerwonym nazwę bloku, wskazującą zadanie realizowane przez poszczególne bloki algorytmu. Bloki odpowiadają zadaniom przedstawionym na schemacie blokowym.





**Rysunek 16.** Algorytm metody z wnioskowaniem dwuwymiarowym dla zmiennej wynikowej dwóch zmiennych charakterystycznych

**Źródło:** Opracowanie własne

## 4.4. Interpretacja wyników

Jedną z ważnych zalet proponowanej metody jest jej użyteczność, prostota i łatwość interpretacji wyników. W zależności od rodzaju badanego przedsięwzięcia i przyjętej metody wnioskowania możliwe jest wskazanie przykładowych parametrów, które zwiększają atrakcyjność zastosowanej metody poprzez poprawę czytelności wyników analizy.

*Można dla przykładu zastosować funkcje przekroczeń, czyli dopełnienie dystrybucji rozkładu prawdopodobieństwa określonego parametru do jedności.*

Sama krzywa ryzyka stanowiąca wynik analizy jest powieleniem stosowanych szeroko metod analizy za pomocą rozkładu prawdopodobieństwa, przez co metody wnioskowania będą zaczerpnięte z już stosowanych, przez co powszechnie znanych narzędzi.<sup>92</sup> Poniżej przedstawiono szereg proponowanych parametrów, które mogą znaleźć zastosowanie w analizie ryzyka z zastosowaniem niniejszej metod<sup>93</sup>:

1. Dla metody z wnioskowaniem w układzie trójwymiarowym:
  - a. WCS (Worst Case Scenario) – najgorszy scenariusz – proces charakteryzujący się najgorszym wynikiem spośród wygenerowanej populacji. Możliwe jest przedstawienie zarówno jego zmiennych charakterystycznych, jak również jego diagram Gantt’a.
  - b.  $P_{P50}$  – proces z prawdopodobieństwem 50% - proces określony jako występujący z prawdopodobieństwem 50%. Możliwe jest przedstawienie zarówno zmiennych charakterystycznych procesu, diagram Gantt’a.
  - c.  $P_{P90}$  - proces z prawdopodobieństwem 90% - proces określony jako występujący z prawdopodobieństwem 90%. Możliwe jest przedstawienie zarówno zmiennych charakterystycznych procesu, diagram Gantt’a.
  - d.  $P_{PXX}$  - proces z prawdopodobieństwem XX% - istnieje możliwość wskazania procesu zidentyfikowanego dla dowolnego poziomu prawdopodobieństwa. Możliwe jest przedstawienie zarówno zmiennych charakterystycznych procesu, diagram Gantt’a.
2. Dla metody z wnioskowaniem w układzie dwuwymiarowym, z sortowaniem według jednej zmiennej charakterystycznej:

---

<sup>92</sup> Gillies D., Thomaz C.: Intelligent Data Analysis and Probabilistic Inference. Inference Coursework Department of Computing, Imperial College London, 2004

<sup>93</sup> Twardochleb M., Włoch P.: “Metoda mapowania ryzyk powielarnych przedsięwzięć biznesowych dla systemu wspomagania decyzji menadżerskich”, Metody Informatyki Stosowanej 2011, nr 4.

- a. Grupa procesów charakterystycznych:
    - i. WCS Sukces (Worst Case Scenario Sukces) – najgorszy scenariusz zakończony sukcesem – proces charakteryzujący się najgorszym wynikiem spośród wygenerowanej populacji, który został zakończony sukcesem. Możliwe jest przedstawienie zarówno jego zmiennej charakterystycznej, jak również jego diagram Gantt’a.
    - ii.  $P_{P50}$  – proces z prawdopodobieństwem 50% - proces określony jako występujący z prawdopodobieństwem 50%. Możliwe jest przedstawienie zarówno zmiennych charakterystycznych procesu, diagram Gantt’a.
    - iii.  $P_{PXX}$  - proces z prawdopodobieństwem XX% - istnieje możliwość wskazania procesu zidentyfikowanego dla dowolnego poziomu prawdopodobieństwa. Możliwe jest przedstawienie zarówno zmiennych charakterystycznych procesu, diagram Gantt’a.
  - b. Wskaźnik Wrażliwości Wzorca – przedstawia procentowy udział w populacji tych procesów, które zostały zrealizowane zgodnie ze wzorcem.
3. Dla metody z wnioskowaniem w układzie dwuwymiarowym, z sortowaniem według zmiennej wynikowej zmiennych charakterystycznych:
    - a. Grupa procesów charakterystycznych:
      - i. WCS (Worst Case Scenario) – najgorszy scenariusz – proces charakteryzujący się najgorszym wynikiem spośród wygenerowanej populacji. Możliwe jest przedstawienie zarówno jego zmiennych charakterystycznych, jak również jego diagram Gantt’a.
      - ii. ZSP (Zero Scenario Probability) – prawdopodobieństwo scenariusza zerowego – prawdopodobieństwo wystąpienia procesu, którego wynik finansowy został określony jako najbardziej zbliżony do zera w odniesieniu do wielkości finansowej charakteryzującej proces. Możliwe jest przedstawienie zarówno zmiennych charakterystycznych procesu zerowego, diagram Gantt’a, oraz przede wszystkim prawdopodobieństwa wystąpienia danego scenariusza, określanego następującą formułą

$$ZSP = \frac{P_{Zs}}{\sum P} \quad (4.13)$$

gdzie:

ZSP – prawdopodobieństwo scenariusza zerowego, odpowiadające prawdopodobieństwu wystąpienia procesu osiągającego wynik finansowy najbardziej zbliżony do zera, na tle wszystkich procesów wygenerowanych w ramach analizy, metodą symulacji stochastycznych.

$P_{ZS}$  – numer porządkowy procesu zerowego w populacji.

$\Sigma P$  – wielkość wygenerowanej populacji procesów.

- iii.  $P_{P50}$  – proces z prawdopodobieństwem 50% - proces określony jako występujący z prawdopodobieństwem 50%. Możliwe jest przedstawienie zarówno zmiennych charakterystycznych procesu, diagram Gantt’a.
  - iv.  $P_{P90}$  - proces z prawdopodobieństwem 90% - proces określony jako występujący z prawdopodobieństwem 90%. Możliwe jest przedstawienie zarówno zmiennych charakterystycznych procesu, diagram Gantt’a.
  - v.  $P_{PXX}$  - proces z prawdopodobieństwem XX% - istnieje możliwość wskazania procesu zidentyfikowanego dla dowolnego poziomu prawdopodobieństwa. Możliwe jest przedstawienie zarówno zmiennych charakterystycznych procesu, diagram Gantt’a.
- b. Grupa wskaźników wrażliwości na zagrożenia – stanowi grupę zmiennych służących do interpretacji przedsięwzięcia w zakresie jego podatności na zagrożenia.
- i.  $WWnZ_{P50}$  – Wskaźnik wrażliwości na zagrożenia dla poziomu do 50% prawdopodobieństwa, odpowiada wrażliwości przedsięwzięcia dla procesów określonych jako możliwych do zaistnienia z prawdopodobieństwem 50% i większym. Wskaźnik ten reprezentuje poniższa formuła:

$$WWnZ_{P50} = \frac{\int_{0\%}^{50\%} f(x)dx}{\int_{0\%}^{50\%} f(x)dx} \quad (4.14)$$

gdzie:

$f(x)$  – krzywa ryzyka.

- ii.  $WWnZ_{P90}$  – Wskaźnik wrażliwości na zagrożenia dla poziomu do 90% prawdopodobieństwa, odpowiada wrażliwości przedsięwzięcia dla pro-

cesów określonych jako możliwych do zaistnienia z prawdopodobieństwem 90% i większym. Wskaźnik ten reprezentuje poniższa formuła:

$$WWnZ_{P90} = \frac{\int_{0\%}^{90\%} f(x)dx}{\int_{0\%}^{90\%} f(x)dx} \quad (4.15)$$

gdzie:

$f(x)$  – krzywa ryzyka.

Na poniższym wykresie przedstawiono ideę wyznaczania zmiennych  $WWnZ_{P50}$  i  $WWnZ_{P90}$ . Jak można zauważyć wartościami granicznymi dla tych zmiennych jest stosowna wartość prawdopodobieństwa (odpowiednio 50% i 90%). Same zmienne natomiast stanowią stosunek pola powierzchni nad krzywą i pod krzywą. Reprezentowane są następującymi formułami:

$$WWnZ_{P50} = \frac{Pg50}{Pd50} \quad (4.16)$$

gdzie:

$Pg50$  – pole powierzchni nad krzywą ryzyka w zakresie od 0% do 50%,

$Pd50$  – pole powierzchni pod krzywą ryzyka w zakresie od 0% do 50%.

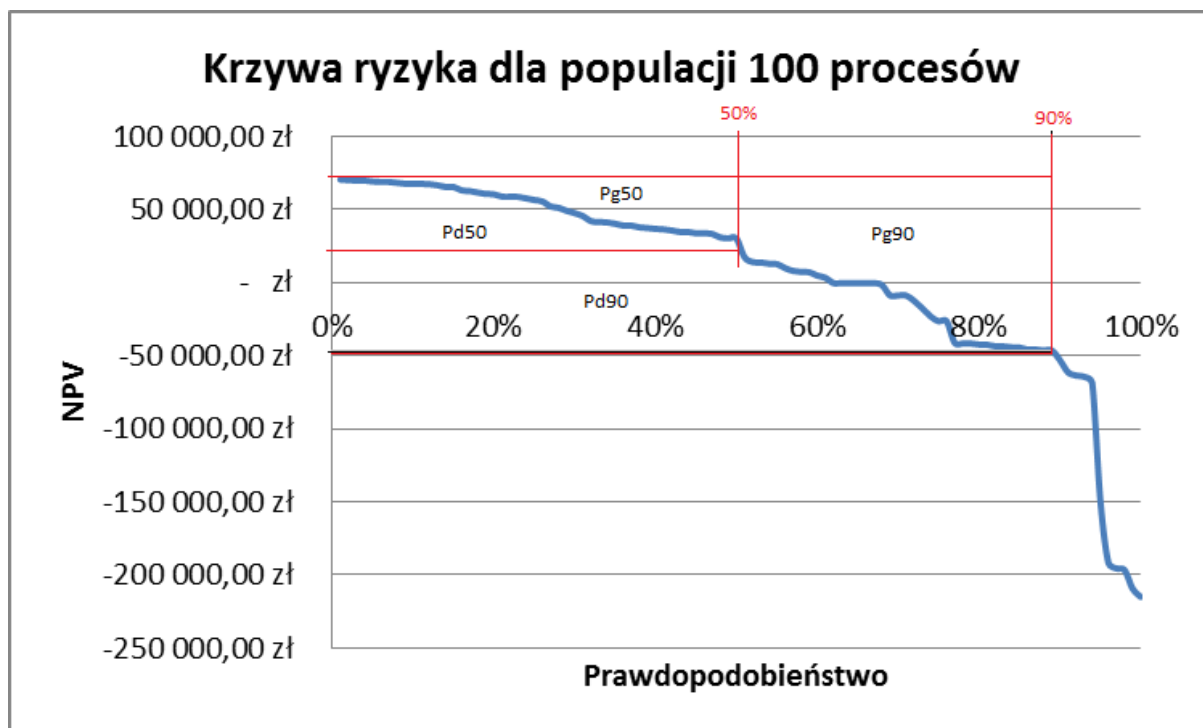
$$WWnZ_{P90} = \frac{Pg90}{Pd90} \quad (4.17)$$

gdzie:

$Pg90$  – pole powierzchni nad krzywą ryzyka w zakresie od 0% do 90%,

$Pd90$  – pole powierzchni pod krzywą ryzyka w zakresie od 0% do 90%.

Celem zmiennych jest wykazanie dynamiki opadania krzywej, czyli tempa odchylania się w miarę wzrostu prawdopodobieństwa. Oczywiście informację taką prezentuje sam wykres, nie mniej wskaźniki te stanowią propozycję sparametryzowanej informacji odnoszącej się właśnie do tego zagadnienia.



**Wykres 4.** Graficzna prezentacja wyznaczania zmiennych WWnZP50 i WWnZP90

**Źródło:** Opracowanie własne

4. Inne – proponowana metoda umożliwia przeprowadzenie szeregu analiz statystycznych na poziomie diagramu Gantt’a, tzn. których celem może być wyróżnienie czynności, będących elementem diagramu Gantt’a, a charakteryzujących się określonymi cechami. W ten sposób możliwe jest identyfikowanie czynności, które:
  - a. Są najbardziej podatne na zagrożenia,
  - b. Mają największy wpływ na czas realizacji przedsięwzięcia,
  - c. Mają największy wpływ na wymiar finansowy przedsięwzięcia.

Dalsze analizowanie wyników uzyskanych w drodze zastosowania proponowanej metody może stanowić istotne narzędzie w zarządzaniu ryzykiem, poprzez precyzyjną identyfikację kluczowych czynności.

## 4.5. Porównanie metod

Stawiając w jednym szeregu proponowany algorytm z algorytmami metod konkurencyjnych, nasuwa się wniosek, że proponowane podejście jest zupełnie inne od dotychczas stosowanych. Dzielenie procesu na trzy podstawowe elementy, tj. definiowanie danych wejściowych, analiza i wnioskowanie, różnice w odniesieniu do innych algorytmów występują na każdym kroku. W poniższych tabelach przedstawiono porównanie metod w podziale na kluczowe etapy.

| Metoda                                   | Opis                                                                                                                                                                                                              | Trudność                                                                                                                                                              | Reprezentatywność                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Proponowana metoda                       | Wymaga zdefiniowania badanego procesu w postaci diagramu Gantt'a, oraz tabeli pomiarowych, dla każdej czynności wchodzącej w skład diagramu Gantt'a, gdzie każda tabela będzie liczyć nie mniej niż 30 realizacji | Średnia – wymaga historii realizacji nie mniejszej niż 30 powtórzeń                                                                                                   | Bardzo wysoka – kwalifikuje się do dużej próby statystycznej                                                                                                                          |
| Metoda Pareto                            | Wymaga identyfikacji kluczowych zagrożeń dla przedsięwzięcia. Możliwe do zrealizowania z wykorzystaniem wiedzy eksperckiej                                                                                        | Średnia – wymaga dostępu do ekspertów                                                                                                                                 | Średnia – zgodnie z istotą metody, nie daje pełnego obrazu zagrożeń                                                                                                                   |
| Drzewa zdarzeń, błędów, diagram Ishikawy | Wymaga precyzyjnej identyfikacji zagadnień, lub zagrożeń i ich genezy. W postaci ilościowej, wymaga oceny ryzyk elementarnych                                                                                     | Średnia – dla metody jakościowej.<br>Wysoka – dla metody ilościowej                                                                                                   | Niska – ogranicza się do precyzyjnie wskazanych zagrożeń, zdarzeń. Nie jest reprezentatywna dla całego przedsięwzięcia                                                                |
| VaR                                      | Wymagane jest zdefiniowanie szeregu danych historycznych opisujących przedmiot badań, oraz dobór horyzontu czasowego i poziomu tolerancji, dla jakich wyznaczana będzie wartość zagrożona                         | Wysoka – wynika z ograniczonego dostępu do danych historycznych będących przedmiotem badań, co też istotnie ogranicza typ przedsięwzięć jakie mogą być poddane ocenie | Średnia – same dane wejściowe kwalifikują się do dużej próby statystycznej, nie mniej ich formuła w istotny sposób ogranicza rodzaj przedsięwzięć dla których można zastosować metodę |
| Rejestr Ryzyk                            | Wymaga definiowania maksymalnie największego katalogu zagrożeń wraz z oceną wpływu na przedsięwzięcie i prawdopodobieństwa wystąpienia                                                                            | Wysoka – głównie ze względu na trudność oceny prawdopodobieństwa ryzyk elementarnych                                                                                  | Średnia – nie możliwe jest osiągnięcie kompletnego katalogu zagrożeń                                                                                                                  |
| Macierz Ryzyk                            | j.w.                                                                                                                                                                                                              | j.w.                                                                                                                                                                  | j.w.                                                                                                                                                                                  |
| Analiza wrażliwości                      | Wymaga zdefiniowania procesu w postaci przepływów pieniężnych, oraz wytypowania najbardziej istotnych czynników procesu                                                                                           | Średnia – wymaga wiedzy eksperckiej                                                                                                                                   | Średnia – nie uwzględnia istoty zagrożeń równoległych                                                                                                                                 |

**Tabela 10.** Ocena metod analizy ryzyka w zakresie definiowania danych wejściowych

**Źródło:** Opracowanie własne

| <b>Metoda</b>                            | <b>Opis</b>                                                                                                                                           | <b>Trudność</b>                                                                                                                                                                        | <b>Reprezentatywność</b>                                                                                                           |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Proponowana metoda                       | Wykorzystuje algorytm stochastyczny i metody optymalizacji informacji (CPM)                                                                           | Niska – dla obecnego stopnia zaawansowania nauk informatycznych, algorytm charakteryzuje się niską trudnością w zastosowaniu.                                                          | Bardzo wysoka – generuje liczny materiał badawczy dla celów wnioskowania.                                                          |
| Metoda Pareto                            | Nie występuje przetworzenie danych wejściowych.                                                                                                       | Brak                                                                                                                                                                                   | Brak                                                                                                                               |
| Drzewa zdarzeń, błędów, diagram Ishikawy | Realizowana metodą przy czynowo – skutkową przez eksperta. Niemożliwa do wykonania samodzielnie przez aplikacje informatyczne.                        | Wysoka – wymaga wiedzy eksperckiej. Zakres analizy uzależniony od posiadanej wiedzy eksperckiej.                                                                                       | Niska – ograniczona do przeanalizowanych zdarzeń, zagrożeń. Nie jest reprezentatywna dla całego przedsięwzięcia.                   |
| VaR                                      | Istnieje szereg możliwych do zastosowania metod analizy. Wszystkie kwalifikują się do metod informatycznych polegających na przetwarzaniu informacji. | Średnia – biorąc pod uwagę katalog metod przetwarzania danych, dla obecnego stopnia zaawansowania nauk informatycznych, algorytm charakteryzuje się średnią trudnością w zastosowaniu. | Wysoka – przetwarzanie danych jest realizowane w oparciu o bogaty materiał badawczy, dzięki czemu analizę można uznać za rzetelną. |
| Rejestr Ryzyk                            | Nie występuje przetworzenie danych wejściowych.                                                                                                       | Brak                                                                                                                                                                                   | Brak                                                                                                                               |
| Macierz Ryzyk                            | Nie występuje przetworzenie danych wejściowych                                                                                                        | Brak                                                                                                                                                                                   | Brak                                                                                                                               |
| Analiza wrażliwości                      | Przetworzenie danych wejściowych w drodze oceny wyników pod wpływem zmiany wybranych danych wejściowych, z zastosowaniem symulacji informatycznych.   | Niska – dla obecnego stopnia zaawansowania nauk informatycznych, algorytm charakteryzuje się niską trudnością w zastosowaniu                                                           | Średnia – ograniczona do wytypowanych pojedynczych parametrów charakteryzujących przedsięwzięcie.                                  |

**Tabela 11.** Ocena metod analizy ryzyka w zakresie algorytmu realizacji analizy

**Źródło:** Opracowanie własne

| <b>Metoda</b>                            | <b>Opis</b>                                                                                                                                                            | <b>Trudność</b>                                                                                                                  | <b>Reprezentatywność</b>                                                                               |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Proponowana metoda                       | Wnioski o charakterze ilościowym, bogate w charakterystyczne wielkości (pkt. 4.4.)                                                                                     | Niska – dla obecnego stopnia zaawansowania nauk informatycznych, wnioskowanie charakteryzuje się niską trudnością w zastosowaniu | Bardzo wysoka – oparta o reprezentatywne próby statystyczne.                                           |
| Metoda Pareto                            | Wnioski o charakterze jakościowym.                                                                                                                                     | Niska – ograniczona do wskazania kluczowych zagrożeń.                                                                            | Niska – wskazuje kluczowe zagrożenia, nie identyfikując jednocześnie skali ilościowej tych zagrożeń.   |
| Drzewa zdarzeń, błędów, diagram Ishikawy | Wnioski o charakterze jakościowym lub ilościowym, odnoszące się do precyzyjnie wskazanych zagrożeń, ryzyk.                                                             | Niska dla metody jakościowej, wysoka dla metody ilościowej.                                                                      | Niska – ograniczona do wybranych zagrożeń, ryzyk. Nie reprezentatywna dla całego przedsięwzięcia.      |
| VaR                                      | Dla zadanego horyzontu czasowego i poziomu tolerancji generowana jest wartość zagrożona                                                                                | Niska – dla obecnego stopnia zaawansowania nauk informatycznych, wnioskowanie charakteryzuje się niską trudnością w zastosowaniu | Średnia – reprezentacja w postaci jednej zmiennej w bardzo skąpy sposób prezentuje ocenę ryzyka.       |
| Rejestr Ryzyk                            | Nie występuje                                                                                                                                                          | Brak                                                                                                                             | Brak                                                                                                   |
| Macierz Ryzyk                            | Wnioskowanie o charakterze ilościowym, oparte na wartościach progowych.                                                                                                | Niska                                                                                                                            | Średnia – nie stanowi reprezentatywnego, lub zamkniętego katalogu ryzyk.                               |
| Analiza wrażliwości                      | Wnioskowanie o charakterze ilościowym, precyzyjnie wskazujące wpływ zagrożenia na przedsięwzięcie. Zupełnie pominięta ocena prawdopodobieństwa zaistnienia zagrożenia. | Niska                                                                                                                            | Niska – ograniczona do analizy pojedynczych zagrożeń, co dla procesów złożonych jest niewystarczające. |

**Tabela 12.** Ocena metod analizy ryzyka w zakresie wnioskowania

**Źródło:** Opracowanie własne

W poniższej tabeli przedstawiono ocenę omówionych wcześniej metod analizy ryzyka, w rozbiciu na kluczowe elementy, tj. definicja danych wejściowych, analiza i wnioskowanie, w podziale na trudność i reprezentatywność.

|                                                 | Dane wejściowe |                   | Analiza  |                   | Wnioskowanie |                   |
|-------------------------------------------------|----------------|-------------------|----------|-------------------|--------------|-------------------|
|                                                 | Trudność       | Reprezentatywność | Trudność | Reprezentatywność | Trudność     | Reprezentatywność |
| <b>Proponowana metoda</b>                       | Średnia        | Bardzo wysoka     | Niska    | Bardzo wysoka     | Niska        | Bardzo wysoka     |
| <b>Metoda Pareto</b>                            | Średnia        | Średnia           | Brak     | Brak              | Niska        | Średnia           |
| <b>Drzewa zdarzeń, błędów, diagram Ishikawy</b> | Średnia        | Niska             | Wysoka   | Niska             | Niska        | Niska             |
| <b>VaR</b>                                      | Wysoka         | Średnia           | Średnia  | Wysoka            | Średnia      | Niska             |
| <b>Rejestr Ryzyk</b>                            | Wysoka         | Średnia           | Brak     | Brak              | Brak         | Brak              |
| <b>Macierz Ryzyk</b>                            | Wysoka         | Średnia           | Brak     | Brak              | Niska        | Średnia           |
| <b>Analiza wrażliwości</b>                      | Średnia        | Średnia           | Niska    | Średnia           | Niska        | Niska             |

**Tabela 13.** Ogólna ocena metod analizy ryzyka

**Źródło:** Opracowanie własne

W celu przeprowadzenia ilościowej oceny atrakcyjności metod, przeprowadzono wartościowanie wskaźników charakteryzujących omówione metody. W tym celu określono następujące wartości.

| Wskaźnik      | Wartość liczbową |
|---------------|------------------|
| Brak          | 0                |
| Niska         | 1                |
| Średnia       | 2                |
| Wysoka        | 3                |
| Bardzo wysoka | 4                |

**Tabela 14.** Wartości liczbowe dla wskaźników

**Źródło:** Opracowanie własne

W oparciu o wyżej określone wartościowanie cech, w poniższej tabeli przedstawiono wartości wskaźników trudności i reprezentatywności dla poszczególnych metod, oraz wartość wskaźnika atrakcyjności metody. Wskaźnik atrakcyjności metody jest relacją pomiędzy trudnością stosowania metody a jej reprezentatywnością w ocenie badanego przedsięwzięcia. Wskaźnik atrakcyjności metody wyznaczono zgodnie z poniższą formułą:

$$WAM = \frac{R}{T} \quad (4.18)$$

gdzie:

WAM – Wskaźnik Atrakcyjności Metody,

$R = \sum(\text{ilości} * \text{wskaźnik})$  – reprezentatywność,

$T = \sum(\text{ilości} * \text{wskaźnik})$  – trudność.

|                                                     | Ocena łączna                     |                                  | Wartość liczbowa |                   | WAM                  |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|-------------------|----------------------|
|                                                     | Trudność                         | Reprezentatywność                | Trudność         | Reprezentatywność |                      |
| <b>Proponowana metoda</b>                           | 2 Niska<br>1 Średnia             | 3 Bardzo<br>wysoka               | $2*1+1*2=4$      | $3*4=12$          | $\frac{12}{4} = 3$   |
| <b>Metoda Pareto</b>                                | 1 Brak<br>1 Niska<br>1 Średnia   | 1 Brak<br>2 Średnia              | $1*0+1*1+1*2=3$  | $1*0+2*2=4$       | $\frac{4}{3} = 1,33$ |
| <b>Drzewa zdarzeń, błędów,<br/>diagram Ishikawy</b> | 1 Niska<br>1 Średnia<br>1 Wysoka | 3 Niska                          | $1*1+1*2+1*3=6$  | $3*1=3$           | $\frac{3}{6} = 0,5$  |
| <b>VaR</b>                                          | 2 Średnia<br>1 Wysoka            | 1 Niska<br>1 Średnia<br>1 Wysoka | $2*2+1*3=7$      | $1*1+1*2+1*3=6$   | $\frac{6}{7} = 0,86$ |
| <b>Rejestr Ryzyk</b>                                | 2 Brak<br>1 Wysoka               | 2 Brak<br>1 Średnia              | $2*0+1*3=3$      | $2*0+1*2=2$       | $\frac{2}{3} = 0,66$ |
| <b>Macierz Ryzyk</b>                                | 1 Brak<br>1 Niska<br>1 Wysoka    | 1 Brak<br>2 Średnia              | $1*0+1*1+1*3=4$  | $1*0+2*2=4$       | $\frac{4}{4} = 1$    |
| <b>Analiza wrażliwości</b>                          | 2 Niska<br>1 Średnia             | 1 Niska<br>2 Średnia             | $2*1+1*2=4$      | $1*1+2*2=5$       | $\frac{5}{4} = 1,25$ |

**Tabela 15.** Wskaźniki atrakcyjności metody analizy ryzyka

**Źródło:** Opracowanie własne

Zgodnie z powyższą tabelą należy zauważyć, że spośród analizowanych metod oceny ryzyka za najbardziej atrakcyjną uznano metodę będącą przedmiotem niniejszej dysertacji. Zgodnie z przyjętą punktacją istotnie wyróżnia się na tle pozostałych metod, ze wskaźnikiem atrakcyjności metody na poziomie  $WAM = 3$ . Trudność metody została oceniona na poziomie porównywalnym z pozostałymi metodami, nie mniej w sposób istotny wyróżnia się jej reprezentatywność ponad dwukrotnie przewyższając wartości reprezentatywności dla pozostałych metod. Kolejne metody, które uzyskały najwyższą wartość wskaźnika to metoda Pareto i analiza wrażliwości ze wskaźnikiem na poziomie odpowiednio  $WAM=1,33$  i  $WAM=1,25$ . Pozostałe metody uzyskały niższe wyniki dla wskaźnika atrakcyjności metody.

## 5. Badania

### 5.1. Plan badań

W celu weryfikacji przedstawionych założeń, metoda opisana w rozdziale trzecim została poddana serii badań. Przedmiotem badań było przedsięwzięcie polegające na realizacji zlecenia biznesowego polegającego na przeprowadzeniu procesu budowy masztu meteorologicznego, służącego do realizacji kampanii pomiarowych na potrzeby budowy przyszłej farmy wiatrowej. Badania były podzielone na trzy kategorie:

1. z wnioskowaniem w układzie trójwymiarowym,
2. z wnioskowaniem w układzie dwuwymiarowym, z sortowaniem według jednej zmiennej charakterystycznej,
3. z wnioskowaniem w układzie dwuwymiarowym, z sortowaniem według zmiennej wynikowej zmiennych charakterystycznych.

Dla obu powyższych przypadków zaplanowano następujące badania:

1. analiza statystyczna rejestrów realizacji dla wszystkich czynności wchodzących w skład procesu. Celem badania jest poznanie charakteru czynności i jej realizacji, oraz weryfikacja poprawności planowania (definicji wzorca).
2. wyznaczenie krzywej ryzyka, dla różnych wielkości generowanych populacji procesów (100, 200, 500, 1000, 2000, 5000, 10000, 20000).
3. Dla każdej wielkości populacji (100, 200, 500, 1000, 2000, 5000, 10000, 20000) wykonanie analizy statystycznej pod kątem zbieżności/powtarzalności wyników. Badanie ma polegać na wygenerowaniu grup populacji o tej samej liczebności, następnie wyznaczeniu dla tych serii parametrów z dziedziny analizy statystycznej, celem ich porównania. Celem badania jest weryfikacja zbieżności wyników symulacji w miarę zwiększania populacji.
4. Spośród wygenerowanych populacji wytypowano po jednej populacji reprezentującej daną liczebność, następnie wyznaczyć proponowane w punkcie 4.4 wielkości parametrów.

Powyższy plan badań ma na celu dowiedzenie o użyteczności możliwych do osiągnięcia wyników analizy, ich reprezentatywności z punktu widzenia całego przedsięwzięcia, oraz łatwości w ich interpretacji. Dodatkowo, powtórzenie badań ma celu dowieść stabilność metody, a w rezultacie pewność uzyskiwanych wyników.

## 5.2. Baza badawcza

Dla potrzeb przeprowadzenia badań wykorzystany został rzeczywisty przypadek procesu biznesowego polegającego na przyjęciu zlecenia przygotowania i budowy masztu meteorologicznego, służącego do wykonania kampanii pomiarowych parametrów wietrzności dla potrzeb energetyki wiatrowej. Zgodnie z założeniami metody obiekt badań musiał charakteryzować się powtarzalnością większą niż 30 przypadków, aby możliwe było określenie rejestrów realizacji dla poszczególnych czynności. Proponowany obiekt – maszt pomiarowy, spełnia takie wymagania. Na poniższym zdjęciu zaprezentowano przykładowy maszt pomiarowy.



**Zdjęcie 1.** Maszt pomiarowy do realizacji kampanii pomiarowych parametrów wietrzności

**Źródło:** <http://www.maszty-retis.pl/galeria/201105%20Siecieborzyce%20100m/siecieborzyce%20maszt%20widok.jpg> ,  
data pobrania: 09.2011

Zgodnie z zasadami postępowania dla badanej metody, definicja obiektu badań odbyła się w dwóch etapach. Budowa bazy roboczej odbyła się z wykorzystaniem metody delfickiej. Grupa ekspertów liczyła 10 osób, o doświadczeniu zawodowym nie krótszym niż 4 lata w jednej z renomowanych firm z branży energetyki wiatrowej.

W pierwszej kolejności zdefiniowany został diagram Gantt'a dla zadania polegającego na realizacji zlecenia. Proces ten rozpoczyna się od zadania polegającego na wytyczeniu miejsca pod budowę masztu, a kończy na uzyskaniu zapłaty za wykonane zlecenie. Badany proces składa się z 18 czynności. Każda czynność opisana jest następującymi parametrami:

1. czas trwania czynności,
2. koszt czynności,
3. liczba poprzedników,
4. nr poprzedników.

Sam proces jako przedsięwzięcie biznesowe, czyli rozpatrywany w reżimie czasu i nakładów finansowych jest przedsięwzięciem charakteryzującym się następującymi parametrami:

| Parametr                                                          | Wartość      |
|-------------------------------------------------------------------|--------------|
| Czas realizacji                                                   | 238 dni      |
| Wynik finansowy                                                   | 73 400 zł    |
| Wartość bieżąca netto (dla stopy inflacji 2% i stopy dyskonta 8%) | 68 366,59 zł |

**Tabela 16.** Parametry obiektu badanego – wzorca

**Źródło:** Opracowanie własne

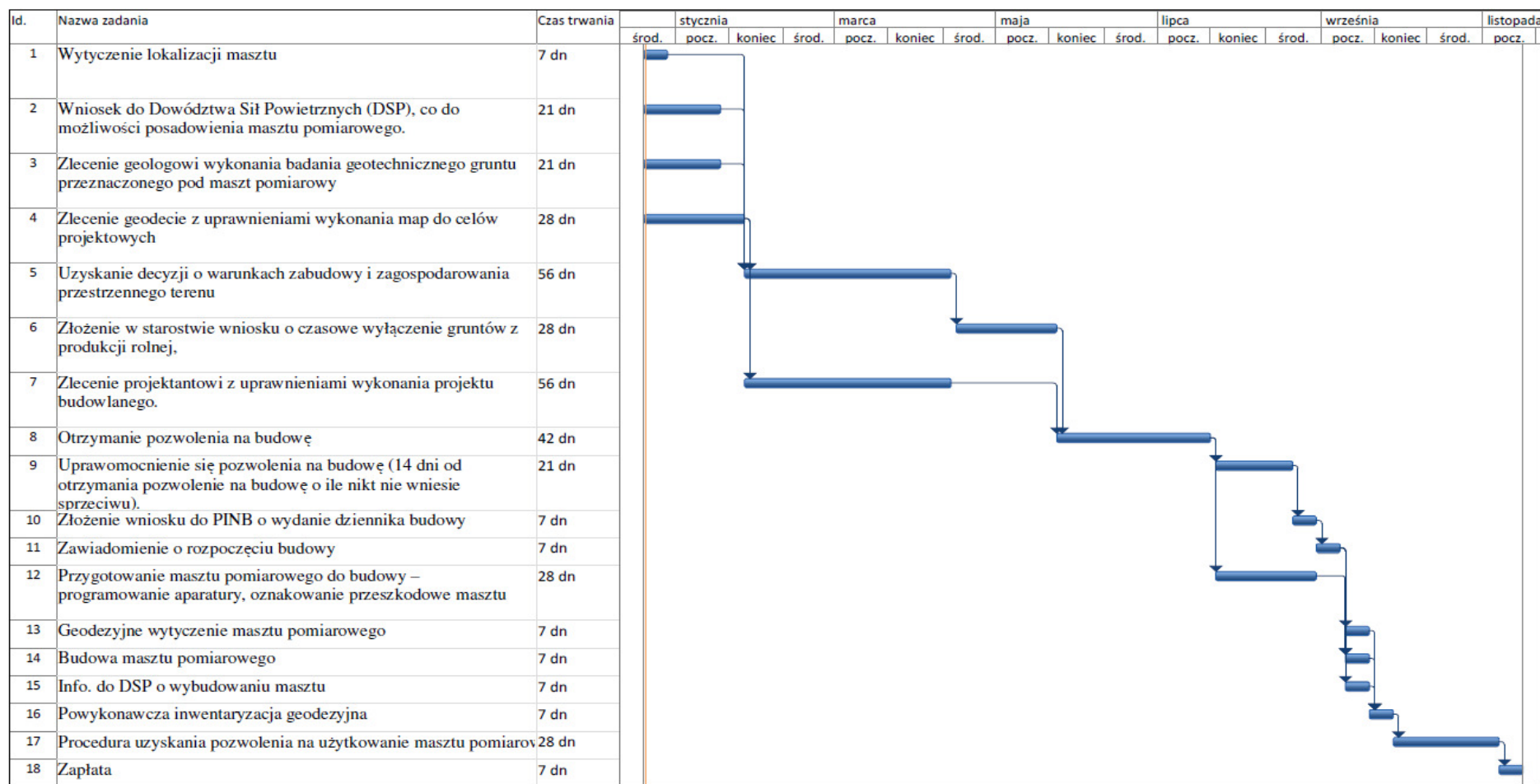
W poniższej tabeli przedstawiono definicję wzorca w postaci tabelarycznej, zgodnie z formułą opisaną w punkcie 4.2.1. Następnie na poniższym rysunku przedstawiono diagram Gantt'a opracowany dla badanego przedsięwzięcia.

| Lp. | Nazwa czynności                                                                               | Koszt     | Czas trwania | Ilość poprzedników | Numery poprzedników |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------|--------------------|---------------------|
| 1   | Wytyczenie lokalizacji masztu                                                                 | -3 000 zł | 7            | 0                  | 0                   |
| 2   | Wniosek do Dowództwa Sił Powietrznych (DSP), co do możliwości posadowienia masztu pomiarowego | -200 zł   | 21           | 0                  | 0                   |
| 3   | Zlecenie geologowi wykonania badania geotechnicznego gruntu przeznaczonego                    | -4 500 zł | 21           | 0                  | 0                   |

| Lp. | Nazwa czynności                                                                                                       | Koszt       | Czas trwania | Ilość poprzedników | Numery poprzedników |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|--------------------|---------------------|
|     | pod maszt pomiarowy                                                                                                   |             |              |                    |                     |
| 4   | Zlecenie geodecie z uprawnieniami wykonania map do celów projektowych                                                 | -4 000 zł   | 28           | 0                  | 0                   |
| 5   | Uzyskanie decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania przestrzennego terenu                                       | -12 000 zł  | 56           | 1                  | 4                   |
| 6   | Złożenie w starostwie wniosku o czasowe wyłączenie gruntów z produkcji rolnej                                         | -6 000 zł   | 28           | 1                  | 5                   |
| 7   | Zlecenie projektantowi z uprawnieniami wykonania projektu budowlanego                                                 | -12 000 zł  | 56           | 1                  | 4                   |
| 8   | Otrzymanie pozwolenia na budowę                                                                                       | -5 000 zł   | 42           | 2                  | 6, 7                |
| 9   | Uprawomocnienie się pozwolenia na budowę (14 dni od otrzymania pozwolenia na budowę o ile nikt nie wniesie sprzeciwu) | -500 zł     | 21           | 1                  | 8                   |
| 10  | Złożenie wniosku do PINB o wydanie dziennika budowy                                                                   | -600 zł     | 7            | 1                  | 9                   |
| 11  | Zawiadomienie o rozpoczęciu budowy                                                                                    | -600 zł     | 7            | 1                  | 10                  |
| 12  | Przygotowanie masztu pomiarowego do budowy – programowanie aparatury, oznakowanie przeszkodowe masztu                 | -120.000 zł | 28           | 1                  | 8                   |
| 13  | Geodezyjne wytyczenie masztu pomiarowego                                                                              | -2 000 zł   | 7            | 2                  | 12, 13              |
| 14  | Budowa masztu pomiarowego                                                                                             | -22 000 zł  | 7            | 2                  | 12, 13              |
| 15  | Info. do DSP o wybudowaniu masztu                                                                                     | -200 zł     | 7            | 2                  | 11, 12              |
| 16  | Powykonawcza inwentaryzacja geodezyjna                                                                                | -4 000 zł   | 7            | 3                  | 13, 14, 15          |
| 17  | Procedura uzyskania pozwolenia na użytkowanie masztu pomiarowego                                                      | -5 000 zł   | 28           | 1                  | 16                  |
| 18  | Zapłata                                                                                                               | 275 000 zł  | 7            | 1                  | 17                  |

**Tabela17.** Definicja wzorca w postaci tabelarycznej

**Źródło:** Opracowanie własne



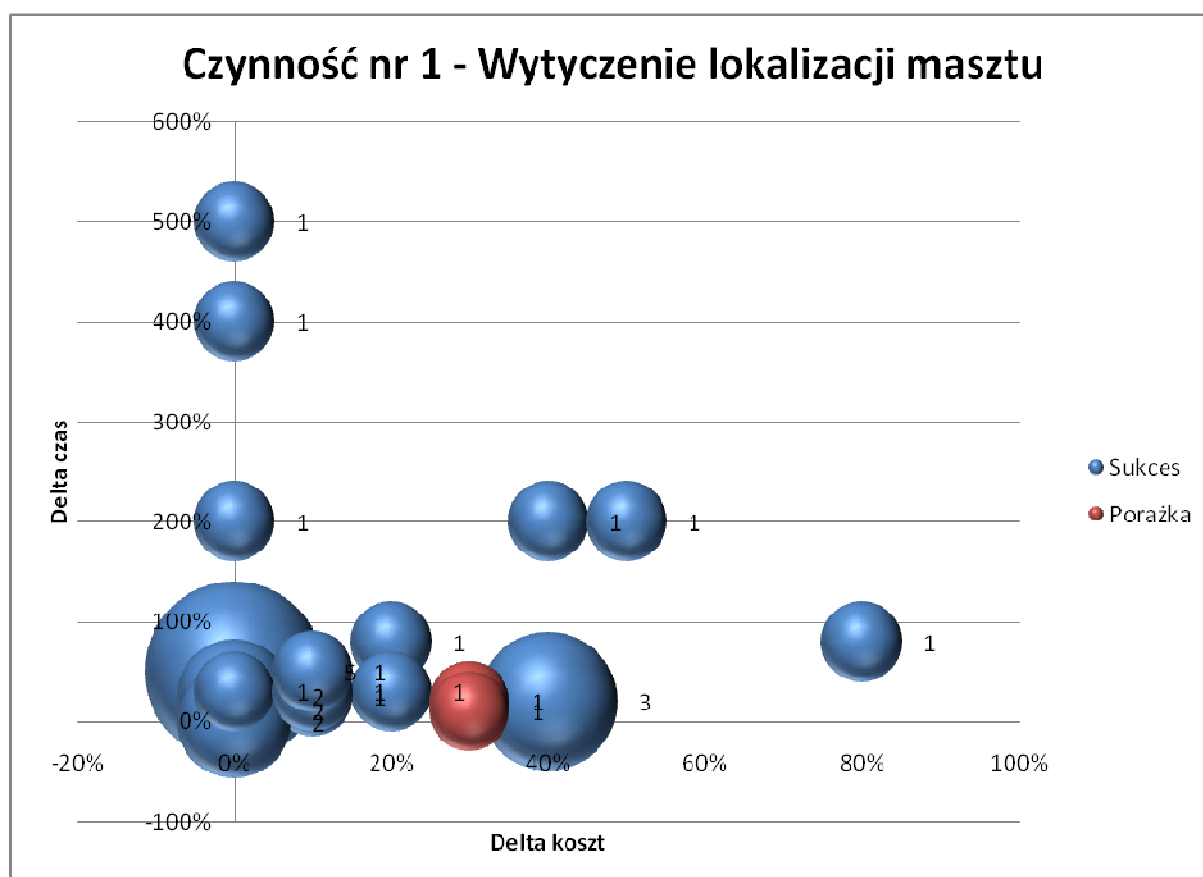
**Rysunek 17.** Diagram Gantt'a procesu – wzorzec

**Źródło:** Opracowanie własne

Następnie z diagramu Gantt'a wyodrębniono wszystkie czynności wchodzące w skład procesu inwestycyjnego. Dla każdej z osiemnastu czynności sporządzony został indywidualny rejestr realizacji. Rejestr taki przedstawia efekt trzydziestu realizacji danej czynności, które zostały zapisane za pomocą trzech zmiennych:

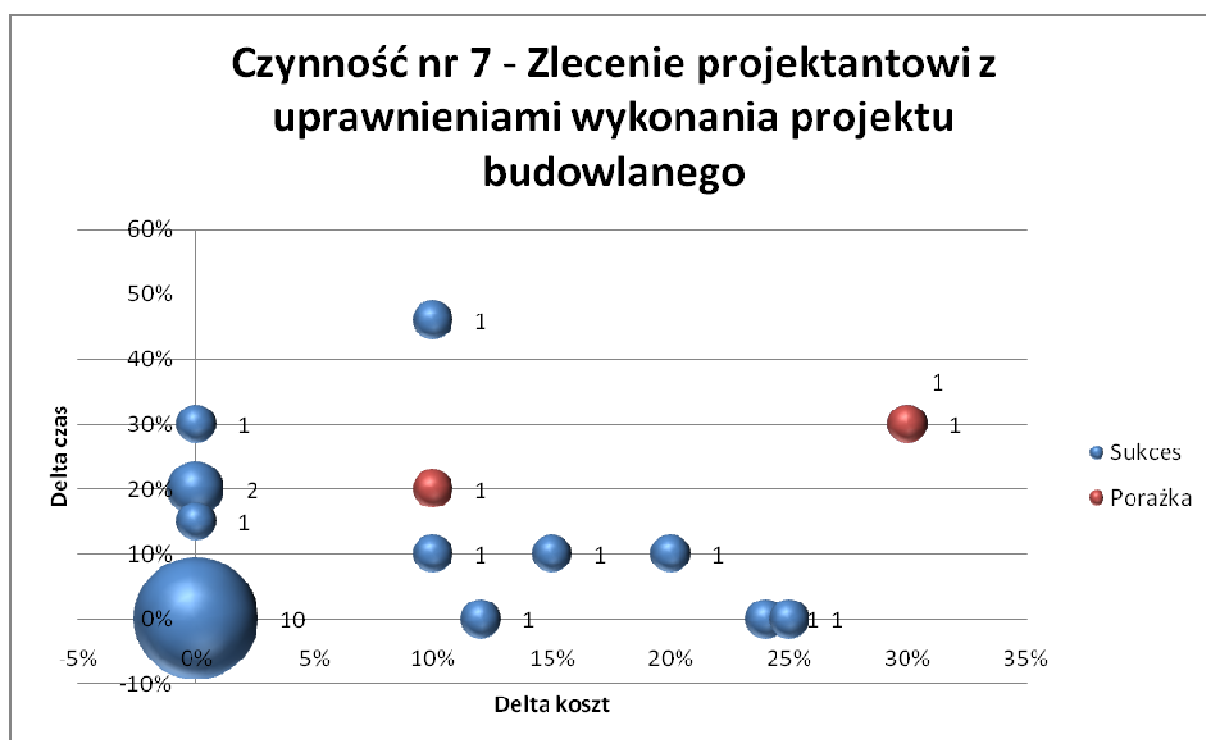
1. Odstępstwa w zakresie czasu realizacji,
2. Odstępstwa w zakresie wartości pieniężnej,
3. Znacznika wskazującego na to czy czynność zakończono z sukcesem, lub porażką.

Na poniższych wykresach przedstawiono trzy przykłady wykresów bąbelkowych wykonanych dla trzech wybranych czynności na podstawie zarejestrowanych wykonanych realizacji. Na wykresach tych można zaobserwować zmienność incydentów jakie zostały zarejestrowane przy realizacji procesu. Dodatkowo na wykresach bąbelkowych, kolorem czerwonym oznaczone zostały incydenty, które nie tylko stanowiły odchylenia od wzorca czynności, w zakresie swoich zmiennych, ale również stanowiły zakończenie procesu porażką, tzn. proces nie mógł być dalej kontynuowany, zgodnie z diagramem sieciowym.



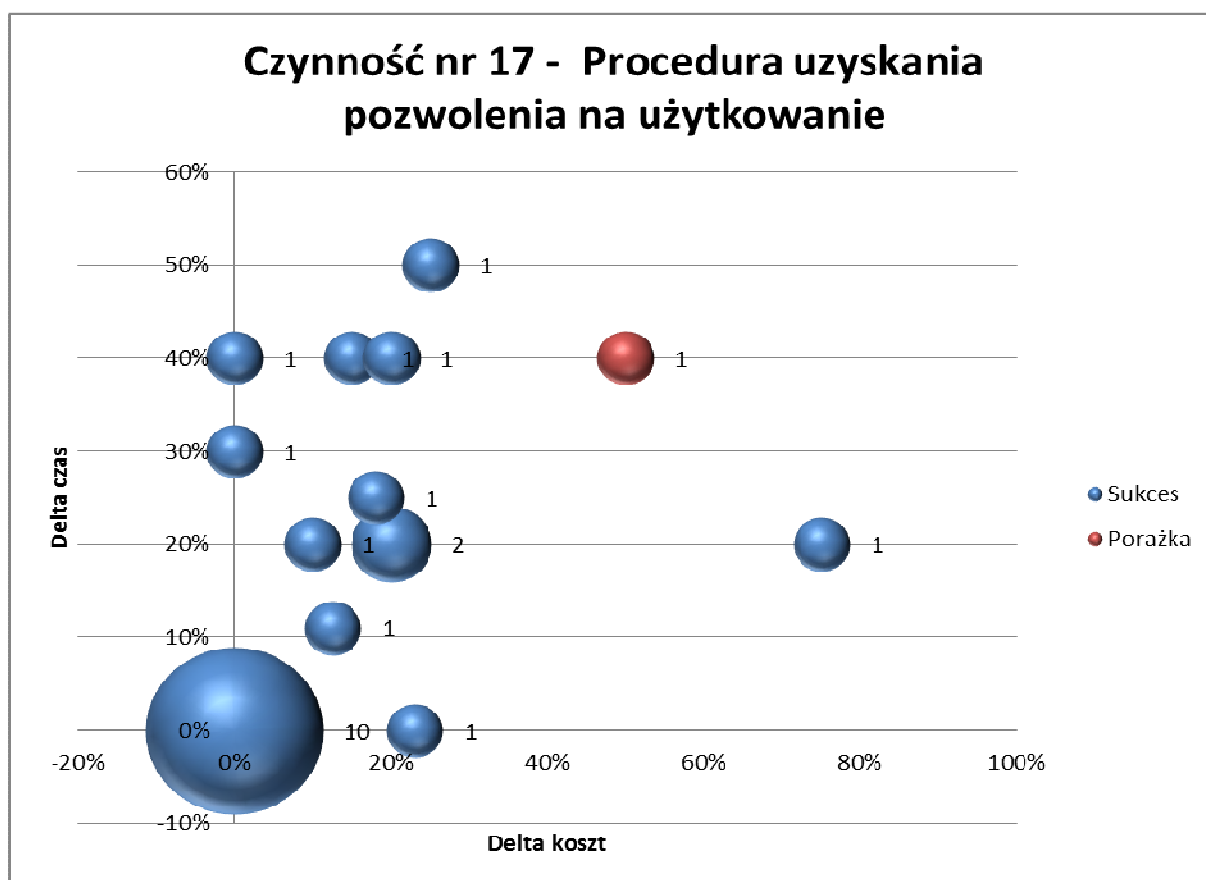
**Wykres 5.** Wykres bąbelkowy incydentów zarejestrowanych dla czynności nr 1

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 6.** Wykres bąbelkowy incydentów zarejestrowanych dla czynności nr 7

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 7.** Wykres bąbelkowy incydentów zarejestrowanych dla czynności nr 17

**Źródło:** Opracowanie własne

Aby móc ocenić charakterystykę realizacji dla poszczególnych czynności, wykonano analizę statystyczną, na podstawie której sporządzono wykresy pudełkowe odpowiednio dla zmiennych charakterystycznych, tj. **Koszt**, **Czas**, oraz dla zmiennej **W**, o której mowa w punkcie 4.2.4.1. **W** wyrażana jest wzorem

$$W = \sqrt{X \cdot (\Delta A)^2 + Y \cdot (\Delta B)^2} \quad (5.1)$$

gdzie:

**W** – wielkość wektora,

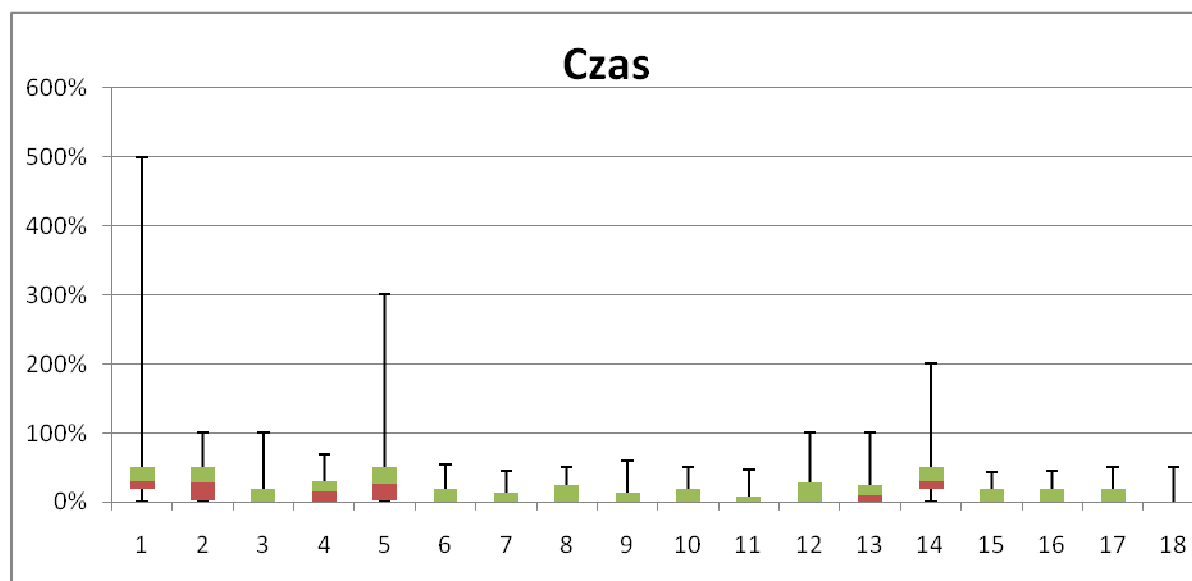
$\Delta A$  – różnica wielkości A wzorca i badanego procesu,

$\Delta B$  – różnica wielkości B wzorca i badanego procesu,

**X** – waga dla parametru  $\Delta A$ ,

**Y** – waga dla parametru  $\Delta B$ .

Na poniższym wykresie przedstawiono wykres pudełkowy dla pierwszej zmiennej charakterystycznej procesu, całkowity czas realizacji przedsięwzięcia (**Czas**).



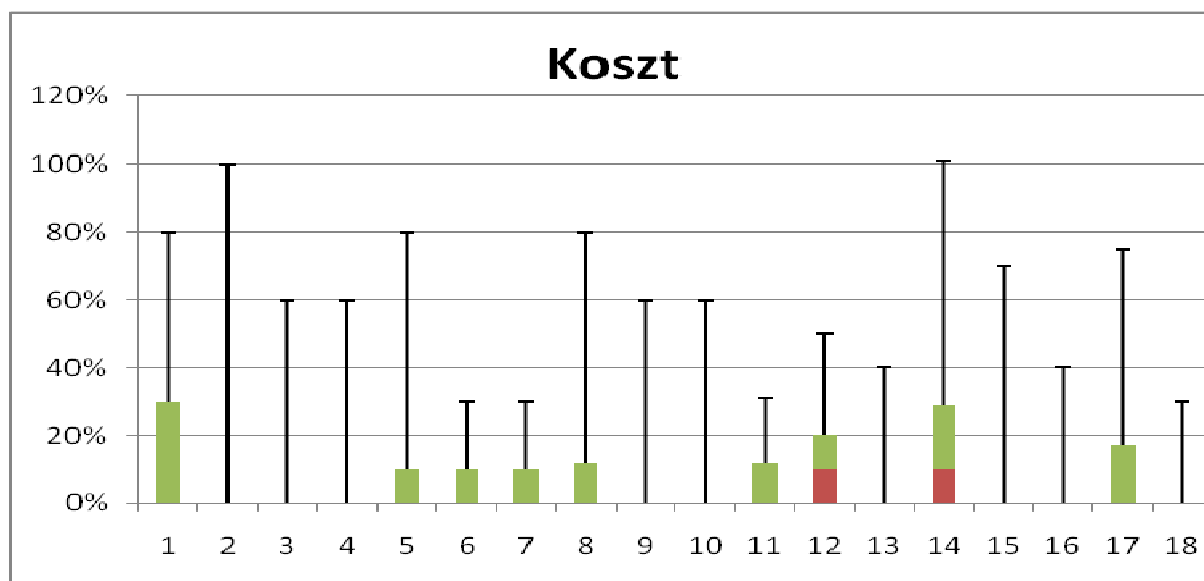
**Wykres 8.** Wykres pudełkowy zmiennej **Czas** dla poszczególnych czynności

**Źródło:** Opracowanie własne

Jak łatwo zauważyć dla większości czynności zarejestrowane zostały odchylenia. Nie mniej tylko dla pięciu przypadków wyznaczono medianę i wartość kwartyła 1. Na podstawie powyższego można stwierdzić, że wartości zmiennej **czas** dla poszczególnych czynności, nie są idealnie zaplanowane, aczkolwiek są bardzo bliskie rzeczywistości i w wielu przypadkach, znajdują potwierdzenie w realizacjach.

Na poniższym wykresie przedstawiono wykres pudełkowy dla drugiej zmiennej charakterystycznej procesu, wartości przedsięwzięcia. Poniżej dla badanego procesu zmienna ta odpo-

wiada wielkości finansowej, w dalszej części zmienna ta będzie reprezentowana jako wielkość **Koszt**.

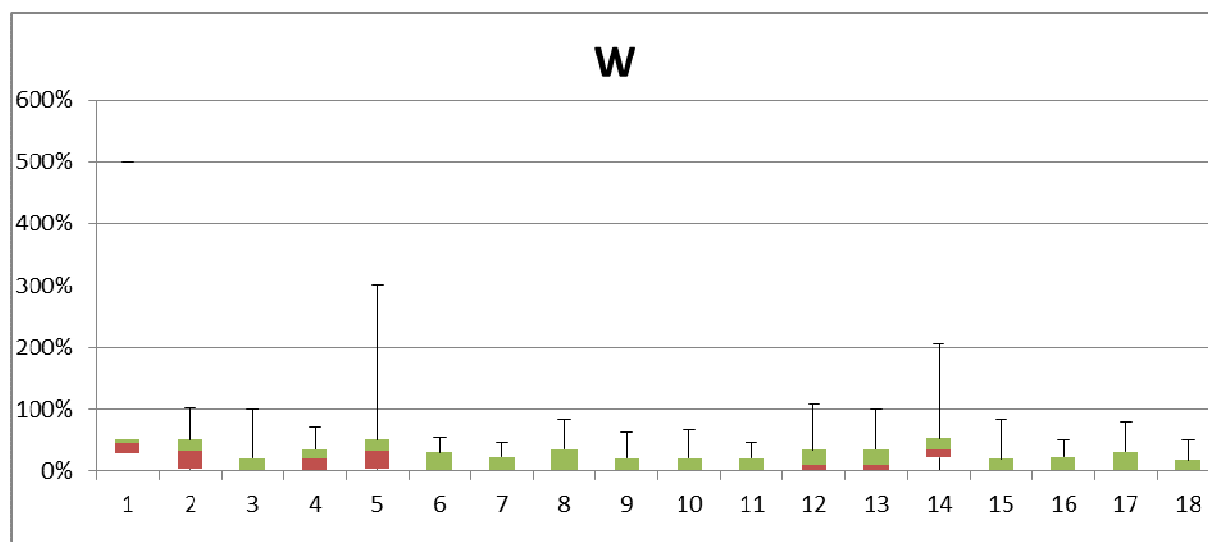


**Wykres 9.** Wykres pudełkowy zmiennej **Koszt** dla poszczególnych czynności

**Źródło:** Opracowanie własne

Jak można zauważyć na powyższym wykresie dla każdej z czynności zarejestrowane zostały odchylenia. Dla połowy czynności odchylenia były na tyle istotne, że wyznaczona została wartość kwartyła 3, natomiast tylko dla dwóch czynności wyznaczono wartość mediany. Na podstawie tego można wnioskować, że dla badanych czynności odchylenia występują rzadko, nie mniej ich zakres jest duży, bo w skrajnych przypadkach podwaja wartość wzorcową.

Na poniższym wykresie przedstawiono wykres pudełkowy dla zmiennej **W**.



**Wykres 10.** Wykres pudełkowy dla zmiennej **W** dla poszczególnych czynności

**Źródło:** Opracowanie własne

Z powyższego wykresu wynika, że realizacja każdej z czynności wiązała się z zaistnieniem odchyłeń w zakresie przynajmniej jednej ze zmiennych. W przypadku siedmiu czynności częstość występowania odchyłeń była na tyle duża, że możliwe było wyznaczenie mediany.

Na podstawie powyższych trzech wykresów można wywnioskować kilka spostrzeżeń:

1. plan procesu, w postaci diagramu sieciowego został wykonany w sposób prawidłowy, ponieważ incydenty dla zmiennej **Czas**, oraz zmiennej **Koszt** prezentują na wykresie, że kwartyl 1 oraz mediana najczęściej osiągały wartość zero, co wskazuje zbieżność zarejestrowanych wyników do zera /tendencja do braku odchyłeń/. Tylko wartość maksymalna prezentowała duże odchylenie.
2. zmienne **Czas** i **Koszt** indywidualnie stanowiły mniejsze odchylenie od wzorca niż oceniane wspólnie w postaci zmiennej **W/efekt** łączenia konsekwencji/.
3. Już na etapie wykresów pudełkowych odchyłeń poszczególnych zmiennych /**Czas**, **Koszt**/, możliwe jest wytypowanie tych czynności, które są bardziej podatne na odchylenia, dla których należałoby przeprowadzić raz jeszcze procedurę planowania, ponieważ parametry statystyczne wykazują znaczącą ilość odchyłeń od wzorca (tendencja do odchyłeń od wzorca).

## 5.3. Badania w trzech wymiarach 3D

### 5.3.1. Symulacja

Kolejnym etapem prowadzonych badań było przeprowadzenie symulacji stochastycznej zgodnie z metodą Monte Carlo na zdefiniowanym obiekcie. Zrealizowano szereg symulacji dla różnych liczebności populacji, przy różnej ilości powtórzeń. Wykonano po 20 symulacji dla serii liczących 100, 200 powtórzeń, po 10 symulacji dla serii liczących 500, 1000, 2000, 5000, 10000 powtórzeń, oraz 5 symulacji dla serii liczących 20 000 powtórzeń.

Na poniższych wykresach przedstawiono wyniki symulacji dla różnej liczebności populacji. Wykresy te przedstawiają pozycję wygenerowanych procesów na płaszczyźnie dwóch zmiennych charakteryzujących proces, w tym przypadku **Czas** i **Koszt**. Pozycja poszczególnych procesów w populacji jest przypadkowa i wynika z charakteru symulacji stochastycznej.

Jak już wyjaśniano powyżej, aby możliwym było zaprezentowanie wyników w układzie trójwymiarowym, niezbędne było odejście od wielkości jakie reprezentują poszczególne parametry, zastępując je wielkościami określającymi odstępstwo od wartości wzorcowej danego parametru, a wyrażane w procentach. Stąd na poniższych wykresach zaprezentowano wyniki w układzie trzech zmiennych:

1. Populacja – niezależnie od liczebności populacji, na wykresie wyniki są reprezentowane na tle 100% wygenerowanej populacji.
2. Koszt – wartość parametru wyznaczano według formuły:

$$\Delta Koszt_i[\%] = \frac{koszt_{\max}[zł] - Koszt_i[zł]}{koszt_{\max}[zł] - koszt_{\min}[zł]} \cdot 100\% \quad (5.2)$$

gdzie:

$\Delta Koszt_i[\%]$  – odchylenie wielkości charakteryzującej nakłady finansowe i – tego procesu, wyrażana w procentach.

$Koszt_i[zł]$  – wielkość charakteryzująca nakłady finansowe i – tego procesu, wyrażana w walucie PLN.

$Koszt_{\max}[zł]$  – maksymalna wielkość charakteryzująca nakłady finansowe z populacji procesów, wyrażana w walucie PLN.

$Koszt_{\min}[zł]$  – minimalna wielkość charakteryzująca nakłady finansowe z populacji procesów, wyrażana w walucie PLN.

3. Czas – wartość parametru wyznaczona według formuły:

$$\Delta Czas_i[\%] = \frac{Czas_i[dni] - czas_{wz}[dni]}{Czas_{\max}[dni] - Czas_{\min}[dni]} \cdot 100\% \quad (5.3)$$

gdzie:

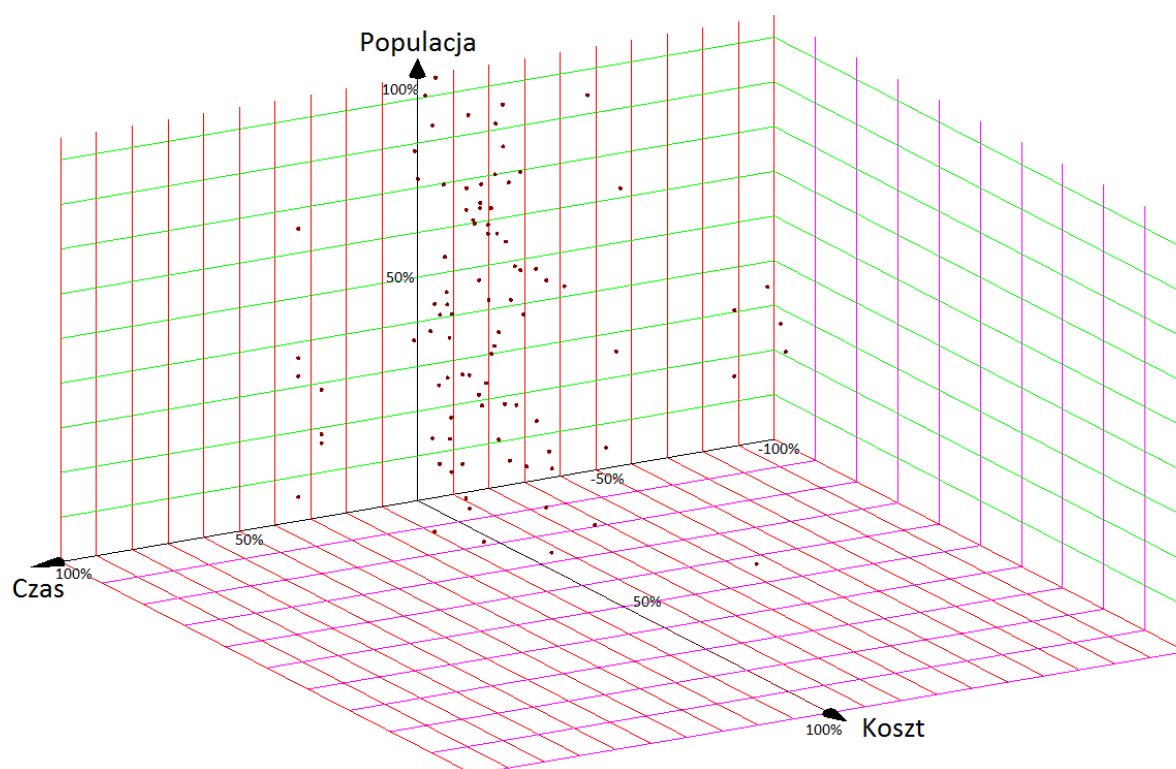
$\Delta Czas_i[\%]$  – wielkość charakteryzująca czas wykonania i – tego procesu, wyrażana w procentach.

$Czas_i[dni]$  – wielkość charakteryzująca czas wykonania i – tego procesu, wyrażana w dniach.

$Czas_{wz}[dni]$  – wielkość charakteryzująca czas wykonania procesu, wyrażana w dniach.

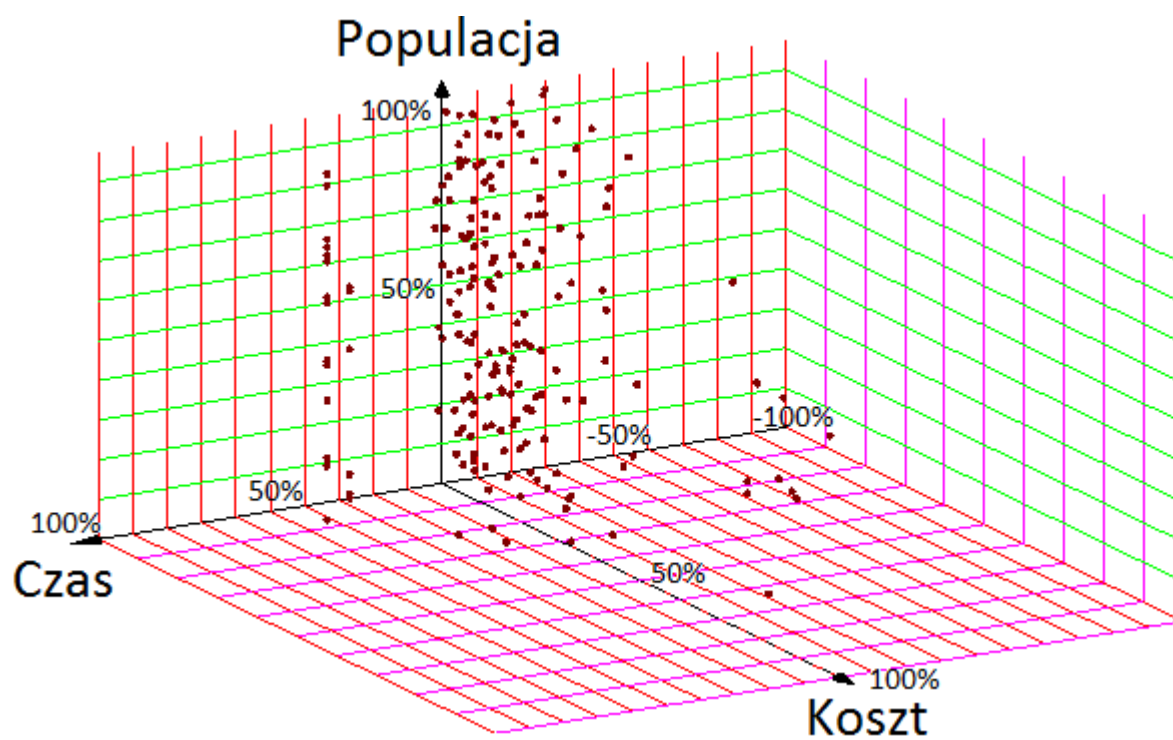
$Czas_{\max}[dni]$  – maksymalna wielkość charakteryzująca czas wykonania procesu, wyrażana w dniach.

$Czas_{\min}[dni]$  – minimalna wielkość charakteryzująca czas wykonania procesu, wyrażana w dniach.



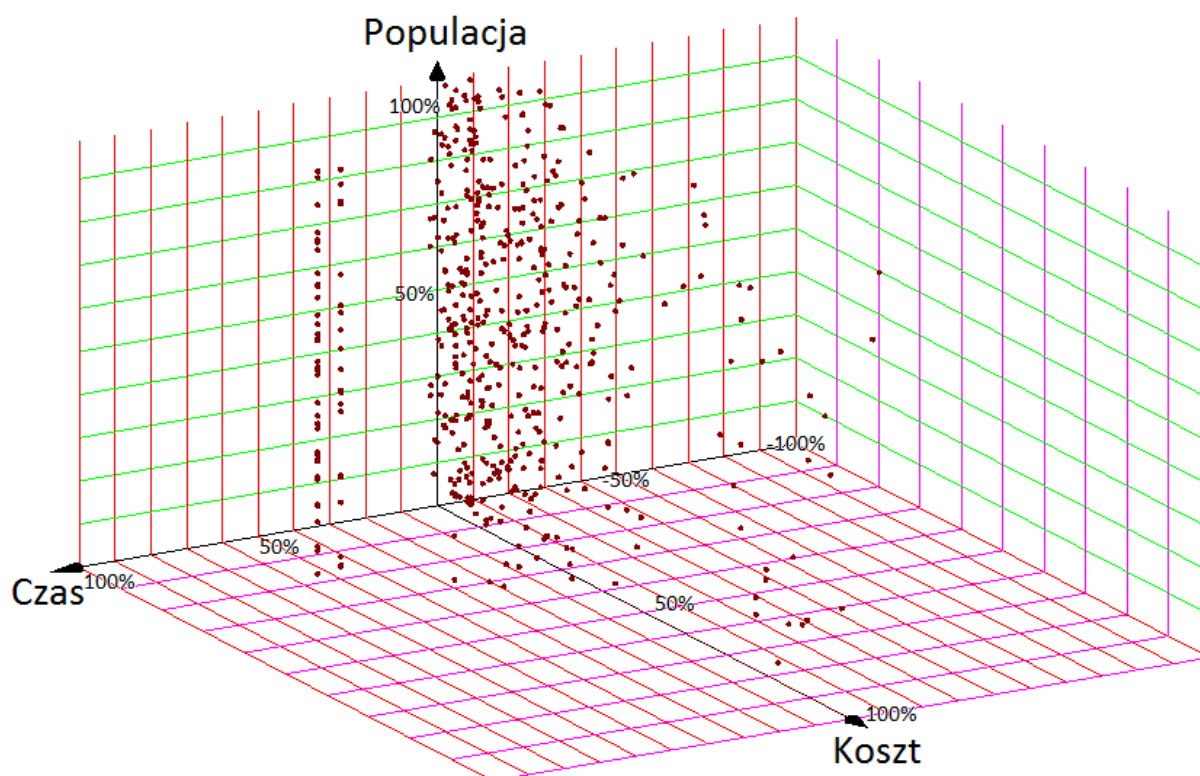
**Wykres 11.** Wykres dla populacji 100 procesów

**Źródło:** Opracowanie własne



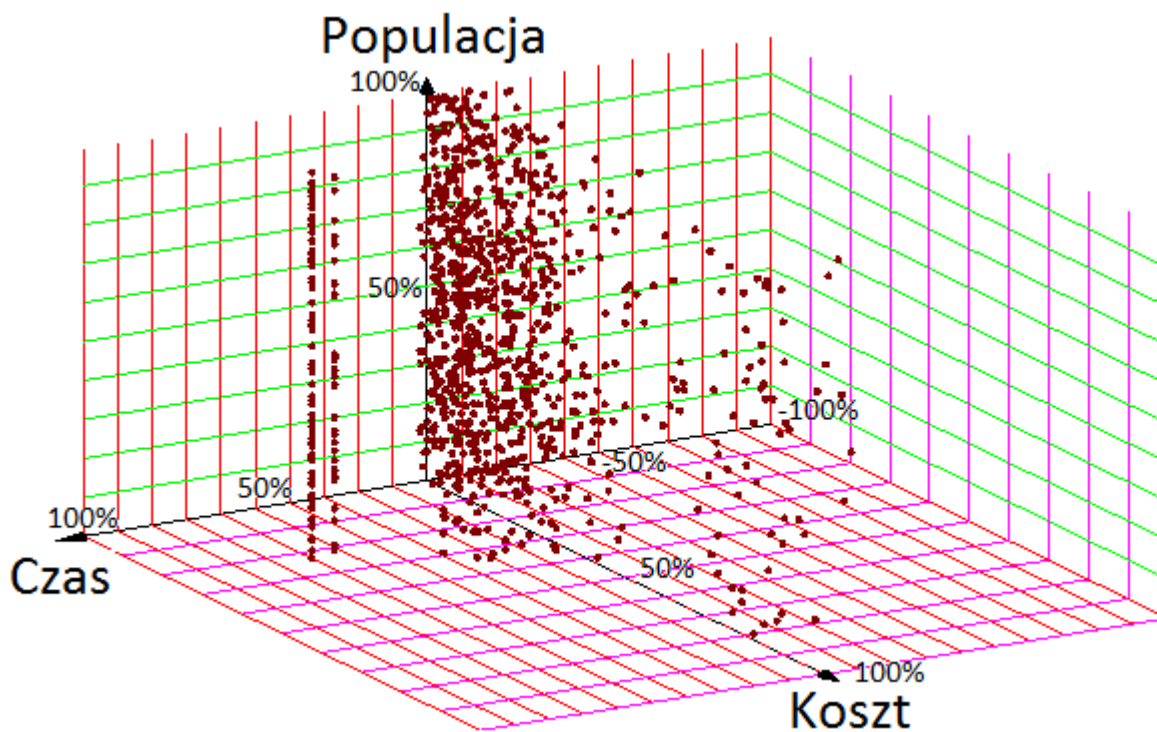
**Wykres 12.** Wykres dla populacji 200 procesów

**Źródło:** Opracowanie własne



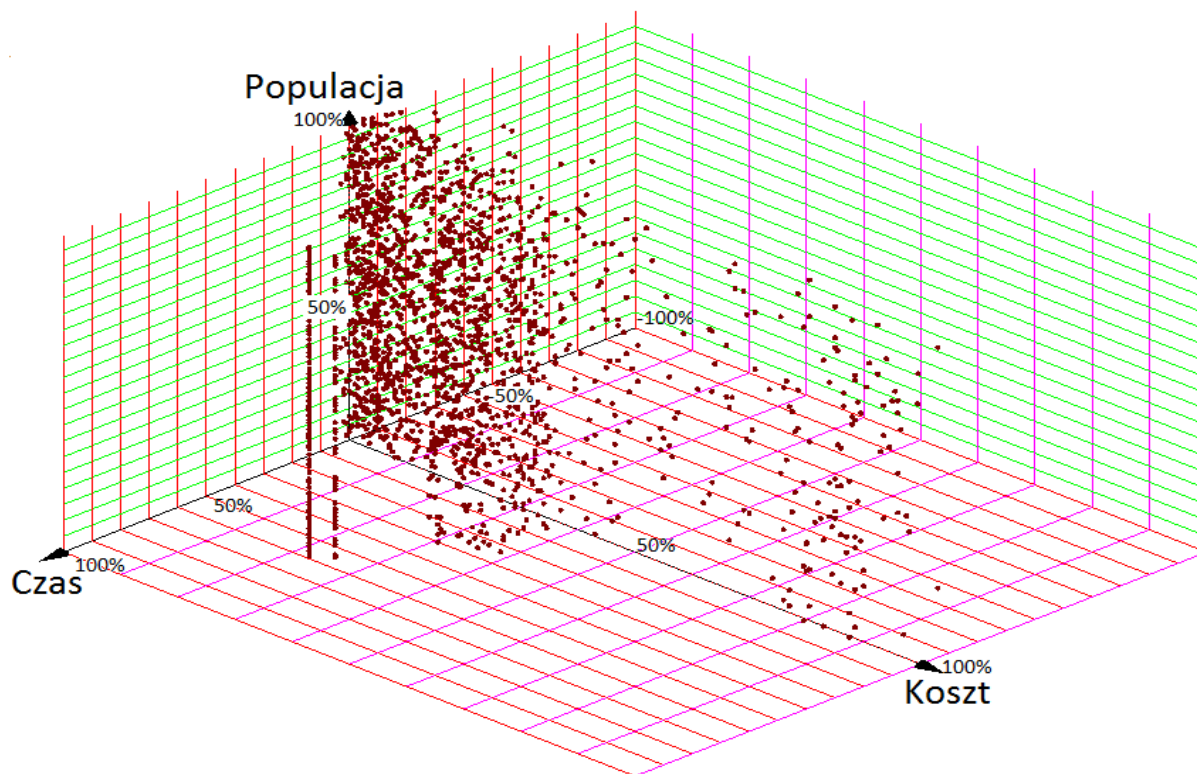
**Wykres 13.** Wykres dla populacji 500 wykresów

**Źródło:** Opracowanie własne



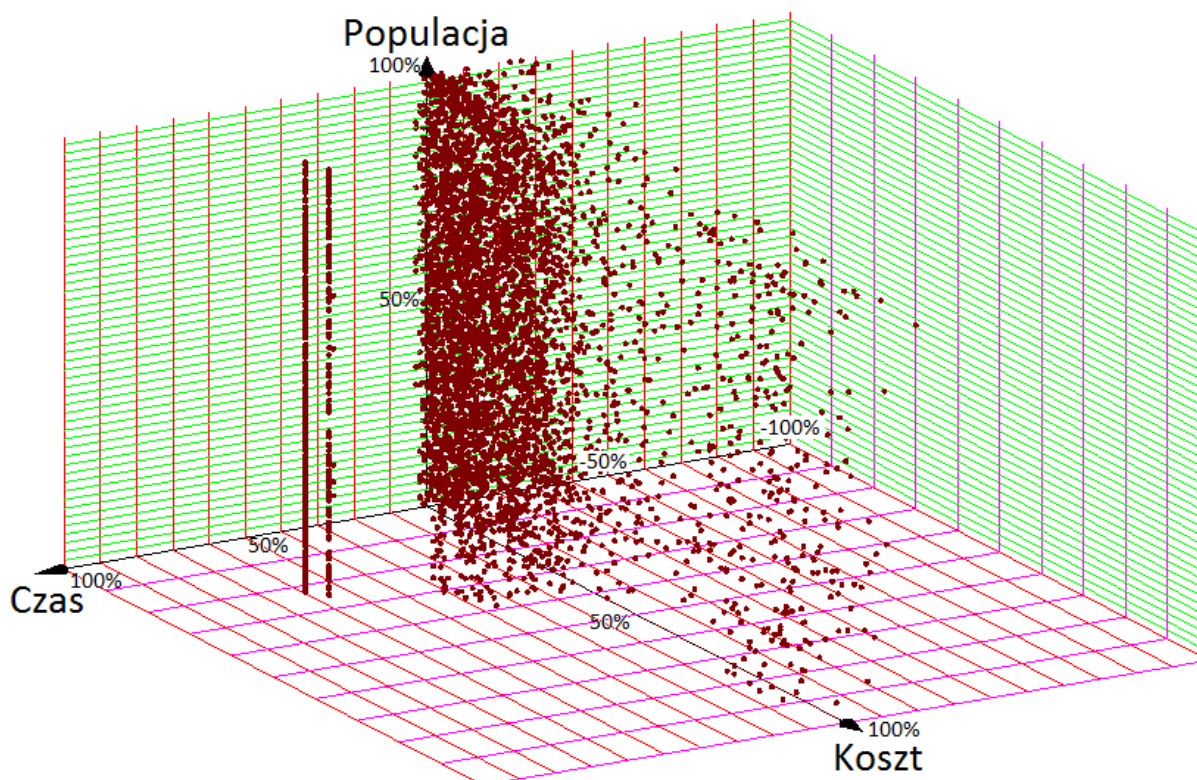
**Wykres 14.** Wykres dla populacji 1000 procesów

**Źródło:** Opracowanie własne



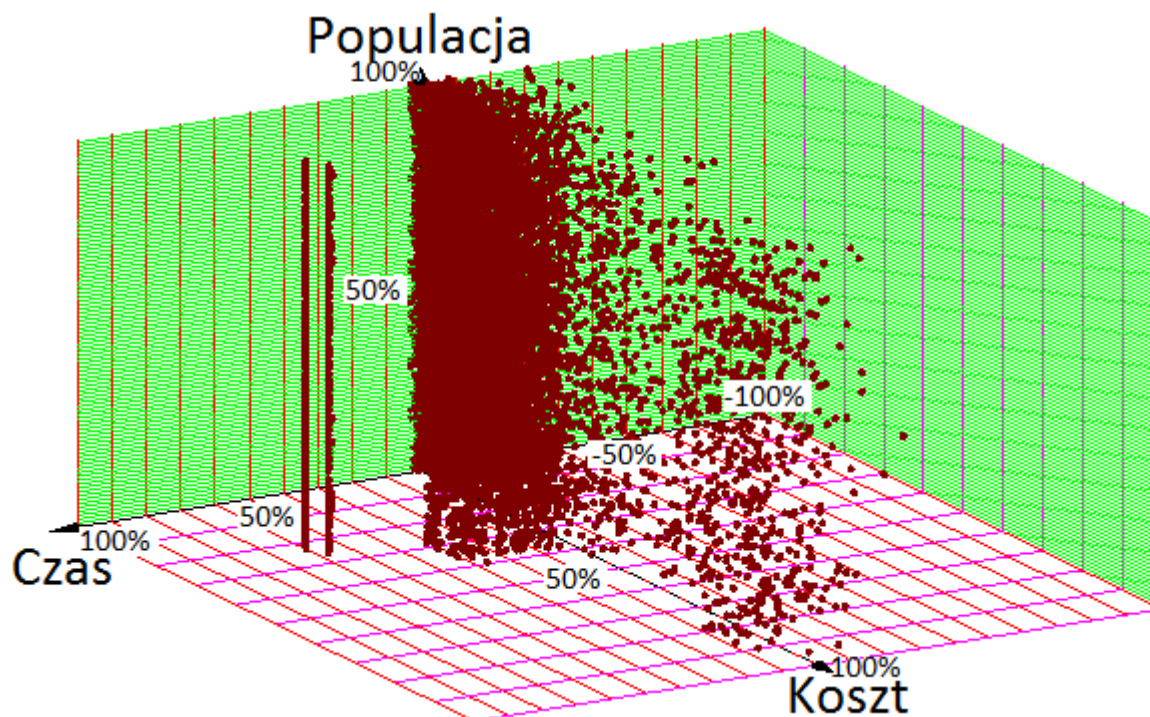
**Wykres 15.** Wykres dla populacji 2000 procesów

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 16.** Wykres dla populacji 5000 procesów

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 17.** Wykres dla populacji 10000 procesów

**Źródło:** Opracowanie własne

Łatwo zauważyć na powyższych wykresach, że w miarę zwiększania liczebności populacji następuje zagęszczenie procesów, w tym w szczególności w bliskim sąsiedztwie pozycji wzorcowej. W dolnej części wykresu zwrócić należy uwagę na charakterystyczną reprezentację procesów o znaczącym odchyleniu zmiennej **Czas**. Potwierdza to dyskretną postać analizy, wynikającą ze specyfiki rejestrów realizacji.

### 5.3.2. Sortowanie

Przeprowadzenie operacji sortowania na populacji procesów w kolejności zgodnej ze wzrostem zmiennej **W**, odpowiadającej odległości wyników procesu od wyników procesu wzorcowego, najłatwiej przedstawić w formie graficznej. Zmienne charakterystyczne procesów odpowiadają całkowitemu okresowi realizacji przedsięwzięcia, oraz wynikowi finansowemu, jaki jest przypisany do przedsięwzięcia. Zmienna **Czas** jest określana w drodze optymalizacji diagramu Gantt'a metodą ścieżki krytycznej – CPM. Zmienna **Koszt** jest określana jako suma wszystkich kosztów i przychodów przypisanych do czynności, jakie są integralną częścią przedsięwzięcia. Ponieważ zmienne te są niepowiązane względem siebie, a ich jednostki miary są różne, dlatego w pierwszej kolejności przekształcono wartości na wielkości wyrażane w procentach, określając ich odchylenie od wzorca. Następnie, aby w sposób adekwatny odnosić się do odchylenia zmiennej **Koszt** i zmiennej **Czas**, odległość wyniku od wzorca (zmienna **W**) określono jako odległość euklidesową (geometryczną).

$$W = \sqrt{(\Delta A)^2 + (\Delta B)^2} \quad (5.4)$$

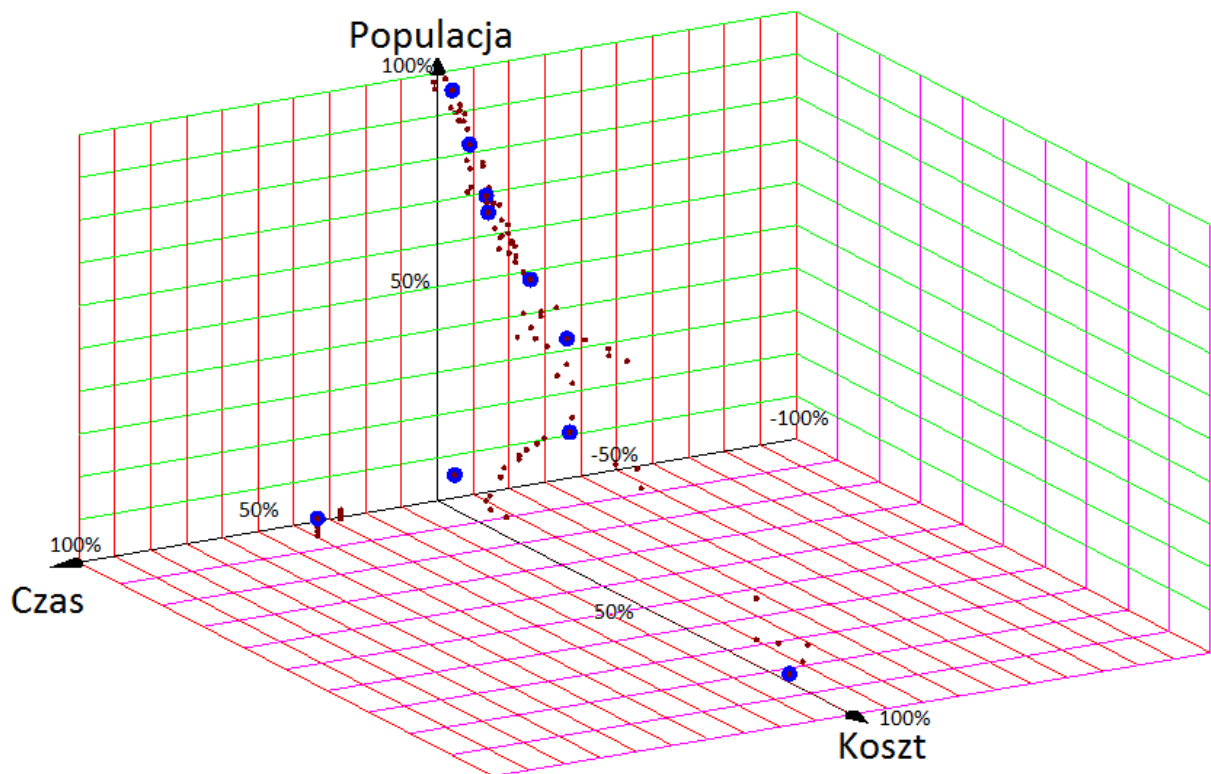
gdzie:

$W$  – wielkość wektora.

$\Delta A$  – różnica wielkości  $A$  (**Czas**) wzorca i badanego procesu.

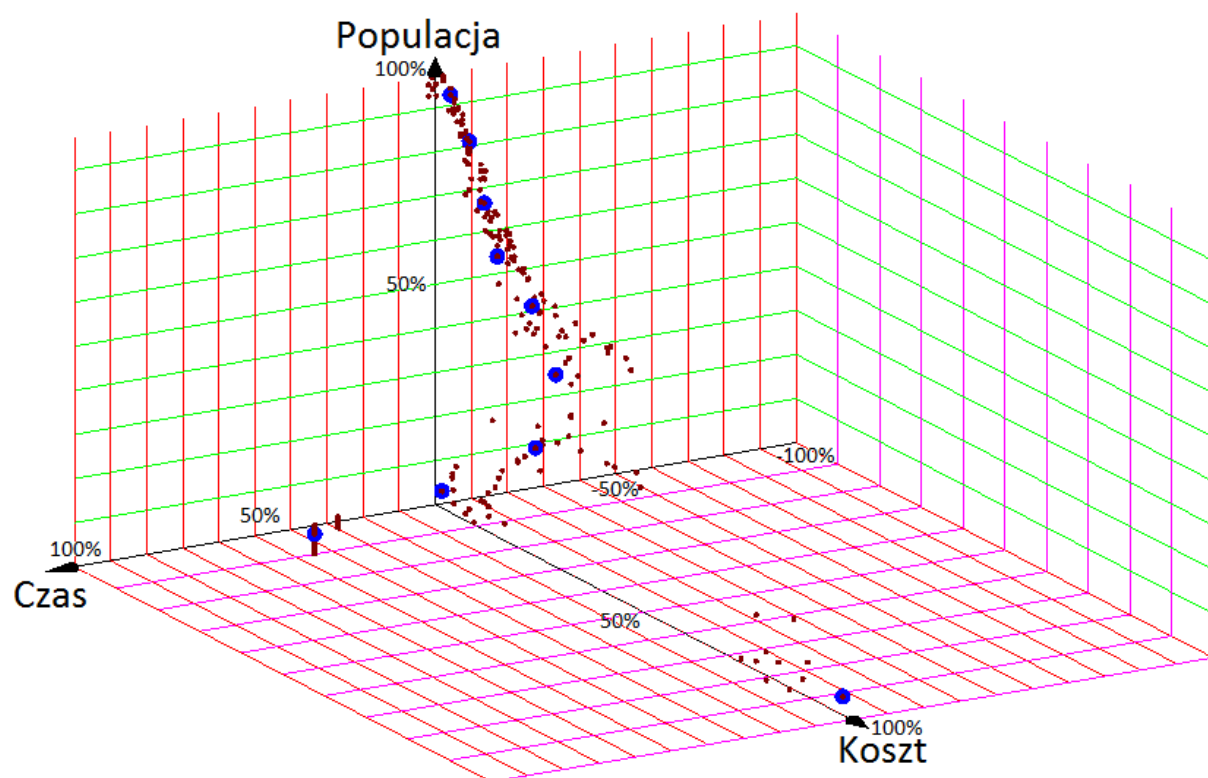
$\Delta B$  – różnica wielkości  $B$  (**Koszt**) wzorca i badanego procesu.

Poniżej przedstawiono posortowane wyniki procesów przy różnych ilościach symulacji.



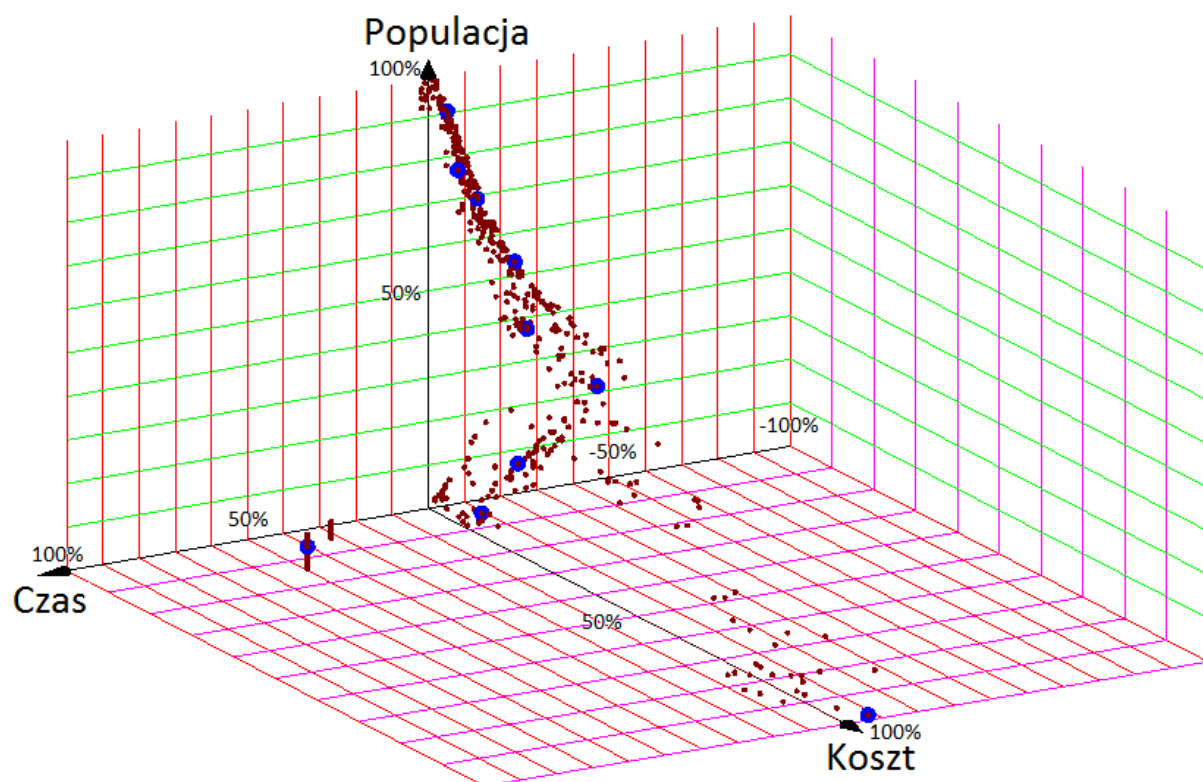
**Wykres 18.** Wykres posortowanych wyników populacji 100 procesów

**Źródło:** Opracowanie własne



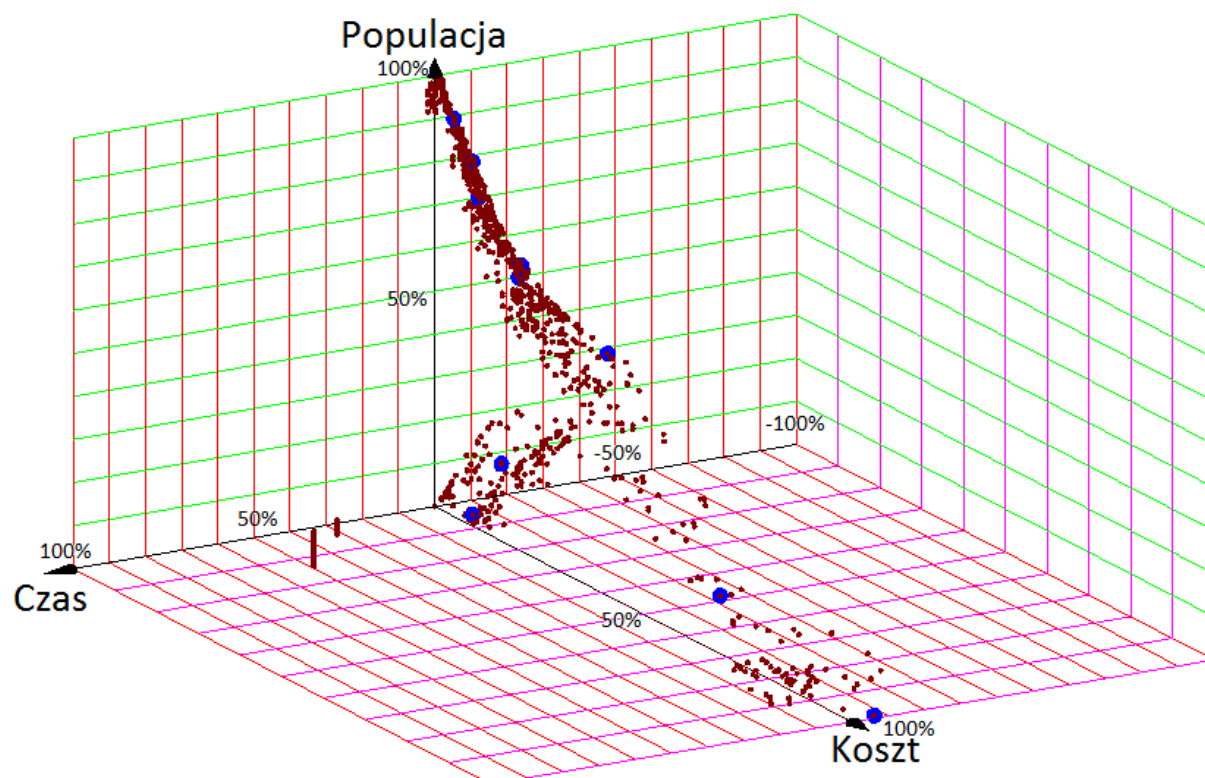
**Wykres 19.** Wykres posortowanych wyników populacji 200 procesów

**Źródło:** Opracowanie własne



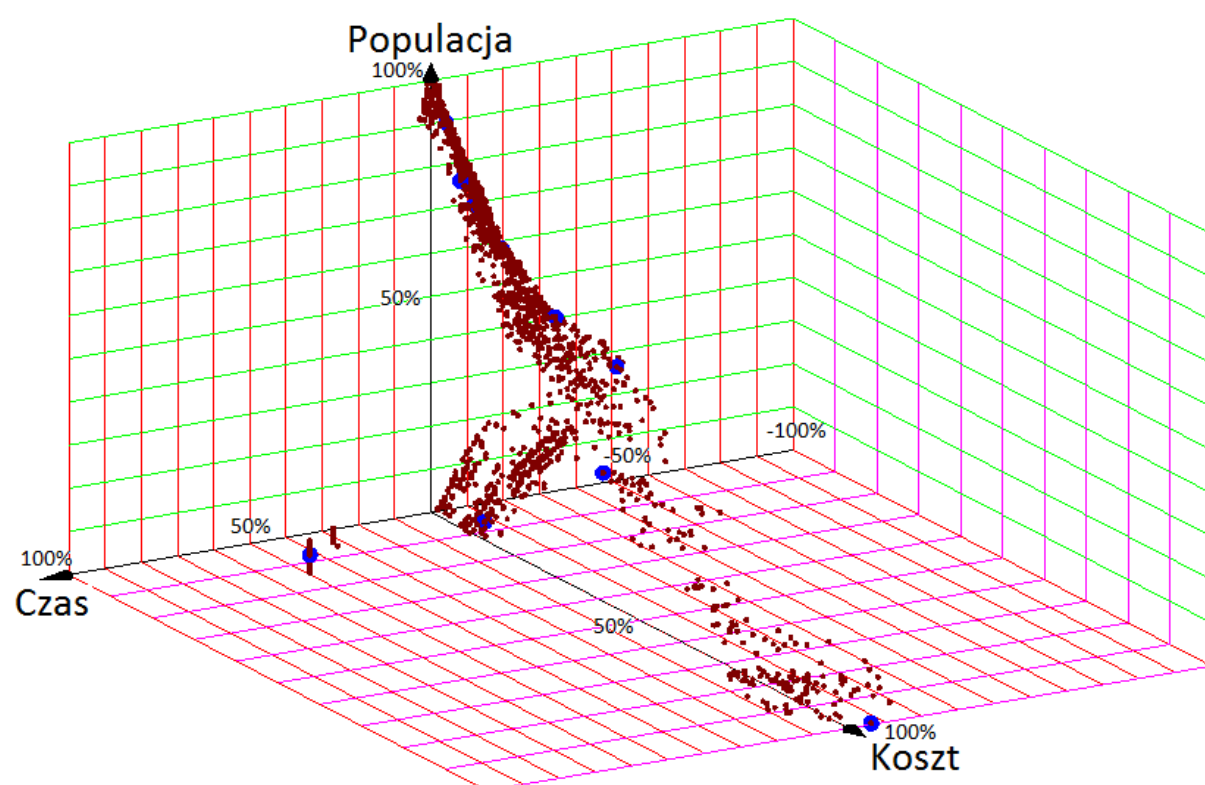
**Wykres 20.** Wykres posortowanych wyników populacji 500 procesów

**Źródło:** Opracowanie własne



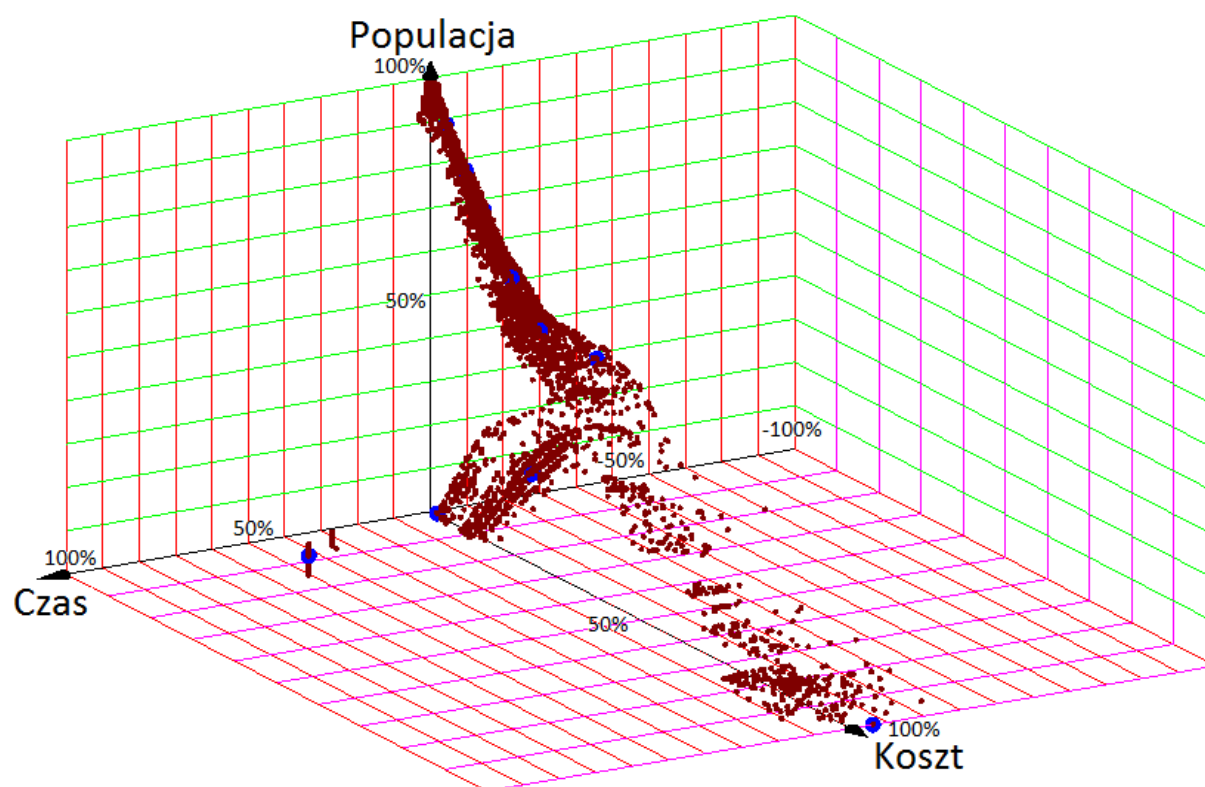
**Wykres 21.** Wykres posortowanych wyników populacji 1000 procesów

**Źródło:** Opracowanie własne



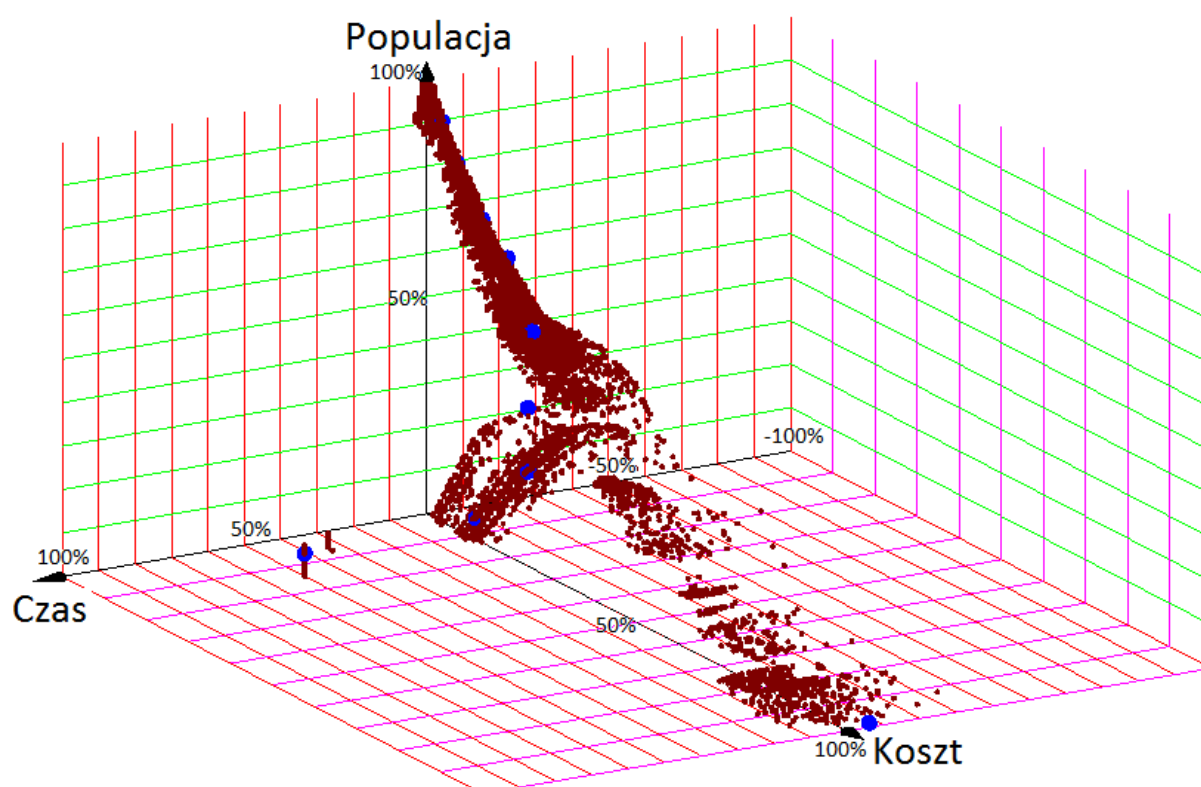
**Wykres 22.** Wykres posortowanych wyników populacji 2000 procesów

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 23.** Wykres posortowanych wyników populacji 5000 procesów

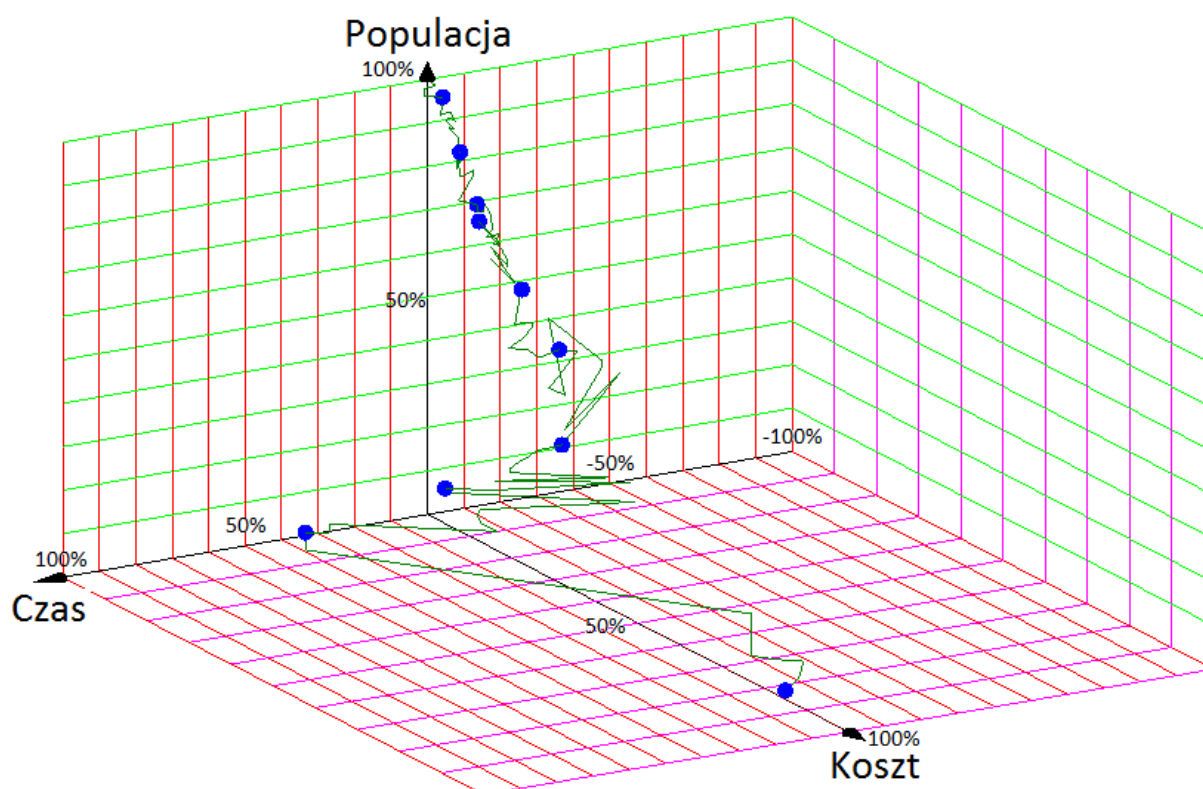
**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 24.** Wykres posortowanych wyników populacji 10000 procesów

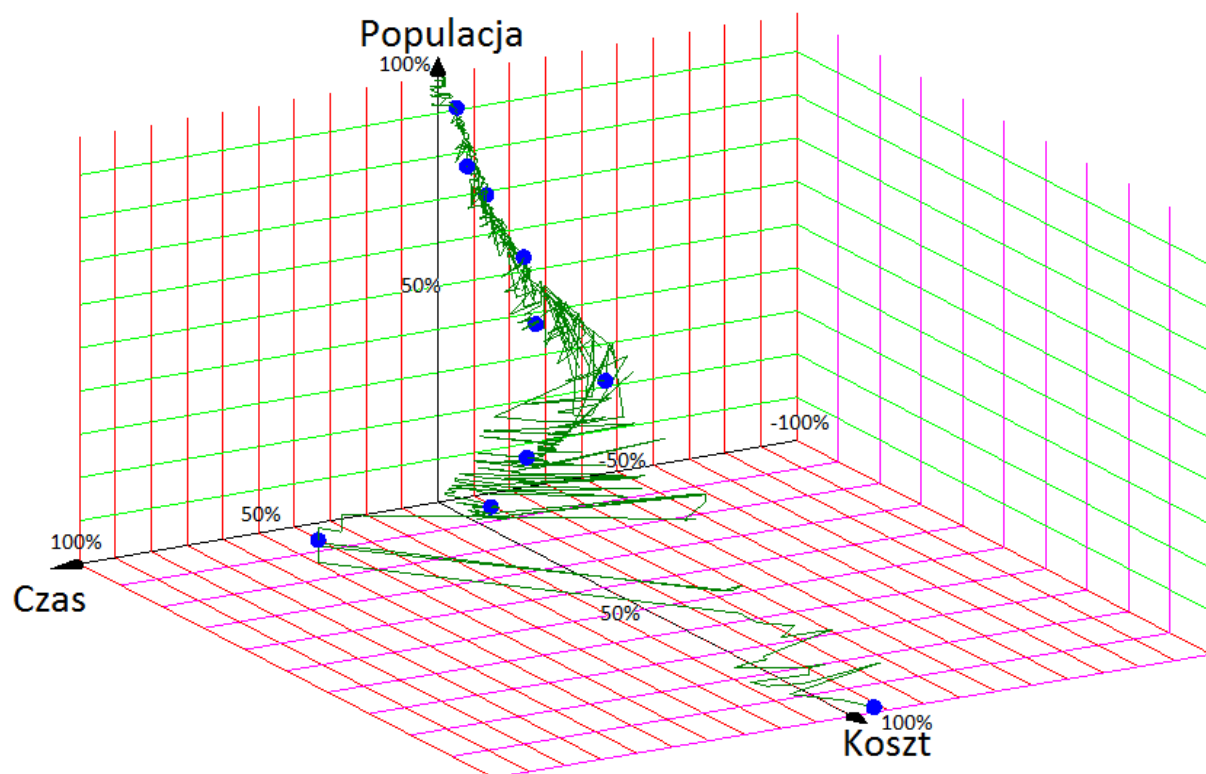
**Źródło:** Opracowanie własne

Na powyższych wykresach zaprezentowano w postaci punktowej reprezentację populacji procesu o każdej w/w liczebności, wygenerowanych w ramach symulacji stochastycznej. Dodatkowo, wyróżniono w postaci punktowej /niebieskie punkty/ procesy reprezentujące interwały 10%, czyli przedstawicieli populacji reprezentujących odpowiednio 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% i 100% populacji. Dla celów prezentacji wyników możliwe jest również zastosowanie wykresu przedstawiającego kolejność sortowania procesów za pomocą odcinków liniowych łączących te procesy, tzw. *krzywa ryzyka*. Poniżej przedstawiono wykresy krzywej ryzyka dla wybranych liczebności populacji.



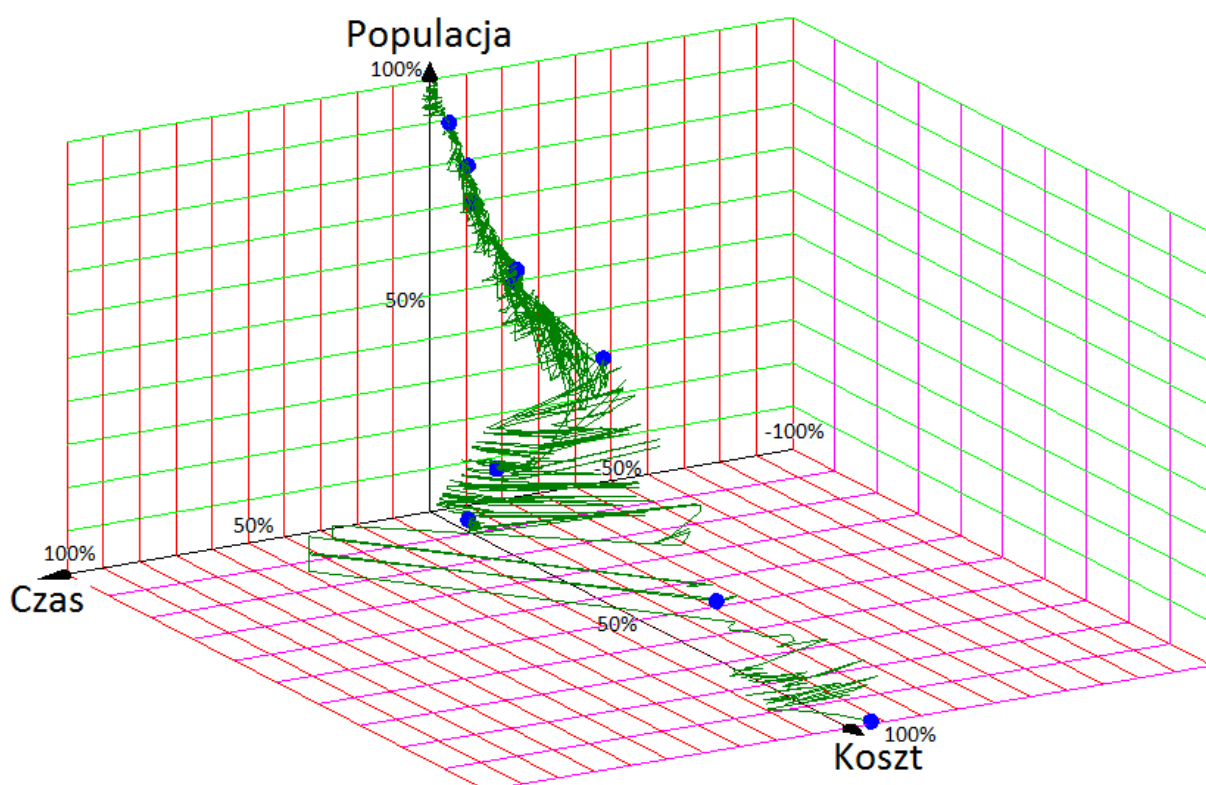
**Wykres 25.** Wykres posortowanych wyników w postaci liniowej dla populacji 100 procesów

**Źródło:** Opracowanie własne



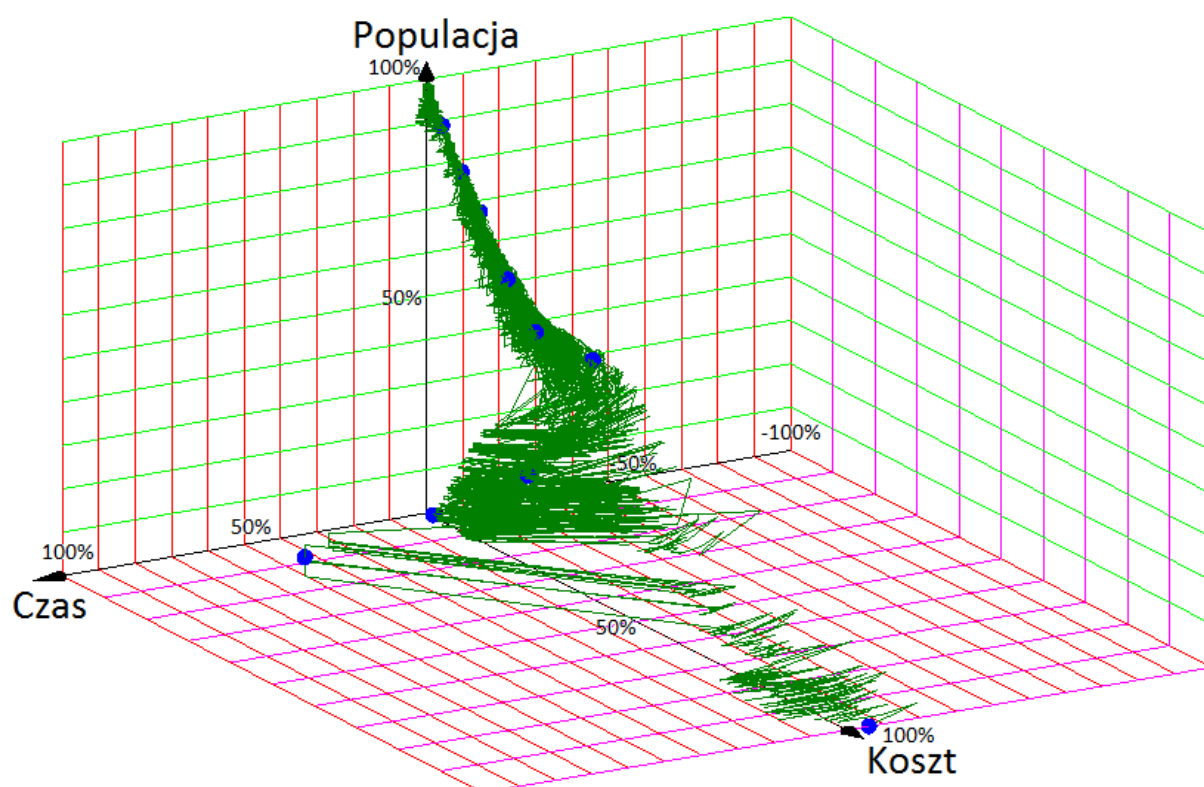
**Wykres 26.** Wykres posortowanych wyników w postaci liniowej dla populacji 500 procesów

**Źródło:** Opracowanie własne



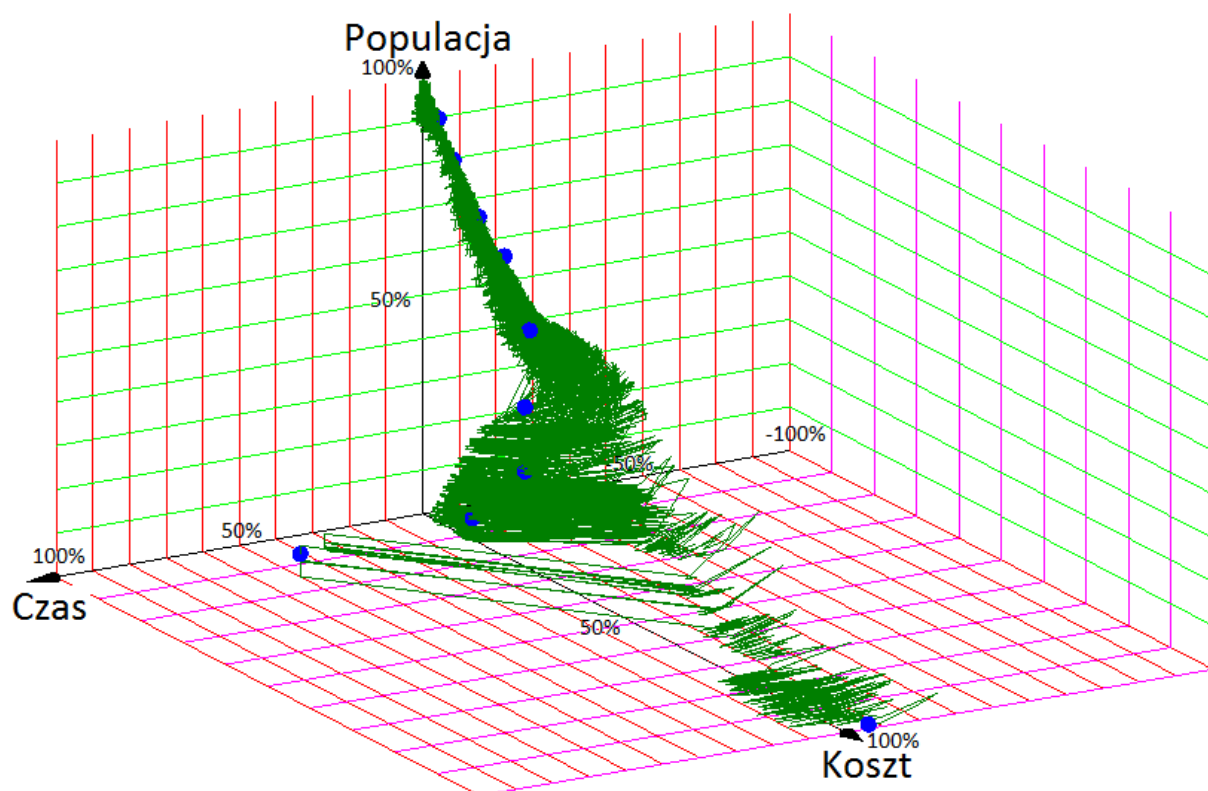
**Wykres 27.** Wykres posortowanych wyników w postaci liniowej dla populacji 1000 procesów

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 28.** Wykres posortowanych wyników w postaci liniowej dla populacji 5000 procesów

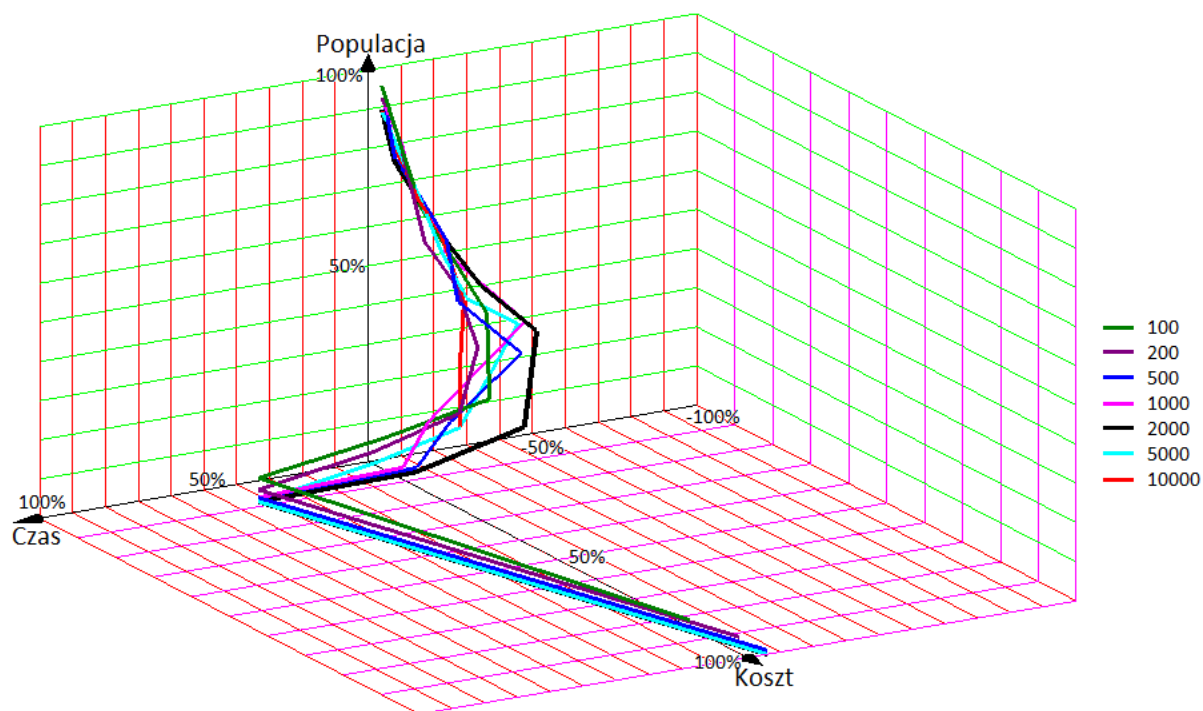
**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 29.** Wykres posortowanych wyników w postaci liniowej dla populacji 10000 procesów

**Źródło:** Opracowanie własne

Na poniższym wykresie zaprezentowano liniową reprezentację krzywych ryzyka, opartych na interwałach 10% dla różnych wielkości populacji. Jak można zauważyć generalnie przebieg krzywej ryzyka jest zgodny dla różnych liczebności populacji. Wyjątkiem jest populacja licząca 1000 elementów, w której końcowy etap krzywej ryzyka (poziom P90) znacząco odstaje od tendencji. Nie mniej, niezależnie od różnic w przebiegu, krzywe są zbliżone wystarczająco, aby móc przeprowadzić wnioskowanie o ryzyku przedsięwzięcia.



**Wykres 30.** Krzywe ryzyka w interwałach 10% dla populacji procesów o różnej liczebności

**Źródło:** Opracowanie własne

### 5.3.3. Interpretacja wyników metody

Pierwszym etapem analizy wyników metody było wyznaczenie wykresów pudełkowych dla populacji procesów o różnej liczebności. W tym celu niezbędne było wyznaczenie takich wielkości jak mediana, kwartyl 1, kwartyl 3, wartość maksymalna i minimalna. Analiza została przeprowadzona na wielkościach procentowych przedstawiających odchylenie wyników wygenerowanych procesów od wzorca, wyrażanych w procentach. Poniższa tabela przedstawia wartości parametrów dla różnych wielkości serii.

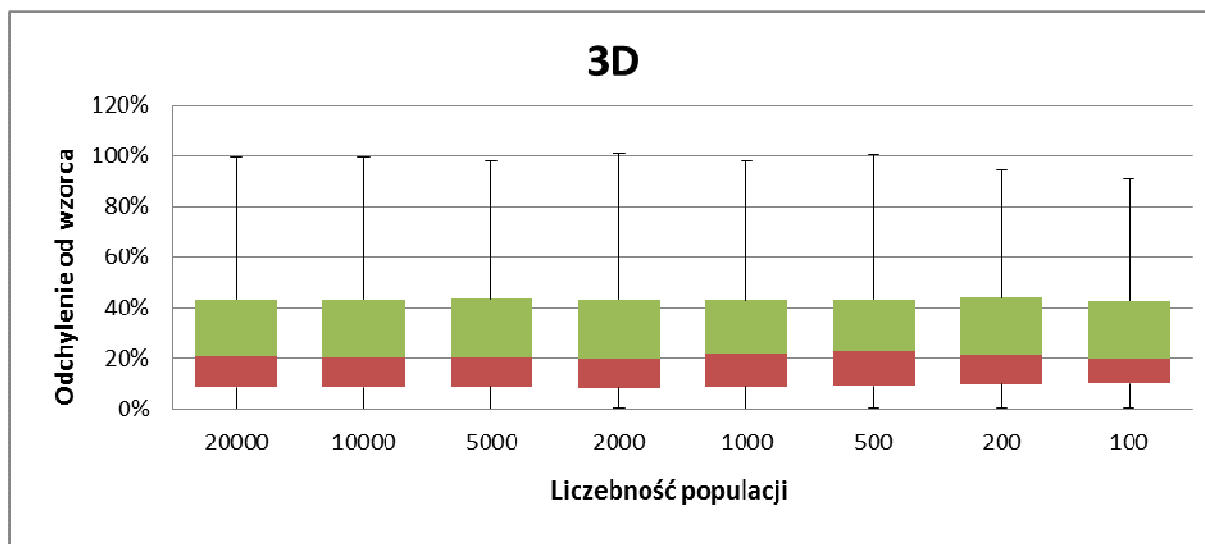
| Parametr  | 20000 | 10000 | 5000 | 2000 | 1000 | 500 | 200 | 100 |
|-----------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|
| Minimum   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%   | 0%   | 0%  | 1%  | 0%  |
| Kwartyl 1 | 8%    | 8%    | 9%   | 8%   | 9%   | 9%  | 10% | 10% |
| Mediana   | 20%   | 20%   | 20%  | 20%  | 21%  | 23% | 21% | 20% |

|                  |     |     |     |      |     |      |     |     |
|------------------|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|
| <b>Kwartyl 2</b> | 43% | 43% | 43% | 43%  | 43% | 43%  | 44% | 43% |
| <b>Maximum</b>   | 99% | 99% | 98% | 101% | 98% | 100% | 95% | 91% |

**Tabela 18.** Wartości parametrów analizy statystycznej dla różnych wielkości serii

**Źródło:** Opracowanie własne

Poniżej przedstawiono wykres pudełkowy dla różnych wielkości serii.



**Wykres 31.** Wykres pudełkowy procentowych odchyień od wzorca dla różnych wielkości serii

**Źródło:** Opracowanie własne

Kolejnym etapem badań była weryfikacja zbieżności otrzymywanych wyników przy powtórzeniu symulacji. W tym celu wykonano serię powtórzeń symulacji dla różnych liczebności populacji procesów. Zrealizowano odpowiednio:

1. 20 symulacji dla serii liczących 100, 200 procesów,
2. 10 symulacji dla serii liczących 500, 1000, 2000, 5000, 10000 procesów,
3. 5 symulacji dla serii liczącej 20 000 procesów.

Dla wygenerowanych serii obliczono charakterystyczne wielkości dla analizy statystycznej, tj. średnią arytmetyczną, medianę, odchylenie standardowe. Następnie wyliczono odchylenie standardowe dla otrzymanych wyników poszczególnych parametrów, w grupach serii o tej samej liczebności. W poniższej tabeli przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań.

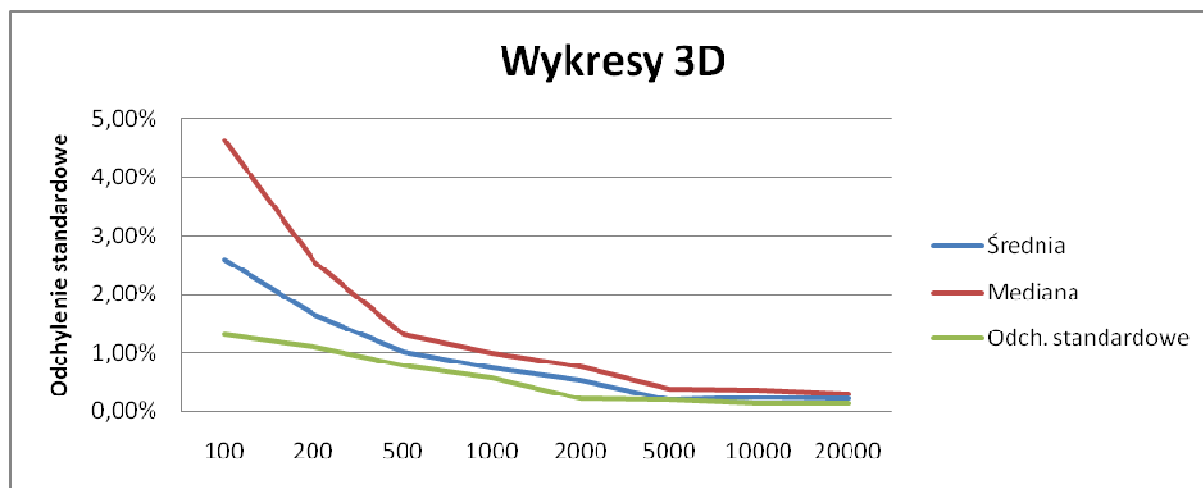
| Wielkość<br>serii | Ilość<br>prób | Odchylenie standardowe |         |                   |
|-------------------|---------------|------------------------|---------|-------------------|
|                   |               | Średnia                | Mediana | Odch. standardowe |
| 100               | 20            | 2,59%                  | 4,64%   | 1,30%             |
| 200               | 20            | 1,65%                  | 2,55%   | 1,10%             |
| 500               | 10            | 1,01%                  | 1,31%   | 0,77%             |
| 1000              | 10            | 0,75%                  | 0,98%   | 0,57%             |
| 2000              | 10            | 0,53%                  | 0,76%   | 0,21%             |

|       |    |       |       |       |
|-------|----|-------|-------|-------|
| 5000  | 10 | 0,20% | 0,39% | 0,19% |
| 10000 | 10 | 0,23% | 0,36% | 0,13% |
| 20000 | 5  | 0,21% | 0,30% | 0,13% |

**Tabela 19.** Wartości odchyleń statystycznych parametrów analizy statystycznej w zależności od wielkości serii

**Źródło:** Opracowanie własne

Na poniższym wykresie przedstawiono odchylenia standardowe różnych wskaźników statystycznych w zależności od wielkości serii będących przedmiotem analizy.



**Wykres 32.** Odchylenia standardowe podstawowych parametrów analizy statystycznej dla różnych wielkości serii

**Źródło:** Opracowanie własne

Jak można zauważyć, wraz ze zwiększaniem wielkości populacji, zbieżność osiąganych wyników dla kolejnych wygenerowanych prób rośnie. Aczkolwiek już przy wielkości populacji liczącej sto elementów odchylenie standardowe wyników nie przekracza 5% ich wartości. Wskazuje to, że już przy niewielkiej liczbie próby dokładność metody jest zadowalająca.

#### 5.3.4. Interpretacje wyników analizy ryzyka

Na podstawie przeprowadzonych badań dokonano interpretacji uzyskanych wyników. Zgodnie z propozycją wniosków możliwych do przedstawienia, opisanych w punkcie 4.4. w poniższej tabeli przedstawiono wartości wyliczone dla sugerowanych parametrów. W ramach przeprowadzonej analizy można wskazać, że najgorszy możliwy scenariusz to strata finansowa na poziomie 254 tys. zł i czas realizacji wynoszący 374 dni. Odchylenie maksymalne względem procesu wzorcowego stanowi do 105% wartości nominalnych. W przypadku zmiennej **PP50** (proces z prawdopodobieństwem 50%), należy wskazać, że odchylenie stanowi ok. 25% od wartości wzorcowych. Dla zmiennej **PP90** (proces z prawdopodobieństwem 90%) odchylenie wynosi ok 56%. Oba powyższe parametry stanowią prawdopodobieństwo odpowiednio 50%

i 90%, że realizacja przedsięwzięcia zakończy się z wynikiem nie gorszym niż wyznaczony. Jak można zauważyć dla wielkości symulacji liczącej 5000 procesów i więcej, zbieżność wyników można uznać za wysoką.

|              | WCS             |        |         | PP50         |        |        | PP90          |       |        |
|--------------|-----------------|--------|---------|--------------|--------|--------|---------------|-------|--------|
|              | Koszt           | Czas   | W       | Koszt        | Czas   | W      | Koszt         | Czas  | W      |
| <b>100</b>   | - 225 055,00 zł | 240,40 | 91,08%  | 13 000,00 zł | 302,75 | 19,94% | - 3 260,00 zł | 23,10 | 70,37% |
| <b>200</b>   | - 240 720,00 zł | 277,60 | 95,55%  | 7 865,00 zł  | 283,00 | 20,15% | - 3 260,00 zł | 23,10 | 23,32% |
| <b>500</b>   | - 255 400,00 zł | 294,00 | 100,16% | 8 600,00 zł  | 319,40 | 22,97% | - 3 260,00 zł | 25,20 | 64,54% |
| <b>1000</b>  | - 255 400,00 zł | 294,00 | 100,16% | - 10,00 zł   | 284,43 | 22,57% | - 3 260,00 zł | 23,10 | 64,80% |
| <b>2000</b>  | - 255 400,00 zł | 294,00 | 100,95% | 67 800,00 zł | 348,00 | 27,21% | - 3 260,00 zł | 25,20 | 57,48% |
| <b>5000</b>  | - 255 400,00 zł | 294,00 | 100,91% | 71 680,00 zł | 342,00 | 25,06% | - 3 260,00 zł | 25,20 | 56,32% |
| <b>10000</b> | - 230 548,00 zł | 409,60 | 101,26% | 39 655,00 zł | 333,40 | 25,17% | - 3 260,00 zł | 23,10 | 56,78% |
| <b>20000</b> | - 254 530,00 zł | 374,61 | 105,49% | 8 360,00 zł  | 303,92 | 25,33% | - 3 260,00 zł | 23,10 | 56,20% |

**Tabela 20.** Wartości parametrów analizy ryzyka z wnioskowaniem trójwymiarowym dla różnych liczebności populacji

**Źródło:** Opracowanie własne

## 5.4. Badania w dwóch wymiarach 2D

Jak już wyjaśniono, metoda z wnioskowaniem w układzie dwuwymiarowym możliwa jest do zrealizowania w dwóch sytuacjach:

1. Gdy kryterium sortowania jest jedna zmienna charakterystyczna – czas realizacji przedsięwzięcia.
2. Gdy kryterium sortowania jest zmienna wynikowa dwóch zmiennych charakterystycznych – w przypadku badanego przedsięwzięcia jest to zmienna Wartość Bieżąca Netto (NPV).

W dalszej części przedstawiono wyniki badań dla obu scenariuszy.

### 5.4.1. Badanie 2D z sortowaniem na podstawie jednej zmiennej charakterystycznej

#### 5.4.1.1. Symulacja

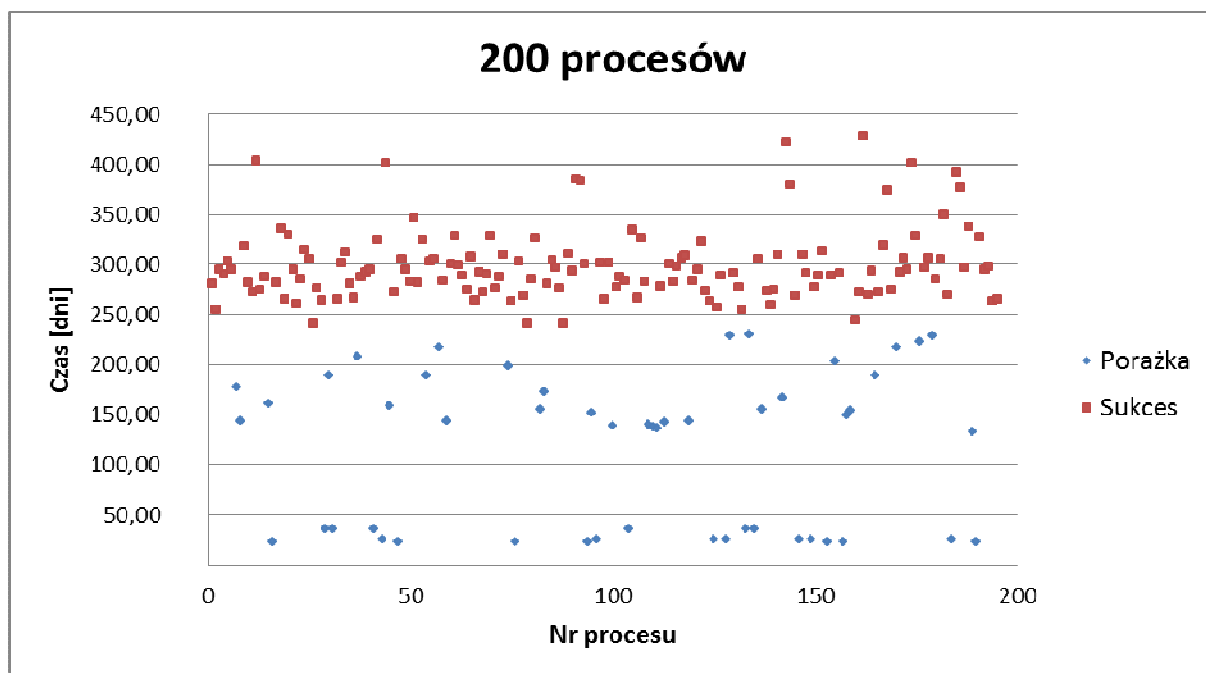
Pierwszym etapem badań dla układu dwuwymiarowego było przeprowadzenie symulacji, w celu wygenerowania populacji procesów o różnej liczebności. Dla sortowania według jednej zmiennej charakterystycznej, wykonana została optymalizacja procesów metodą ścieżki krytycznej. Tak sporządzony zbiór danych został następnie posortowany. Tak jak wyjaśniano w

punkcie 4.2.4.2.1. spośród populacji procesów należy wyróżnić procesy zakończone sukcesem i te, które zakończyły się porażką. W wyniku symulacji wygenerowano populacje liczące 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000, 10000 i 20000 procesów. Na poniższych wykresach zaprezentowano wyniki symulacji, której efektem było określenie wartości zmiennej całkowity czas realizacji przedsięwzięcia.



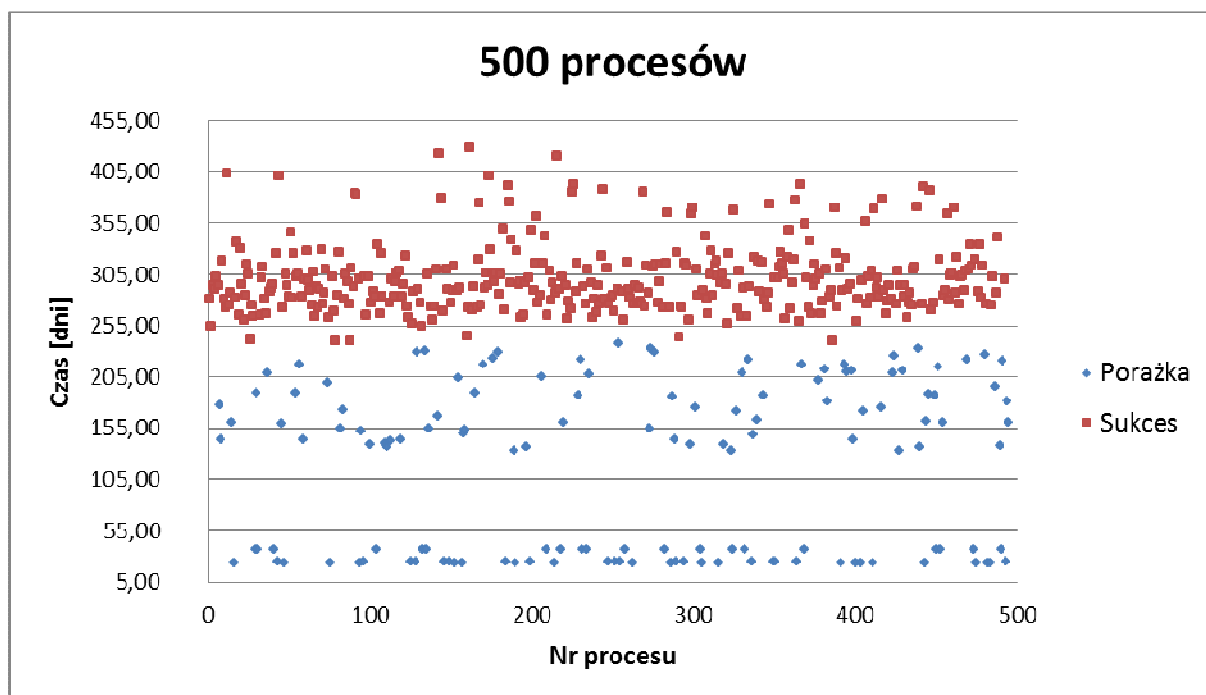
**Wykres 33.** Wykres przedstawiający wyniki procesów w populacji 100 powtórzeń, dla kryterium jednej zmiennej charakterystycznej

**Źródło:** Opracowanie własne



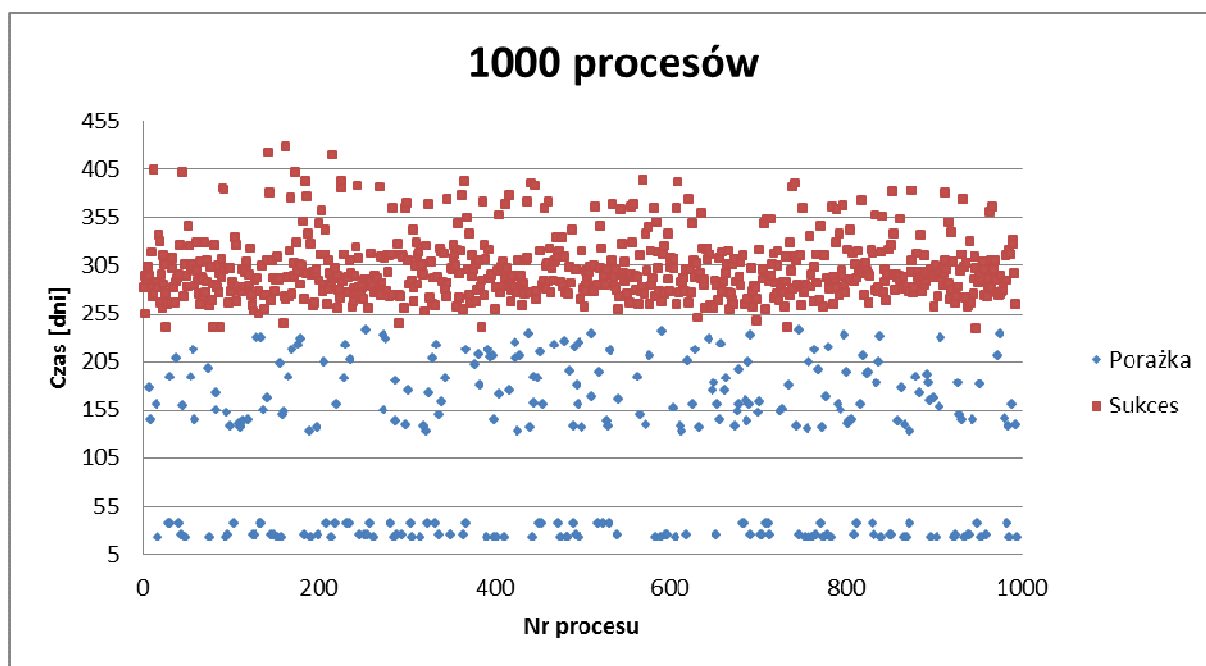
**Wykres 34.** Wykres przedstawiający wyniki procesów w populacji 200 powtórzeń, dla kryterium jednej zmiennej charakterystycznej

**Źródło:** Opracowanie własne



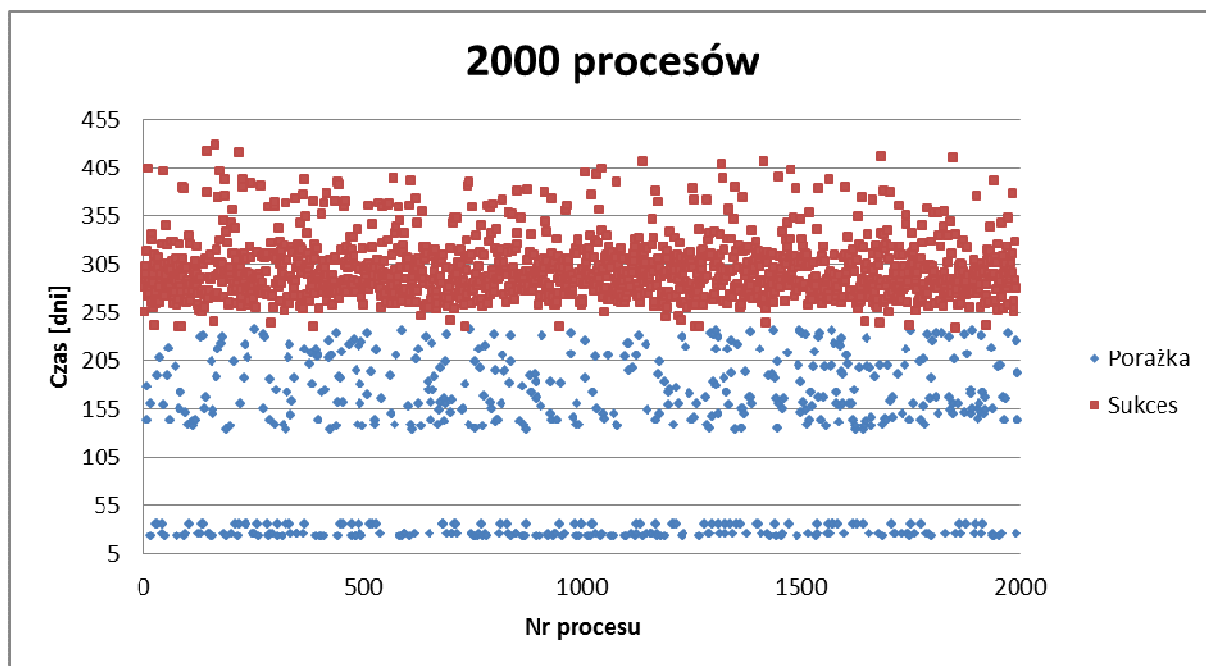
**Wykres 35.** Wykres przedstawiający wyniki procesów w populacji 500 powtórzeń, dla kryterium jednej zmiennej charakterystycznej

**Źródło:** Opracowanie własne



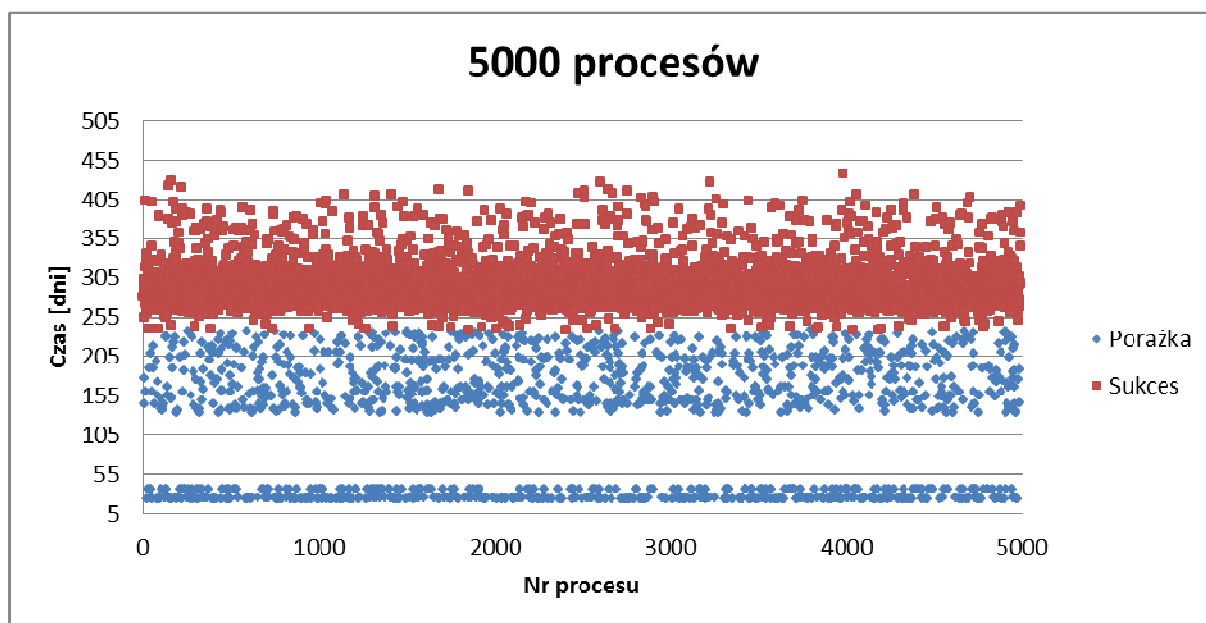
**Wykres 36.** Wykres przedstawiający wyniki procesów w populacji 1 000 powtórzeń, dla kryterium jednej zmiennej charakterystycznej

**Źródło:** Opracowanie własne



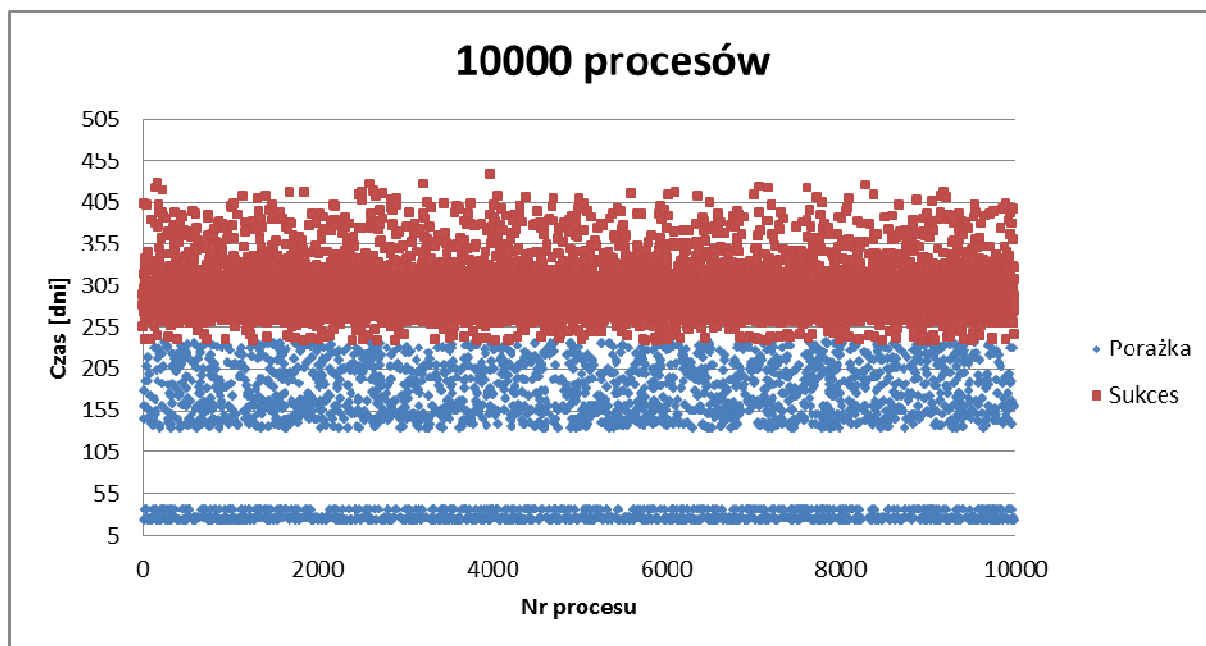
**Wykres 37.** Wykres przedstawiający wyniki procesów w populacji 2 000 powtórzeń, dla kryterium jednej zmiennej charakterystycznej

**Źródło:** Opracowanie własne



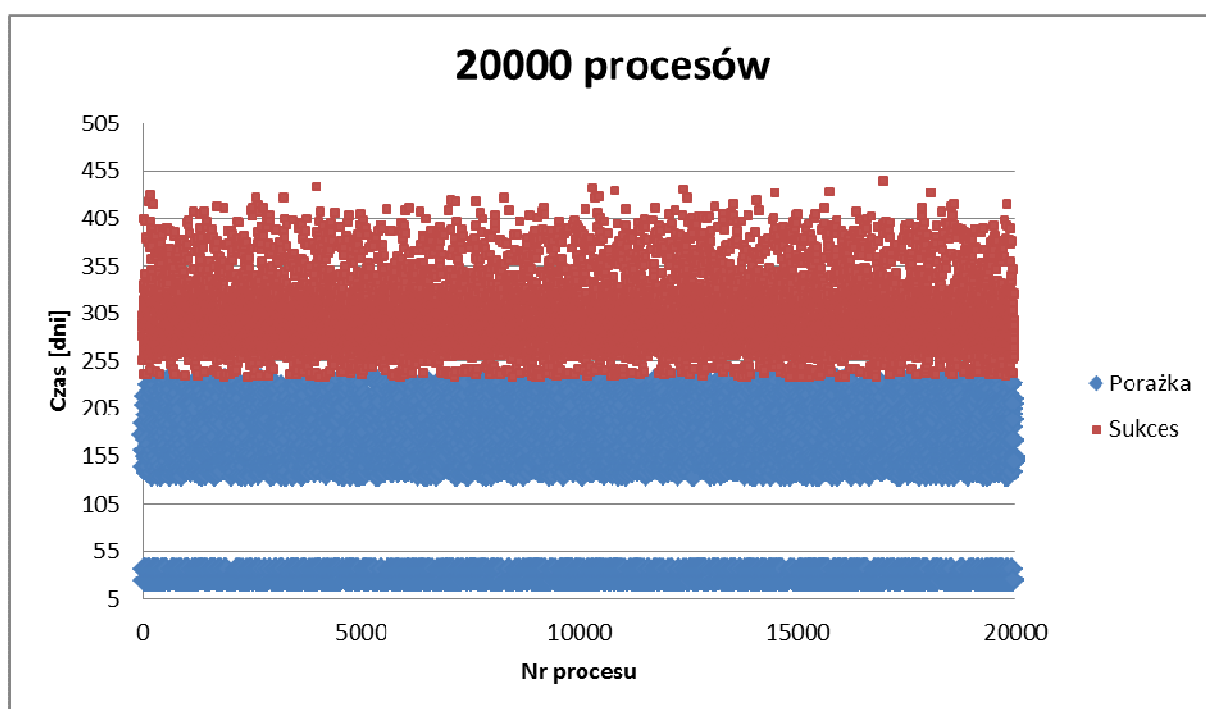
**Wykres 38.** Wykres przedstawiający wyniki procesów w populacji 5 000 powtórzeń, dla kryterium jednej zmiennej charakterystycznej

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 39.** Wykres przedstawiający wyniki procesów w populacji 10 000 powtórzeń, dla kryterium jednej zmiennej charakterystycznej

**Źródło:** Opracowanie własne

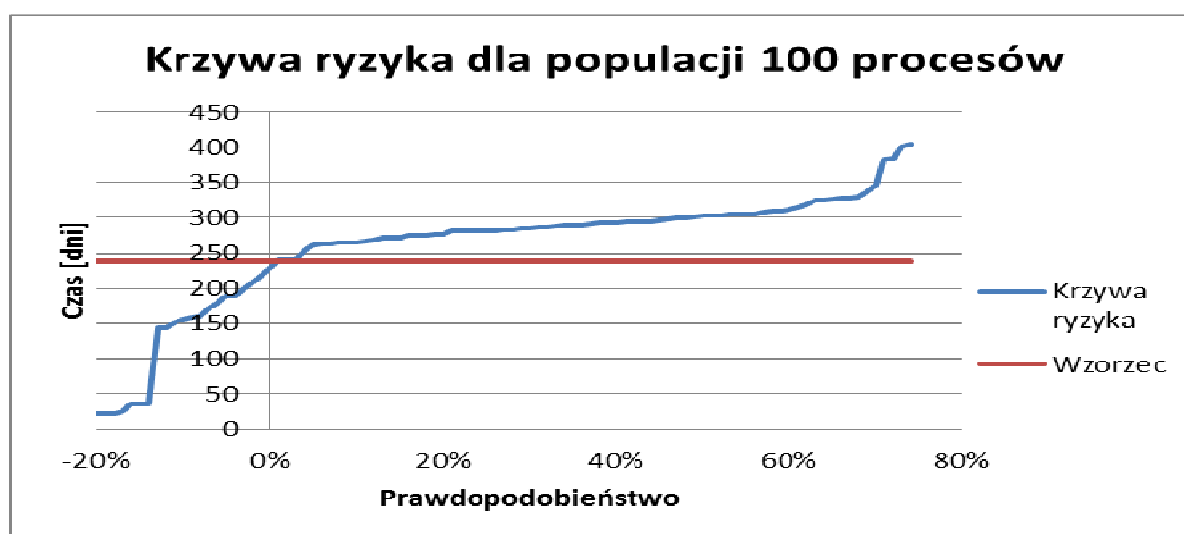


**Wykres 40.** Wykres przedstawiający wyniki procesów w populacji 20 000 powtórzeń, dla kryterium jednej zmiennej charakterystycznej

**Źródło:** Opracowanie własne

#### 5.4.1.2. Sortowanie

Kolejnym etapem analizy ryzyka jest sortowanie wygenerowanych procesów zgodnie z przyjętym kryterium. W tym przypadku kryterium stanowi odchylenie czasu realizacji przedsięwzięcia. Na poniższych wykresach zaprezentowano krzywe ryzyka reprezentujące rozkład prawdopodobieństwa, dla zmiany czasu realizacji przedsięwzięcia. Należy zwrócić uwagę na rozróżnienie posortowanych procesów na zakończone sukcesem i te, które zakończyły się porażką. Jak można zauważyć, łącznie wszystkie procesy stanowią 100% populacji, w tym około 20% stanowi procesy zakończone porażką i około 80% stanowi procesy zakończone sukcesem.



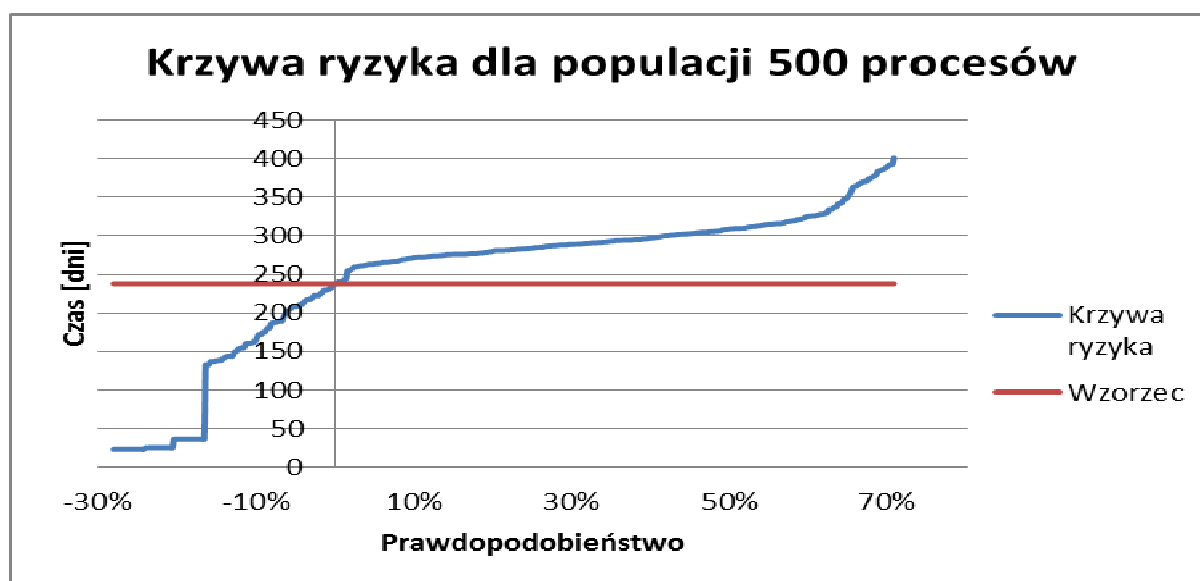
**Wykres 41.** Wykres przedstawiający usortowane wyniki procesów w populacji 100 powtórzeń, według kryterium jednej zmiennej charakterystycznej

**Źródło:** Opracowanie własne



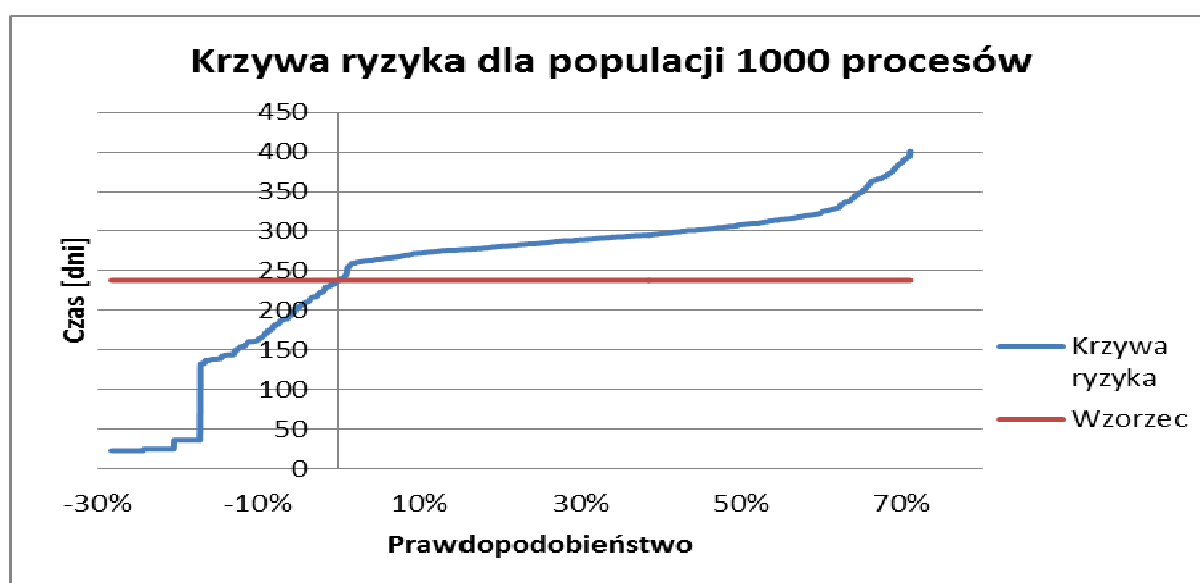
**Wykres 42.** Wykres przedstawiający usortowane wyniki procesów w populacji 200 powtórzeń, według kryterium jednej zmiennej charakterystycznej

**Źródło:** Opracowanie własne



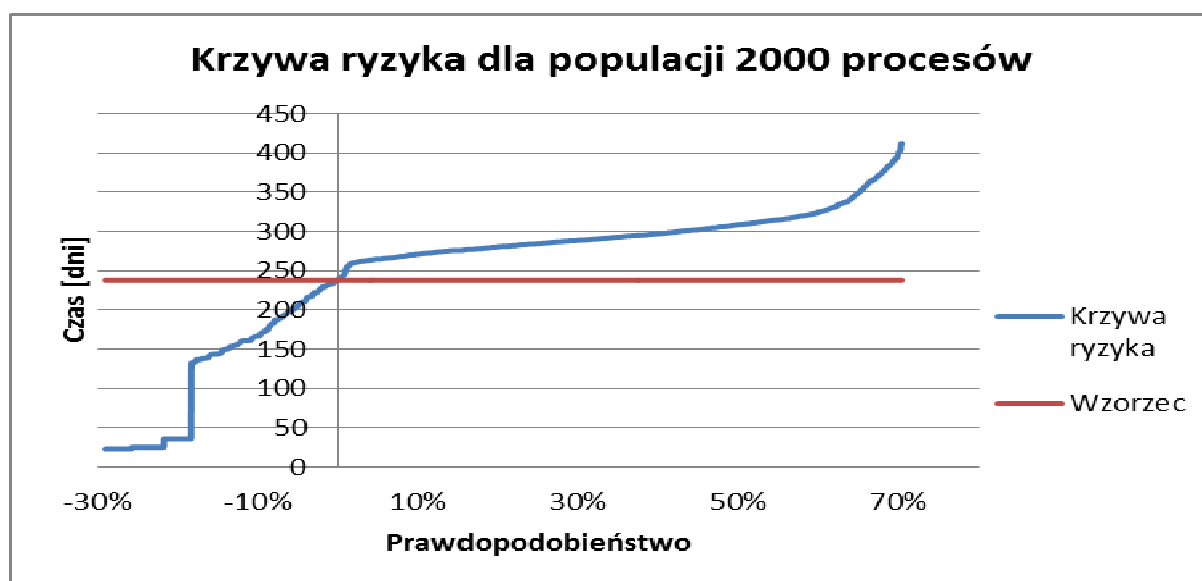
**Wykres 43.** Wykres przedstawiający usortowane wyniki procesów w populacji 500 powtórzeń, według kryterium jednej zmiennej charakterystycznej

**Źródło:** Opracowanie własne



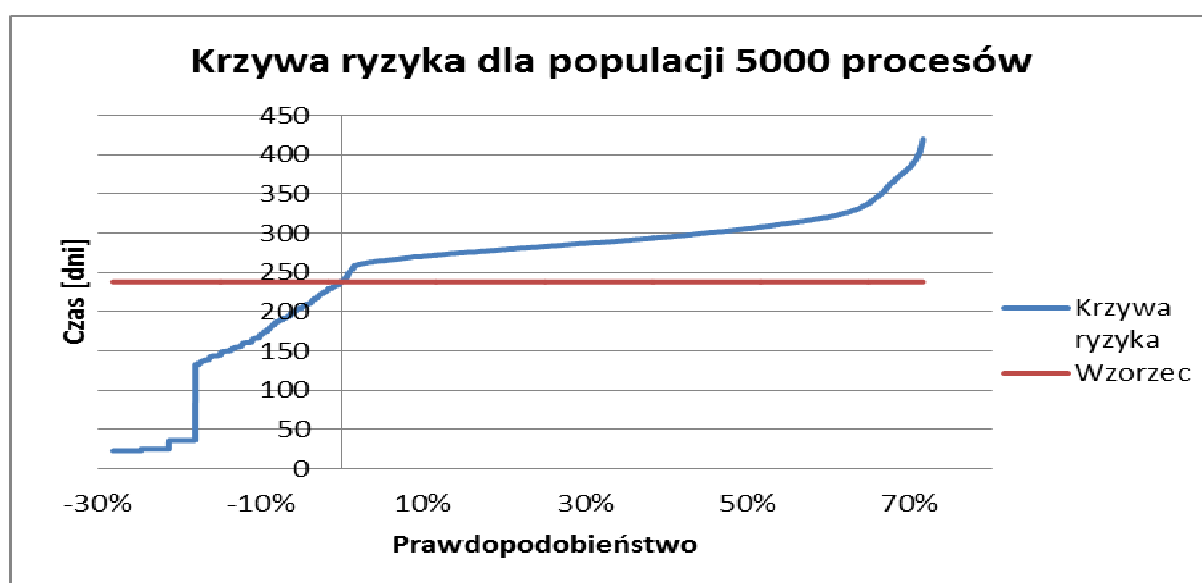
**Wykres 44.** Wykres przedstawiający usortowane wyniki procesów w populacji 1 000 powtórzeń, według kryterium jednej zmiennej charakterystycznej

**Źródło:** Opracowanie własne



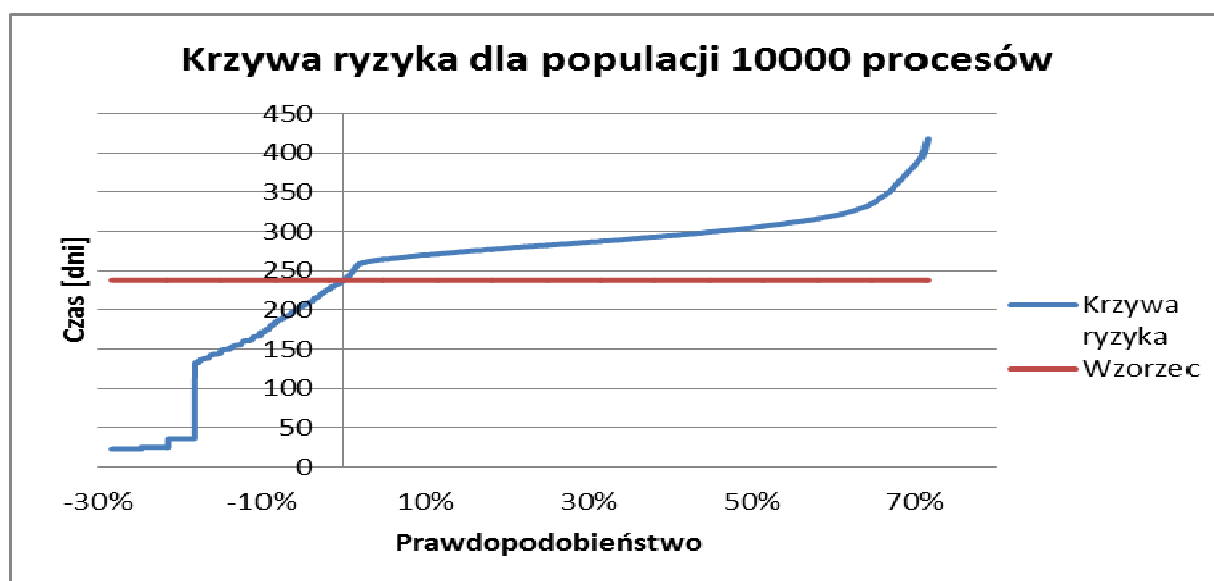
**Wykres 45.** Wykres przedstawiający usortowane wyniki procesów w populacji 2 000 powtórzeń, według kryterium jednej zmiennej charakterystycznej

**Źródło:** Opracowanie własne



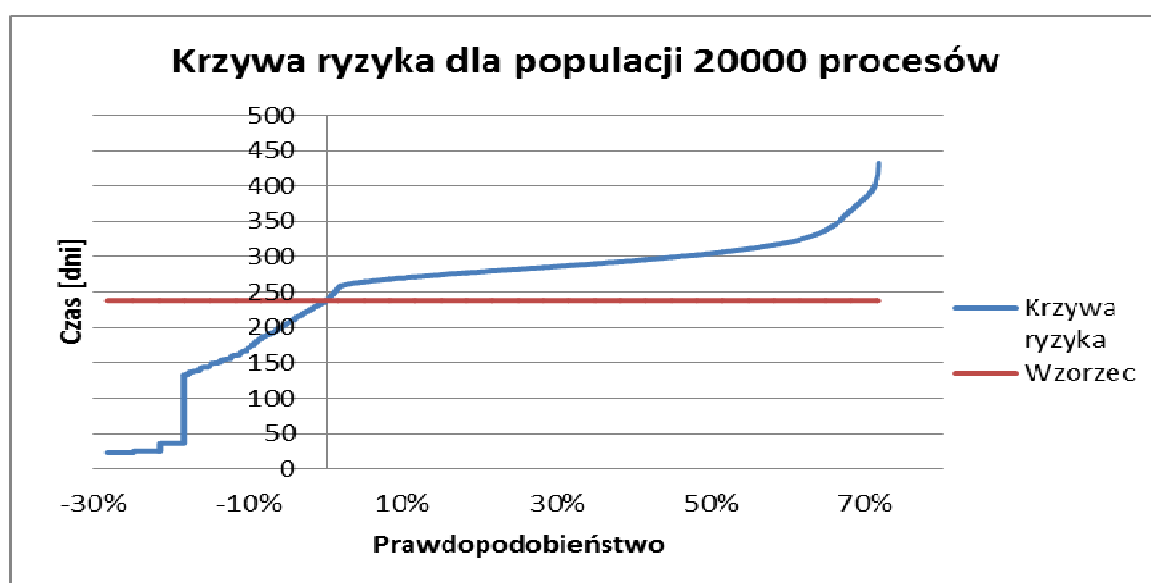
**Wykres 46.** Wykres przedstawiający usortowane wyniki procesów w populacji 5 000 powtórzeń, według kryterium jednej zmiennej charakterystycznej

**Źródło:** Opracowanie własne



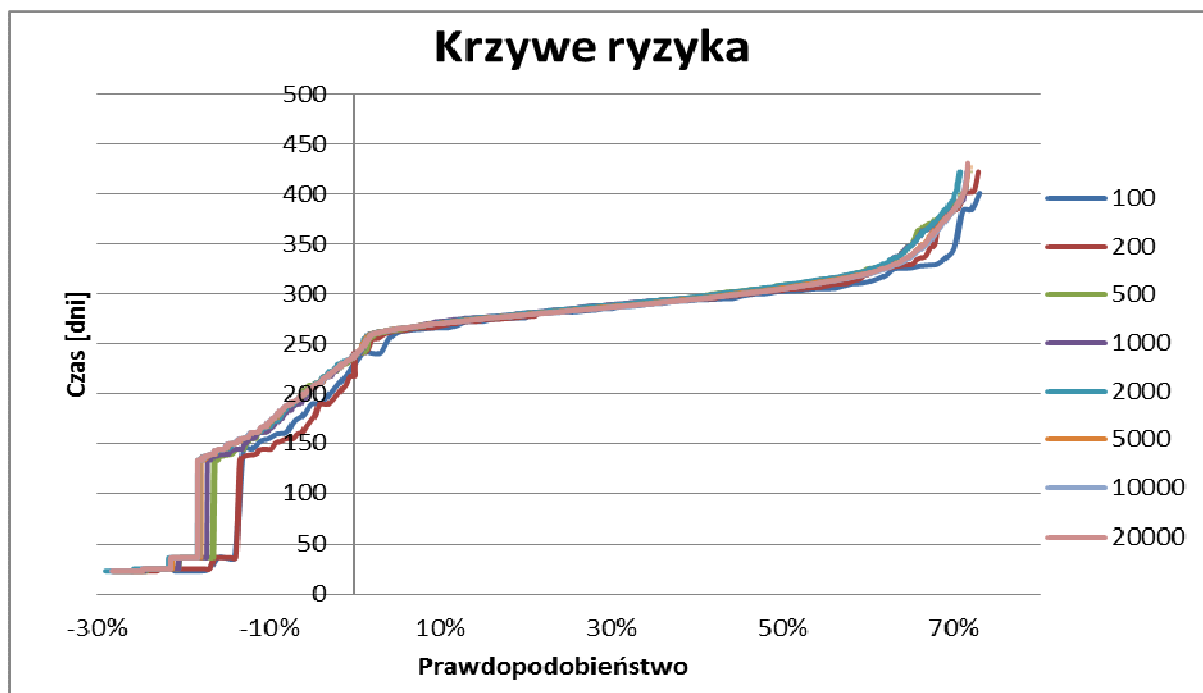
**Wykres 47.** Wykres przedstawiający usortowane wyniki procesów w populacji 10 000 powtórzeń, według kryterium jednej zmiennej charakterystycznej

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 48.** Wykres przedstawiający usortowane wyniki procesów w populacji 20 000 powtórzeń, według kryterium jednej zmiennej charakterystycznej

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 49.** Wykres przedstawiający usortowane wyniki procesów dla różnych ilości powtórzeń

**Źródło:** Opracowanie własne

#### 5.4.1.3. Interpretacja wyników metody

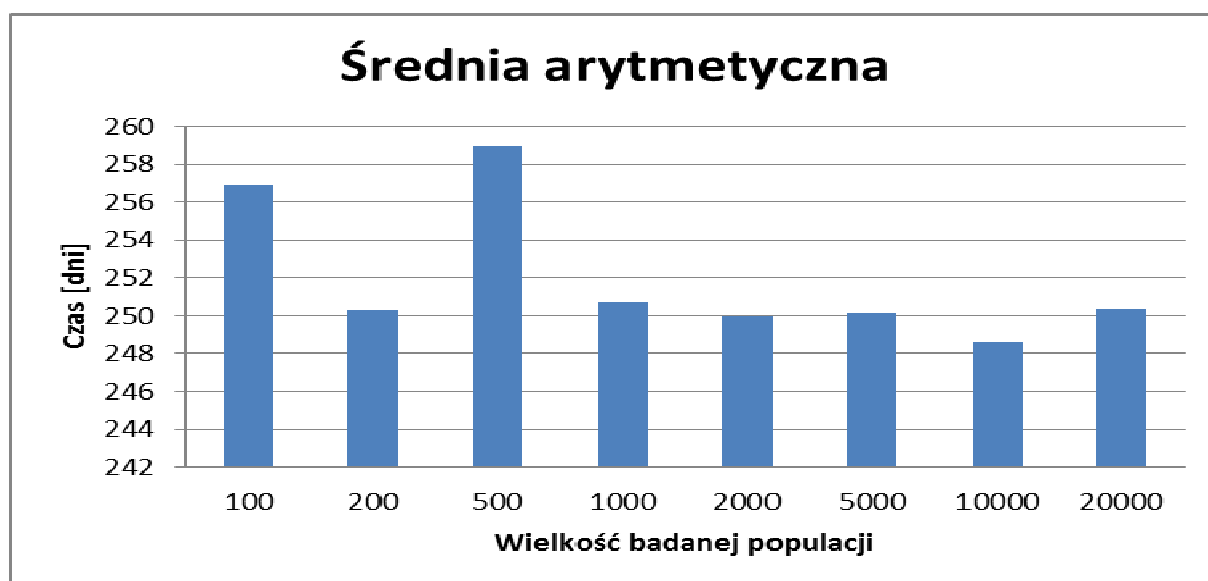
Uzyskane wyniki badań zostały poddane analizie statystycznej. W pierwszym etapie dla wybranych populacji o różnej liczebności wyznaczono parametry analizy statystycznej, tj. średnią arytmetyczną, medianę i odchylenie standardowe. W poniższej tabeli przedstawiono wyniki obliczeń dla tych wskaźników analizy statystycznej.

| Ilość symulacji | Średnia arytmetyczna | Mediana    | Odchylenie standardowe |
|-----------------|----------------------|------------|------------------------|
| <b>100</b>      | 256,91 dni           | 283,00 dni | 86,44 dni              |
| <b>200</b>      | 250,27 dni           | 277,00 dni | 83,24 dni              |
| <b>500</b>      | 258,98 dni           | 281,00 dni | 79,99 dni              |
| <b>1000</b>     | 250,71 dni           | 280,00 dni | 88,98 dni              |
| <b>2000</b>     | 249,95 dni           | 280,75 dni | 89,99 dni              |
| <b>5000</b>     | 250,19 dni           | 280,40 dni | 91,03 dni              |
| <b>10000</b>    | 248,58 dni           | 279,60 dni | 91,16 dni              |
| <b>20000</b>    | 250,39 dni           | 280,77 dni | 90,41 dni              |

**Tabela 21.** Wartości parametrów analizy statystycznej dla różnych wielkości serii

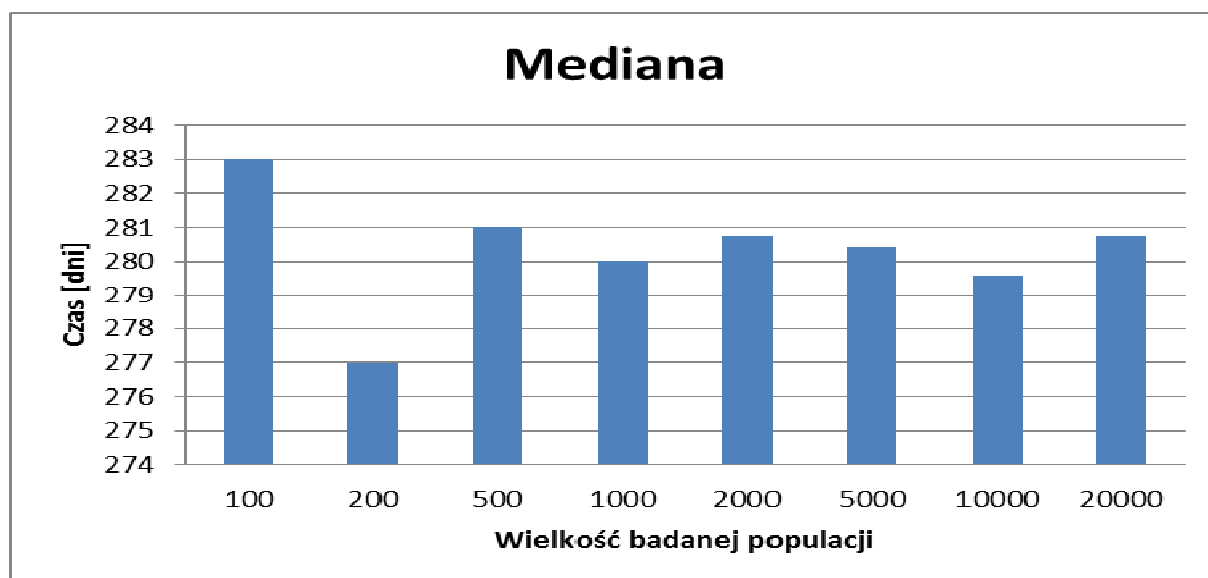
**Źródło:** Opracowanie własne

Na poniższych wykresach przedstawiono wyniki umieszczone w powyższej tabeli. Jak można zauważyć dla populacji liczącej 1000 procesów i więcej, wyniki można uznać za zbieżne.



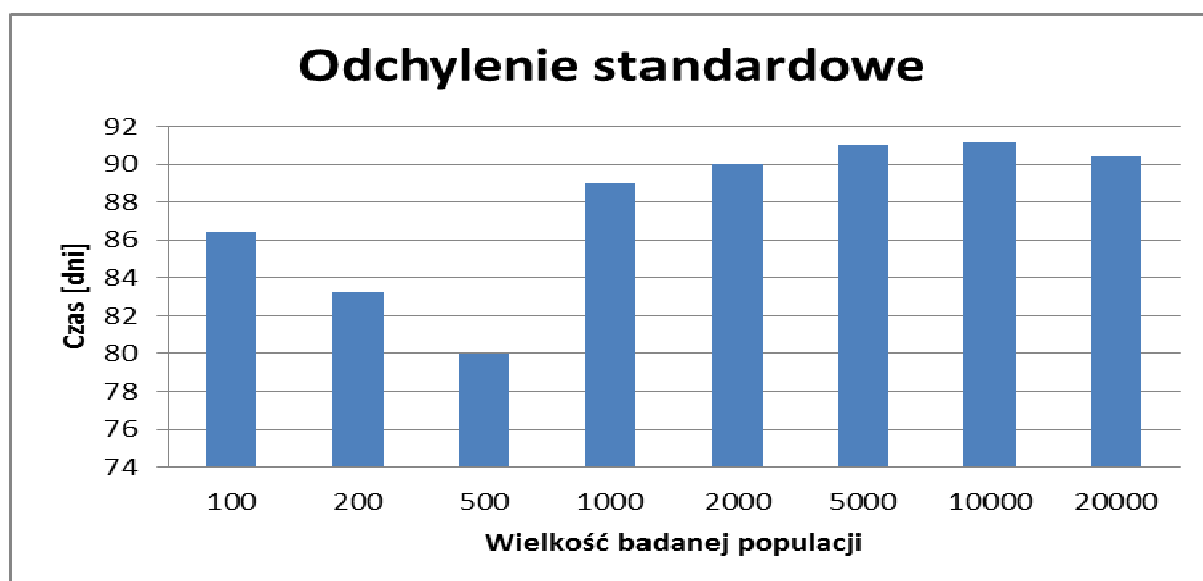
**Wykres 50.** Wykres przedstawiający wartości średniej arytmetycznej dla różnych ilości symulacji

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 51.** Wykres przedstawiający wartości mediany dla różnych ilości symulacji

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 52.** Wykres przedstawiający wartości mediany dla różnych ilości symulacji

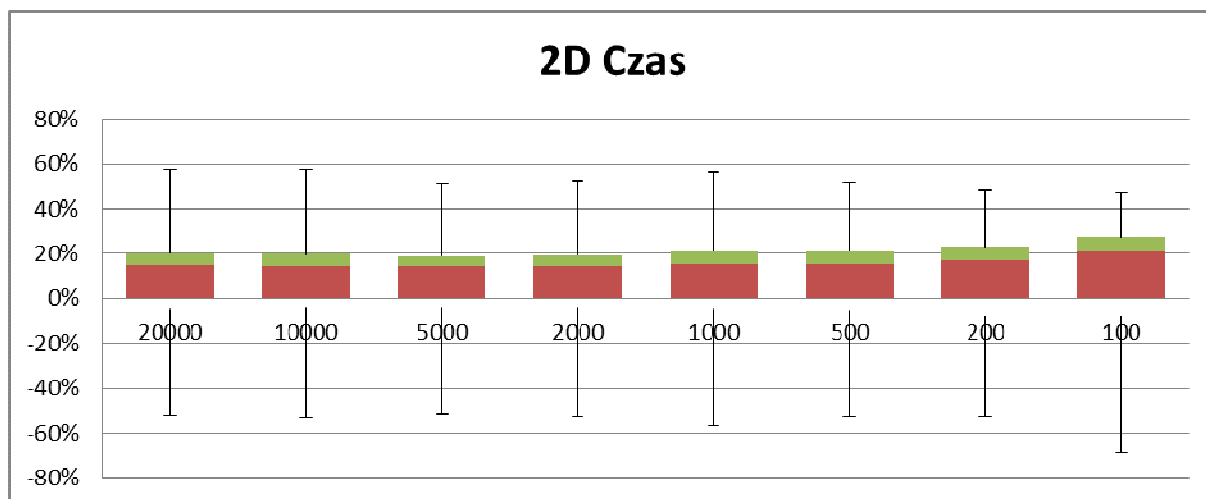
**Źródło:** Opracowanie własne

Następnie przeprowadzono analizę w formie wytyczenia wykresów pudełkowych dla wybranych prób różnych wielkości serii. Poniżej przedstawiono wykres, na którym granice „pudełka” oznaczają kwartyle 1 i 3, granica między nimi reprezentuje medianę, a granice „wąsów” wartości maksymalną i minimalną. Poniższa tabela i wykres prezentują wyniki dla różnych wielkości serii reprezentujących wartości odchylenia czasu realizacji przedsięwzięcia podawane w procentach.

|           | 20000 | 10000 | 5000 | 2000 | 1000 | 500  | 200  | 100  |
|-----------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| Minimum   | -52%  | -54%  | -52% | -53% | -57% | -53% | -53% | -69% |
| Kwartyl 1 | -4%   | -4%   | -4%  | -4%  | -4%  | -5%  | -8%  | -8%  |
| Mediana   | 10%   | 11%   | 10%  | 11%  | 11%  | 11%  | 10%  | 14%  |
| Kwartyl 2 | 16%   | 16%   | 15%  | 15%  | 17%  | 16%  | 15%  | 20%  |
| Maximum   | 53%   | 53%   | 48%  | 49%  | 52%  | 47%  | 41%  | 40%  |

**Tabela 22.** Wartości parametrów analizy statystycznej dla różnych wielkości serii

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 53.** Wykres pudełkowy procentowych odchyłeń od wzorca dla różnych wielkości serii

**Źródło:** Opracowanie własne

Kolejnym etapem analizy była weryfikacja zbieżności wyników dla większej ilości prób serii o tych samych wielkościach.

W tym celu wykonano odpowiednio:

1. 20 symulacji dla serii liczących 100, 200 procesów,
2. 10 symulacji dla serii liczących 500, 1000, 2000, 5000, 10000 procesów,
3. 5 symulacji dla serii liczącej 20 000 procesów.

Dla tak wygenerowanych populacji wyznaczono wartości odchylenia wygenerowanych wartości od wzorca według następującej formuły:

$$\Delta Czas_i [\%] = \frac{Czas_i [dni] - czas_{wz} [dni]}{Czas_{max} [dni] - Czas_{min} [dni]} \cdot 100\% \quad (5.5)$$

gdzie:

$\Delta Czas_i [\%]$  – wielkość charakteryzująca czas wykonania i – tego procesu, wyrażana w procentach.

$Czas_i [dni]$  – wielkość charakteryzująca czas wykonania i – tego procesu, wyrażana w dniach.

$Czas_{wz} [dni]$  – wielkość charakteryzująca czas wykonania procesu, wyrażana w dniach.

$Czas_{max} [dni]$  – maksymalna wielkość charakteryzująca czas wykonania procesu, wyrażana w dniach.

$Czas_{min} [dni]$  – minimalna wielkość charakteryzująca czas wykonania procesu, wyrażana w dniach.

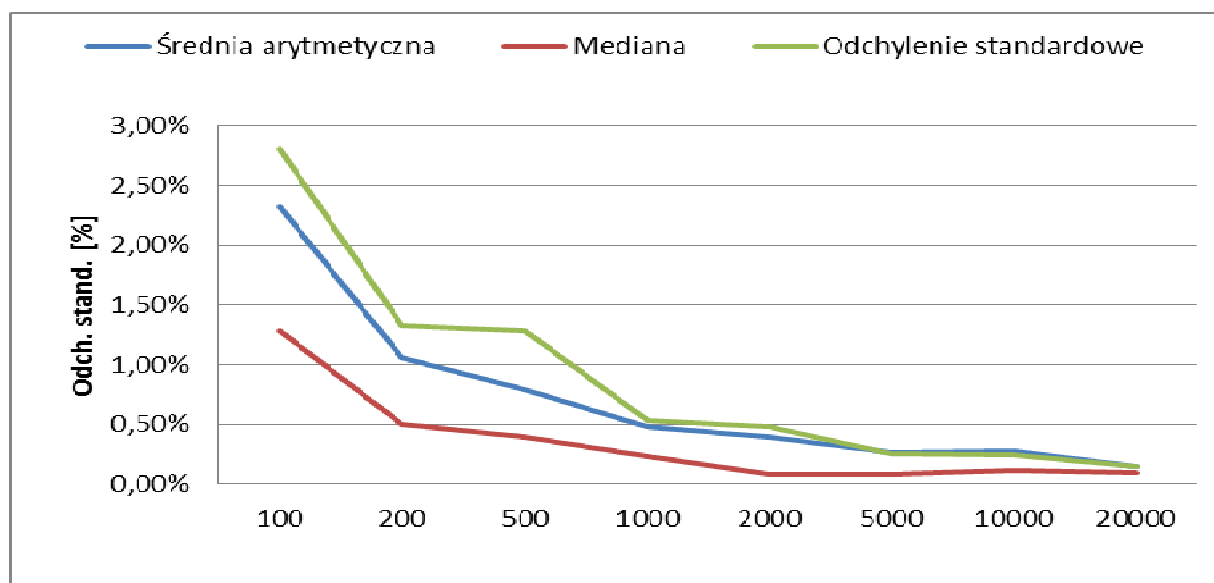
Dla tak wyznaczonych wartości w ramach wygenerowanych populacji obliczone zostały średnia arytmetyczna, mediana i odchylenie standardowe. Następnie dla wyznaczonych wyni-

ków obliczono odchylenie standardowe, w celu weryfikacji zbieżności wyników przy powtarzaniu badania. W poniższej tabeli i na poniższym wykresie przedstawiono wyniki przeprowadzonej analizy. Można zauważyć, że w miarę zwiększania liczebności generowanej populacji zbieżność wyników rośnie. Niemniej już przy liczebności 100 procesów błąd metody nie przekracza 3%, natomiast przy liczebności 1000 procesów błąd metody spada poniżej 1%.

| Wielkość<br>serii | Ilość<br>prób | Odchylenie standardowe |         |                        |
|-------------------|---------------|------------------------|---------|------------------------|
|                   |               | Średnia                | Mediana | Odchylenie standardowe |
| 100               | 20            | 2,32%                  | 1,28%   | 2,80%                  |
| 200               | 20            | 1,06%                  | 0,50%   | 1,33%                  |
| 500               | 10            | 0,79%                  | 0,40%   | 1,28%                  |
| 1000              | 10            | 0,48%                  | 0,23%   | 0,53%                  |
| 2000              | 10            | 0,40%                  | 0,09%   | 0,48%                  |
| 5000              | 10            | 0,27%                  | 0,08%   | 0,26%                  |
| 10000             | 10            | 0,28%                  | 0,12%   | 0,24%                  |
| 20000             | 5             | 0,15%                  | 0,10%   | 0,15%                  |

**Tabela 23.** Wartości odchyłeń standardowych parametrów analizy statystycznej w zależności od wielkości serii

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 54.** Odchylenia standardowe wskaźników statystycznych w zależności od wielkości badanych serii

**Źródło:** Opracowanie własne

#### 5.4.1.4. Interpretacja wyników analizy ryzyka

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski dla badanego przedsięwzięcia. Analizując ryzyko niewykonania przedsięwzięcia w założonym terminie należy stwierdzić, że niemal ze 100% prawdopodobieństwem nastąpi odchylenie względem założonego czasu realizacji. W miarę zwiększania liczebności wygenerowanej populacji ilość procesów zrealizowanych zgodnie z założonym czasem realizacji kształtowała się na poziomie 0,1 – 0,2%. Pośród wygenerowanych przedsięwzięć możliwe było rozróżnienie tych, które zakończyły się sukcesem, oraz tych zakończonych porażką. Dla takiego podziału możliwe było wyznaczenie najgorszej realizacji zakończonej sukcesem (**WCS Sukces – worst case scenario „sukces”**), która trwała od 403 do 444 dni, co stanowiło odpowiednio od 69% do 87% odchylenia od wzorcowego czasu realizacji. Również możliwe było wyznaczenie czasu realizacji, dla którego prawdopodobieństwo wynosi 50%. Co drugi projekt powinien zostać zrealizowany w czasie nie dłuższym niż 302 – 305 dni. Z powyższych wykresów można również wywnioskować, że z około 70% prawdopodobieństwem przedsięwzięcia kończą się sukcesem, natomiast istnieje blisko 30% prawdopodobieństwo porażki, czyli nie zrealizowania założonego przedsięwzięcia.

W poniższej tabeli przedstawiono wyniki sugerowanych parametrów analizy ryzyka, w podziale na liczebności wygenerowanych populacji.

| Liczebność wygenerowanych populacji | Wskaźnik Wrażliwości Wzorca | WCS Sukces | PP50   |
|-------------------------------------|-----------------------------|------------|--------|
|                                     | [ % ]                       | [dni]      | [dni]  |
| 100                                 | 0,00%                       | 403,75     | 302,40 |
| 200                                 | 0,00%                       | 428,17     | 303,10 |
| 500                                 | 0,20%                       | 428,17     | 308,50 |
| 1000                                | 0,10%                       | 428,17     | 306,80 |
| 2000                                | 0,15%                       | 428,17     | 308,40 |
| 5000                                | 0,08%                       | 438,2      | 305,10 |
| 10000                               | 0,13%                       | 438,2      | 304,10 |
| 20000                               | 0,11%                       | 443,93     | 304,10 |

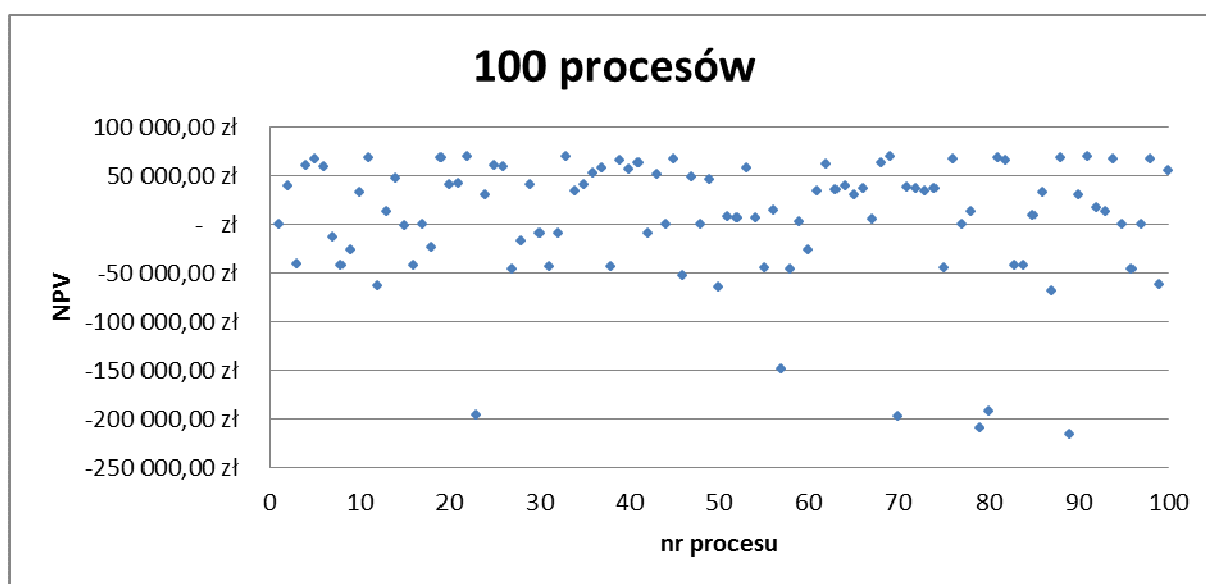
**Tabela 24.** Wartości parametrów analizy ryzyka z wnioskowaniem dwuwymiarowym dla różnych liczebności populacji

**Źródło:** Opracowanie własne

## 5.4.2. Badanie 2D z sortowaniem na podstawie zmiennej wynikowej dwóch zmiennych charakterystycznych

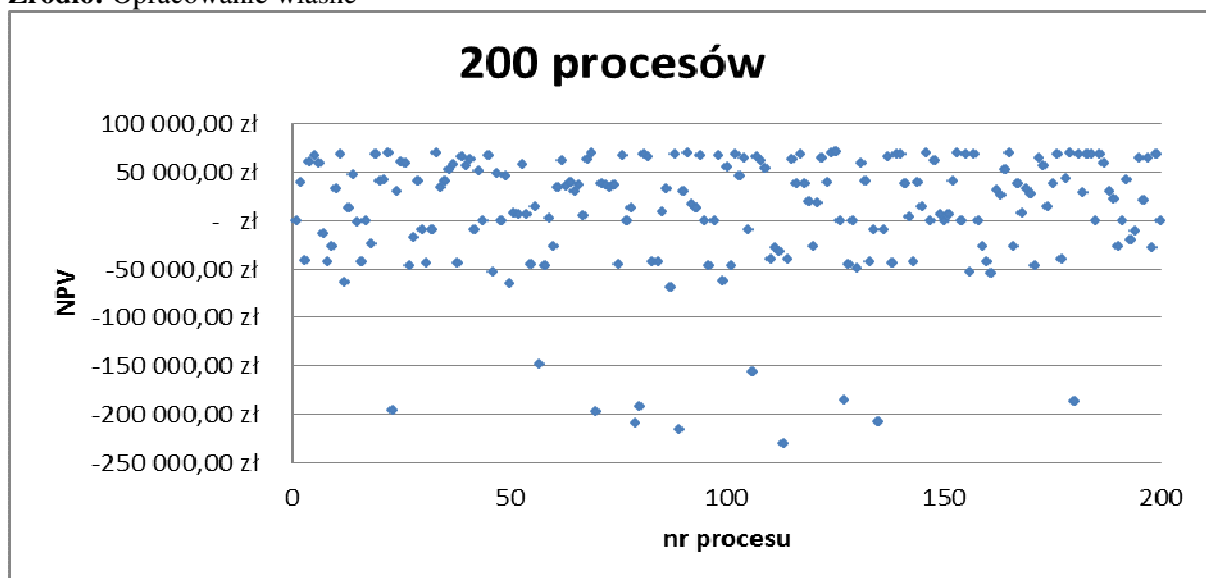
### 5.4.2.1. Symulacja

W ramach etapu generacji rozwiązań, zgodnie z proponowanym algorytmem, wykonana została optymalizacja procesów z wykorzystaniem metody ścieżki krytycznej, następnie stosując metodę dyskontową, wyznaczono dla każdego procesu wartość zmiennej decyzyjnej NPV. W wyniku symulacji wygenerowano populacje liczące 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000, 10000 i 20000 procesów. Na poniższych wykresach zaprezentowano wyniki symulacji, której efektem było określenie wartości zmiennej NPV dla każdego procesu.



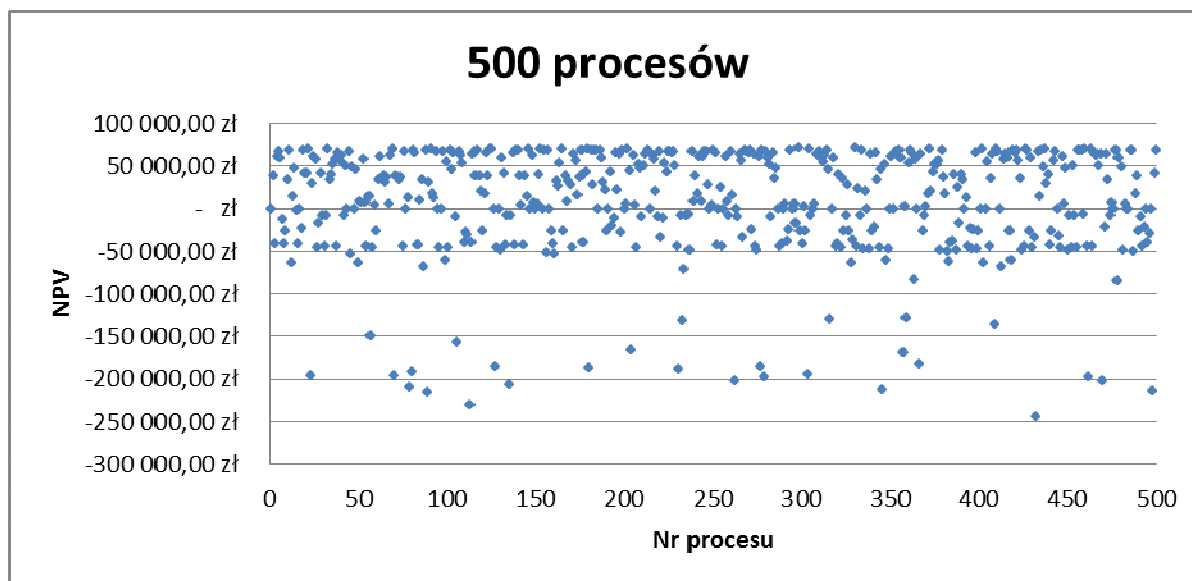
**Wykres 55.** Wykres przedstawiający wyniki procesów w populacji 100 powtórzeń

**Źródło:** Opracowanie własne



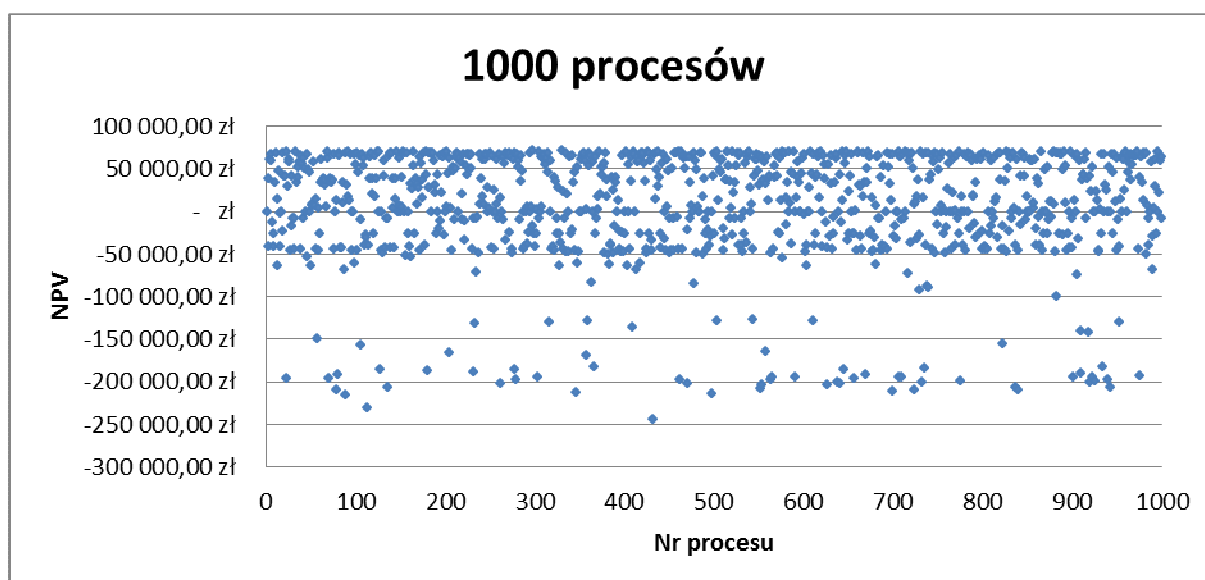
**Wykres 56.** Wykres przedstawiający wyniki procesów w populacji 200 powtórzeń

**Źródło:** Opracowanie własne



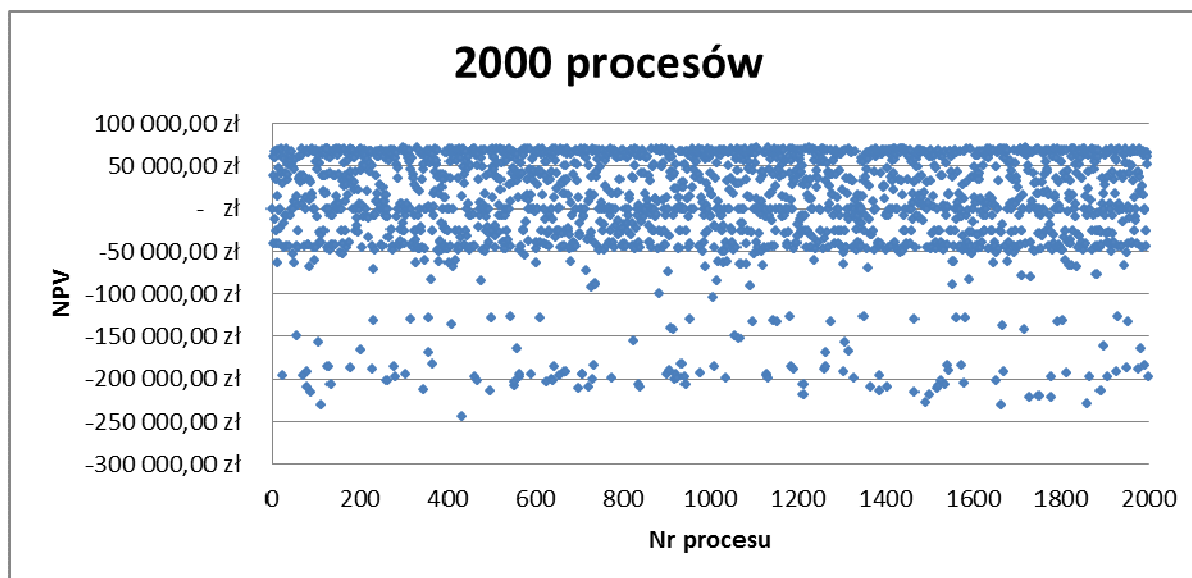
**Wykres 57.** Wykres przedstawiający wyniki procesów w populacji 500 powtórzeń

**Źródło:** Opracowanie własne



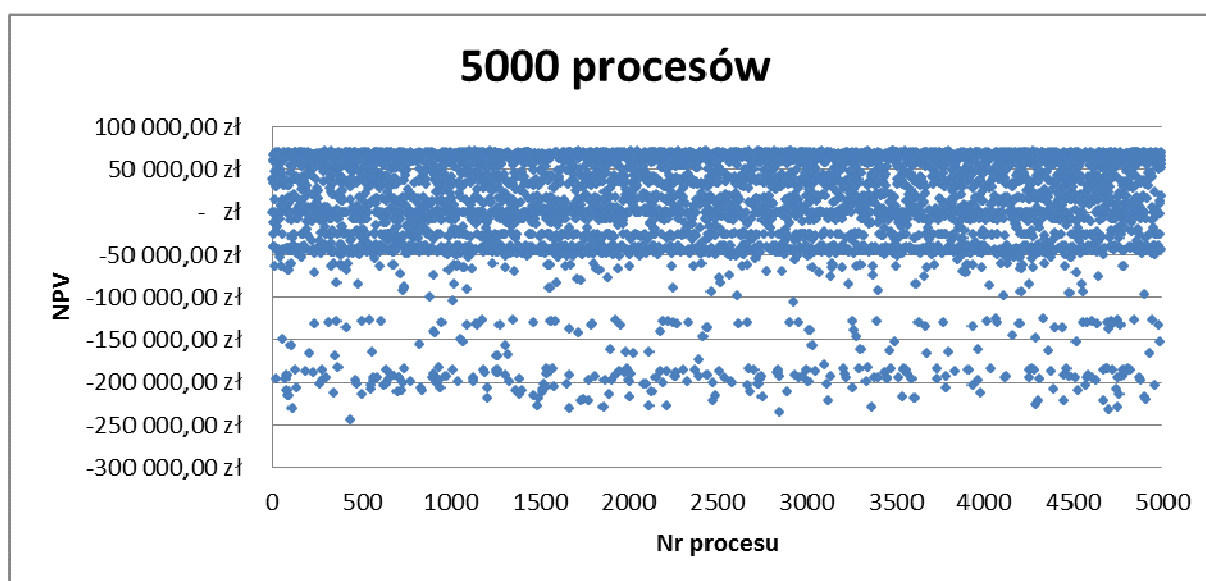
**Wykres 58.** Wykres przedstawiający wyniki procesów w populacji 1000 powtórzeń

**Źródło:** Opracowanie własne



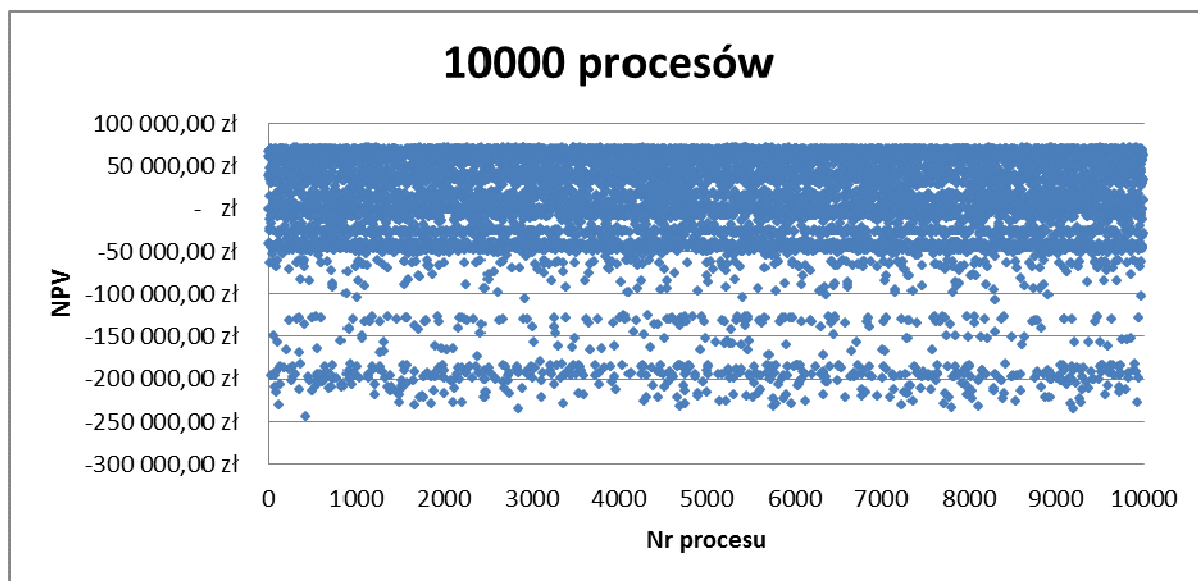
**Wykres 59.** Wykres przedstawiający wyniki procesów w populacji 2000 powtórzeń

**Źródło:** Opracowanie własne



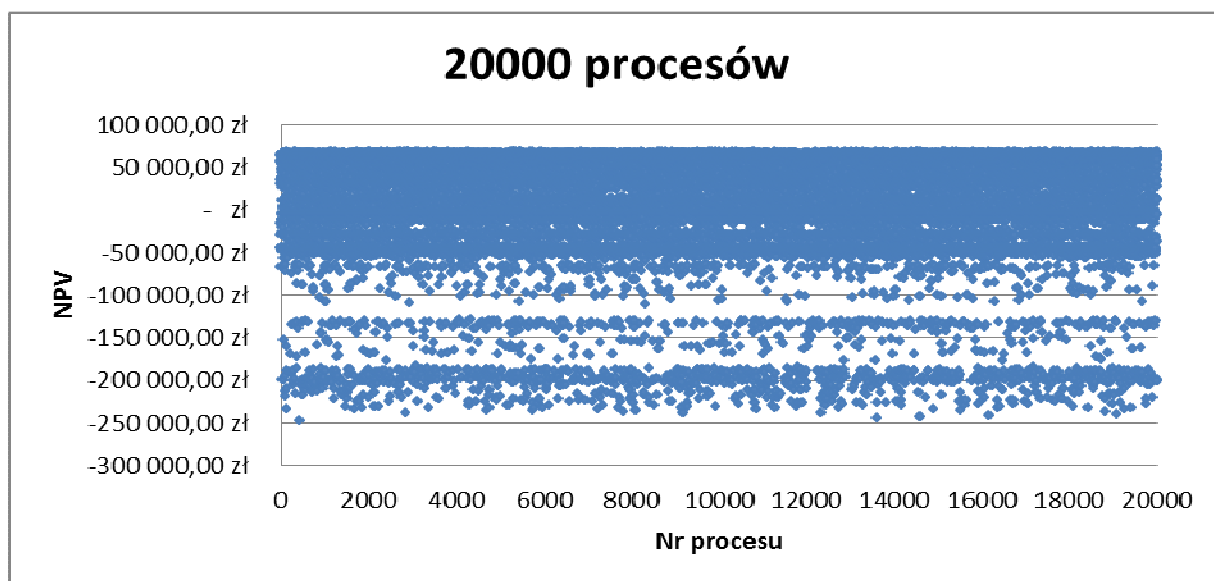
**Wykres 60.** Wykres przedstawiający wyniki procesów w populacji 5000 powtórzeń

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 61.** Wykres przedstawiający wyniki procesów w populacji 10 000 powtórzeń

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 62.** Wykres przedstawiający wyniki procesów w populacji 20 000 powtórzeń

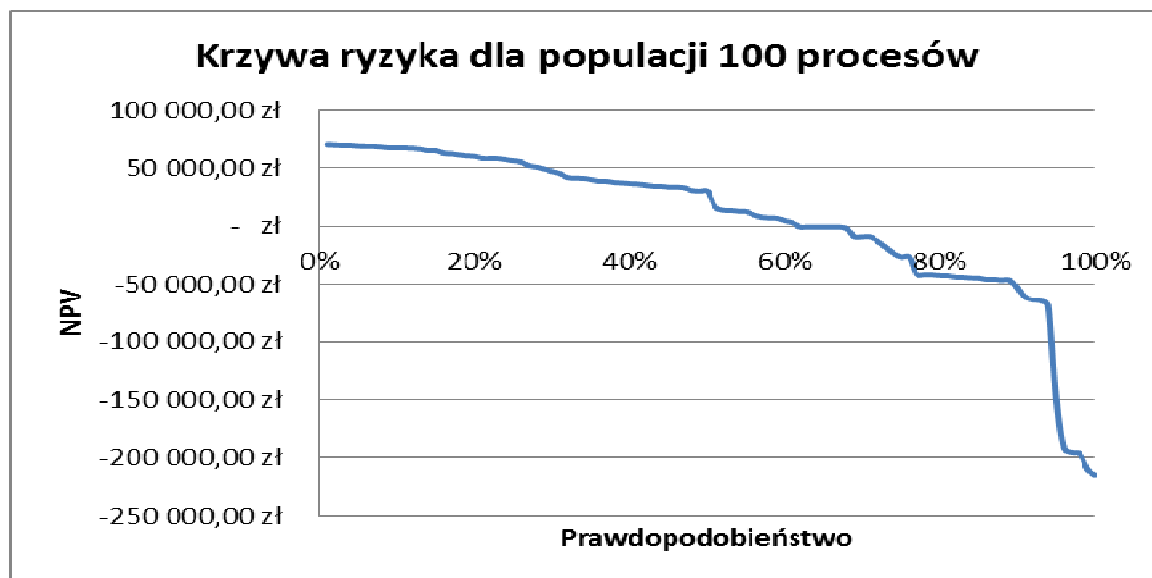
**Źródło:** Opracowanie własne

#### 5.4.2.2. Sortowanie

Kolejnym etapem badań, zgodnie z proponowanym algorytmem było przeprowadzenie sortowania dla wygenerowanych populacji procesów. Procesy zostały poddane sortowaniu w oparciu o zmienną decyzyjną NPV, a sortowanie zostało przeprowadzone zgodnie z zasadą od wartości największej do najmniejszej. W badanym przypadku przyjęta zasada jest tożsama z

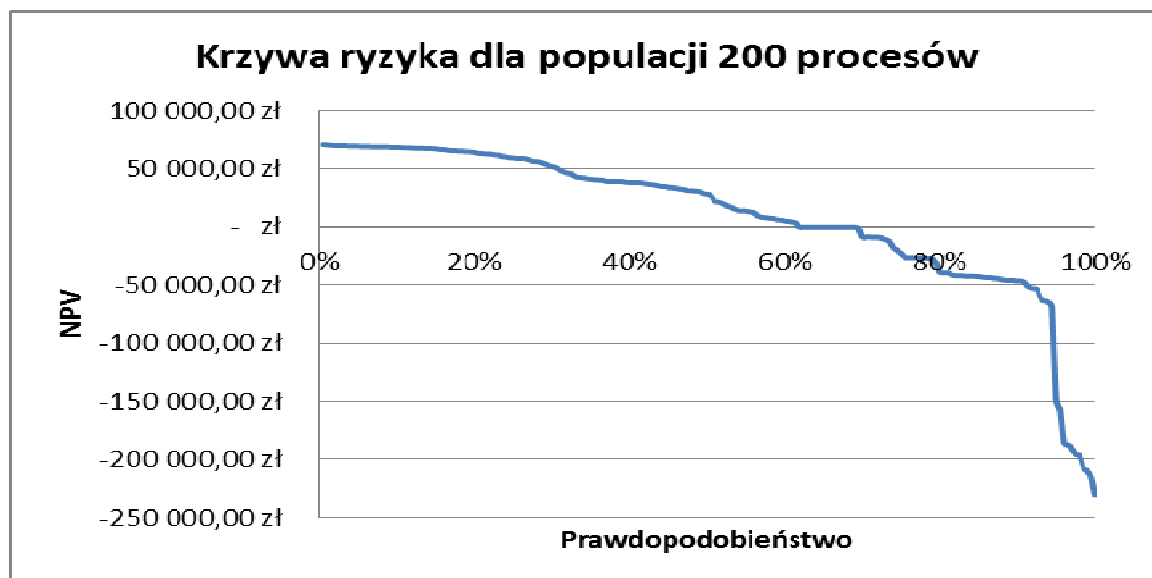
sortowaniem według rosnącej różnicy pomiędzy uzyskanym wynikiem biznesowym dla i-tego procesu, a wynikiem procesu wzorcowego.

Ze względu na różną liczebność wygenerowanych populacji, aby umożliwić porównanie wyników, na osi, na której reprezentowana była liczebność populacji, wartości zostały wyznaczone w wielkościach procentowych, odpowiadających procentowemu udziałowi w całej populacji.



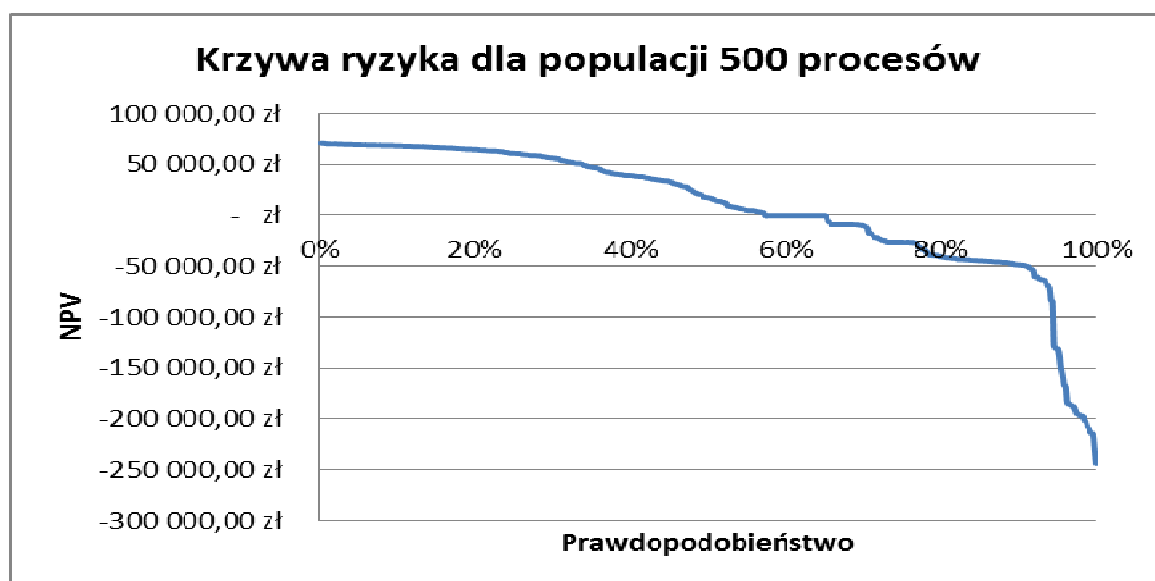
**Wykres 63.** Wykres przedstawiający usortowane wyniki procesów w populacji 100 powtórzeń

**Źródło:** Opracowanie własne



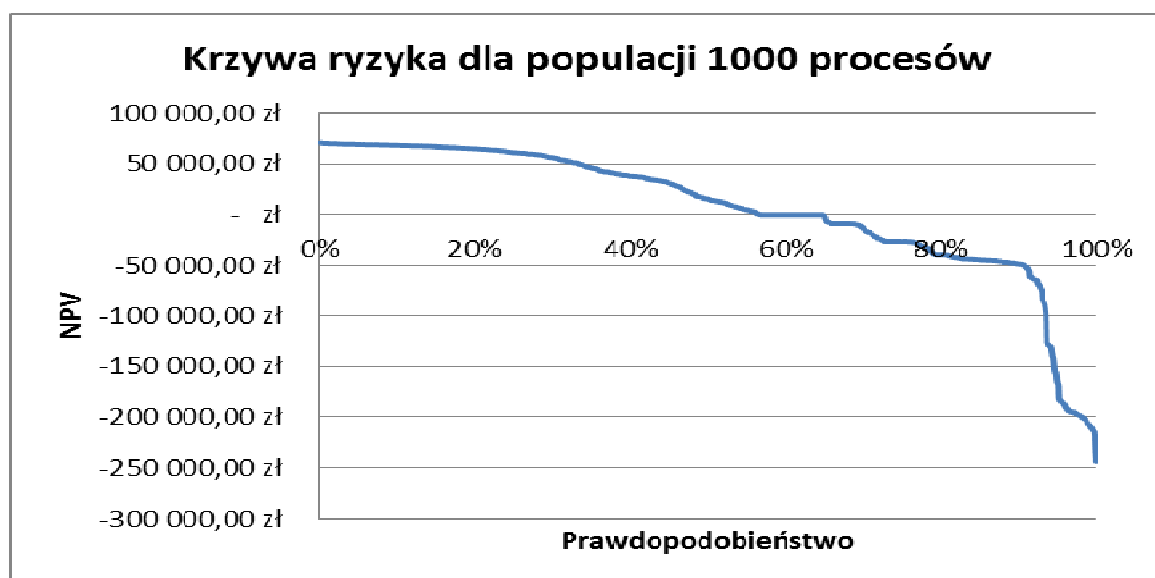
**Wykres 64.** Wykres przedstawiający usortowane wyniki procesów w populacji 200 powtórzeń

**Źródło:** Opracowanie własne



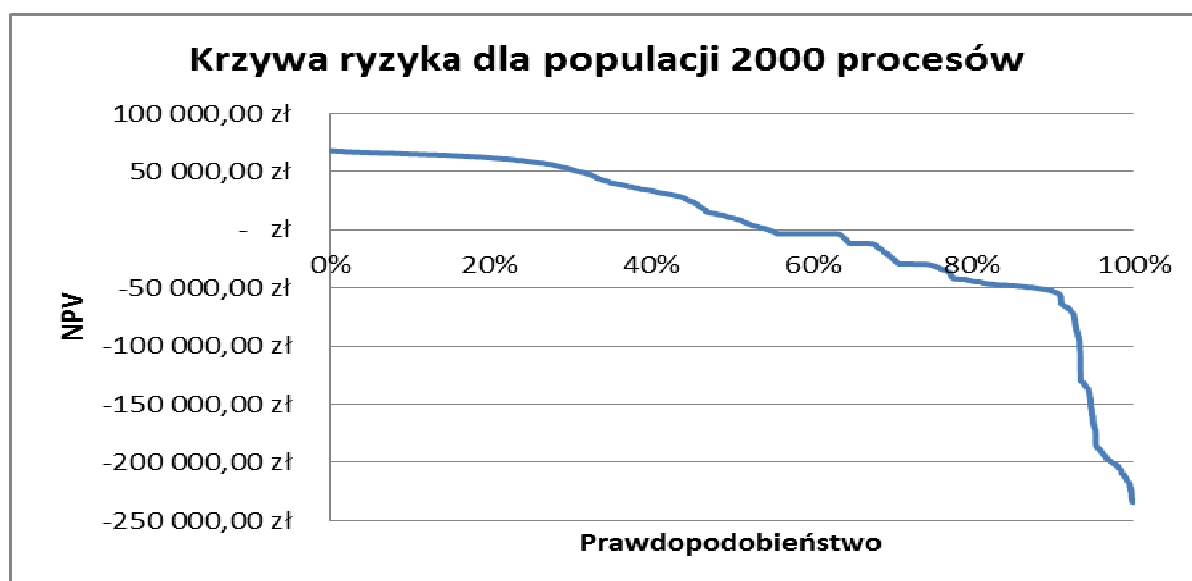
**Wykres 65.** Wykres przedstawiający usortowane wyniki procesów w populacji 500 powtórzeń

Źródło: Opracowanie własne



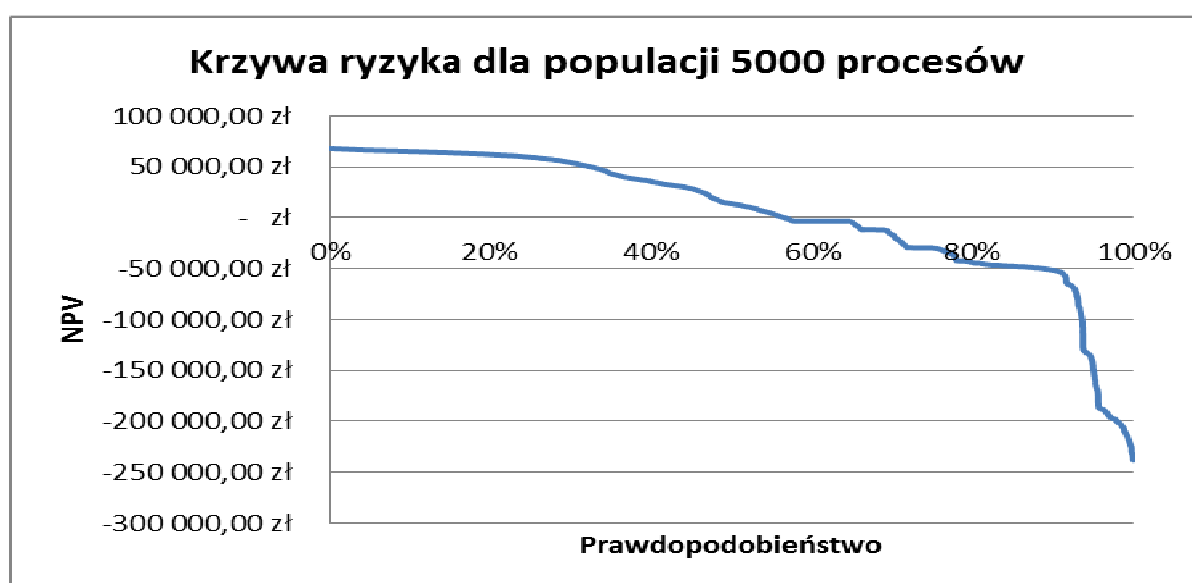
**Wykres 66.** Wykres przedstawiający usortowane wyniki procesów w populacji 1000 powtórzeń

Źródło: Opracowanie własne



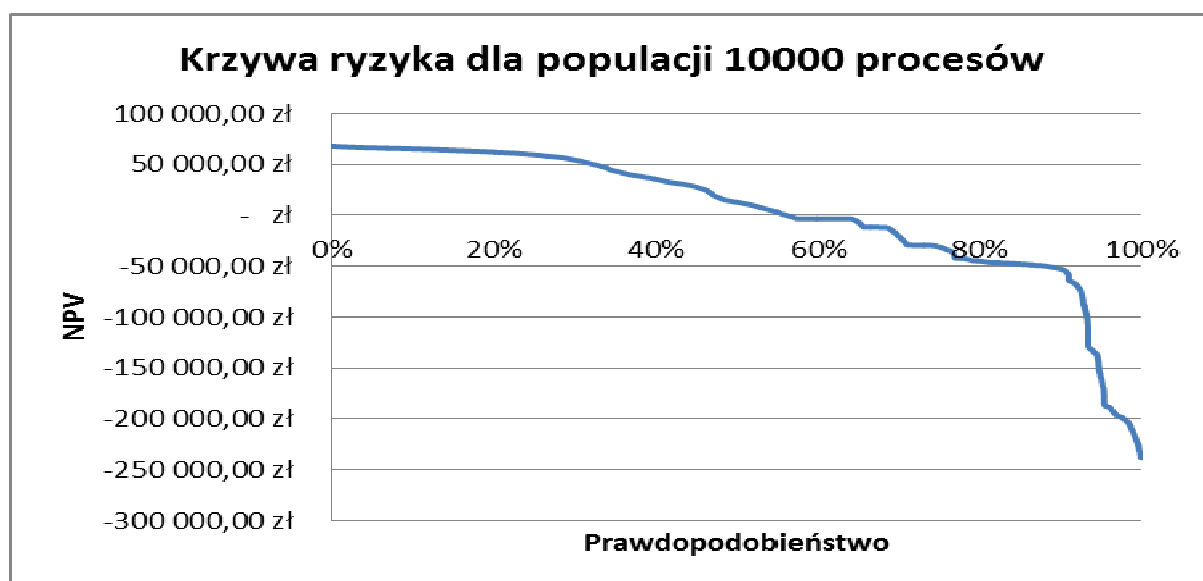
**Wykres 67.** Wykres przedstawiający usortowane wyniki procesów w populacji 2000 powtórzeń

**Źródło:** Opracowanie własne



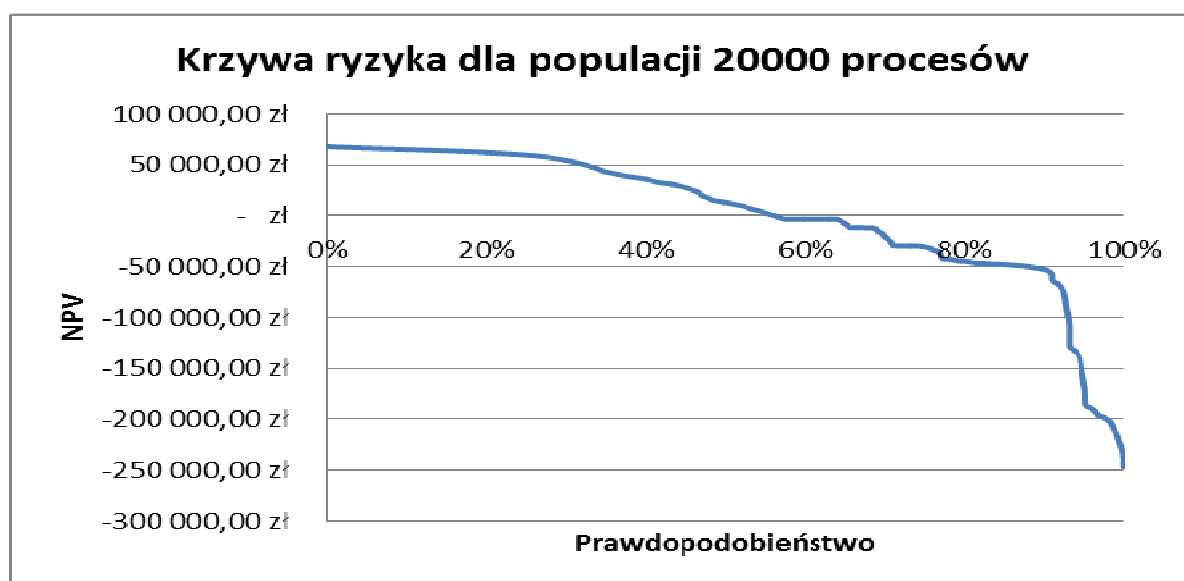
**Wykres 68.** Wykres przedstawiający usortowane wyniki procesów w populacji 5000 powtórzeń

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 69.** Wykres przedstawiający posortowane wyniki procesów w populacji 10 000 powtórzeń

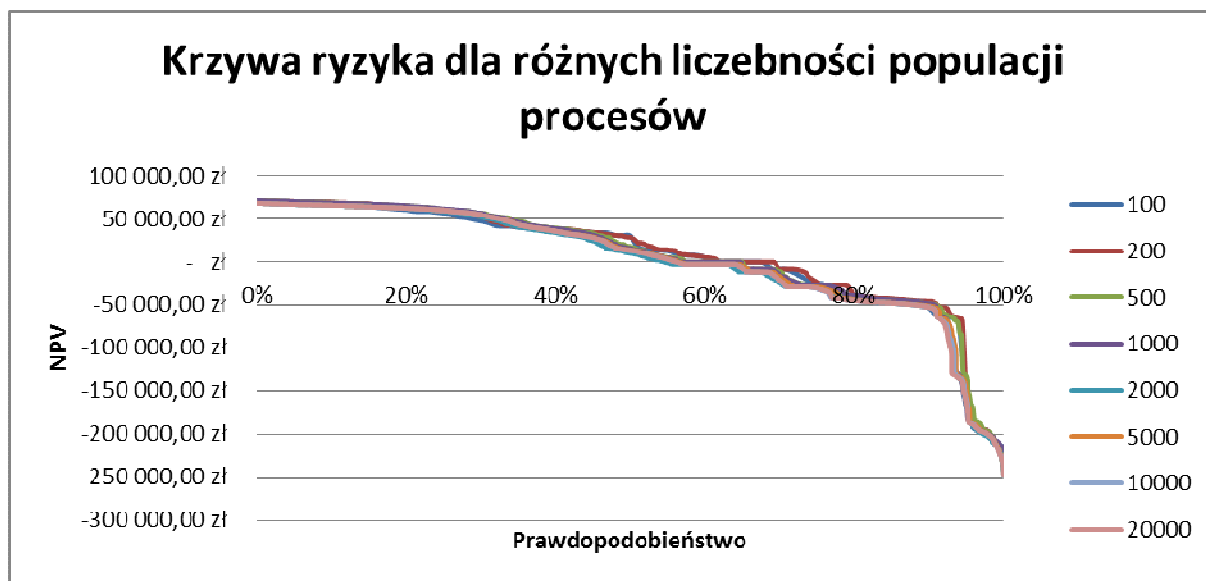
**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 70.** Wykres przedstawiający usortowane wyniki procesów w populacji 20 000 powtórzeń

**Źródło:** Opracowanie własne

Na poniższym wykresie zaprezentowano krzywe ryzyka dla różnych liczebności populacji. Jak można zauważyć zachodzi duża zbieżność wyników dla każdej wielkości wygenerowanej populacji. Sugeruje to, że symulacje już dla niewielkich ilości powtórzeń są w stanie dawać zadowalające wyniki analizy ryzyka.



**Wykres 71.** Wykres przedstawiający usortowane wyniki procesów dla różnych ilości powtórzeń

**Źródło:** Opracowanie własne

#### 5.4.2.3. Interpretacja wyników metody

W celu przeprowadzenia badań osiągniętych wyników dla różnych liczebności populacji wyznaczono parametry analizy statystycznej, tj. średnią arytmetyczną, medianę i odchylenie standardowe. W poniższej tabeli przedstawiono wyniki obliczeń dla tych wskaźników analizy statystycznej.

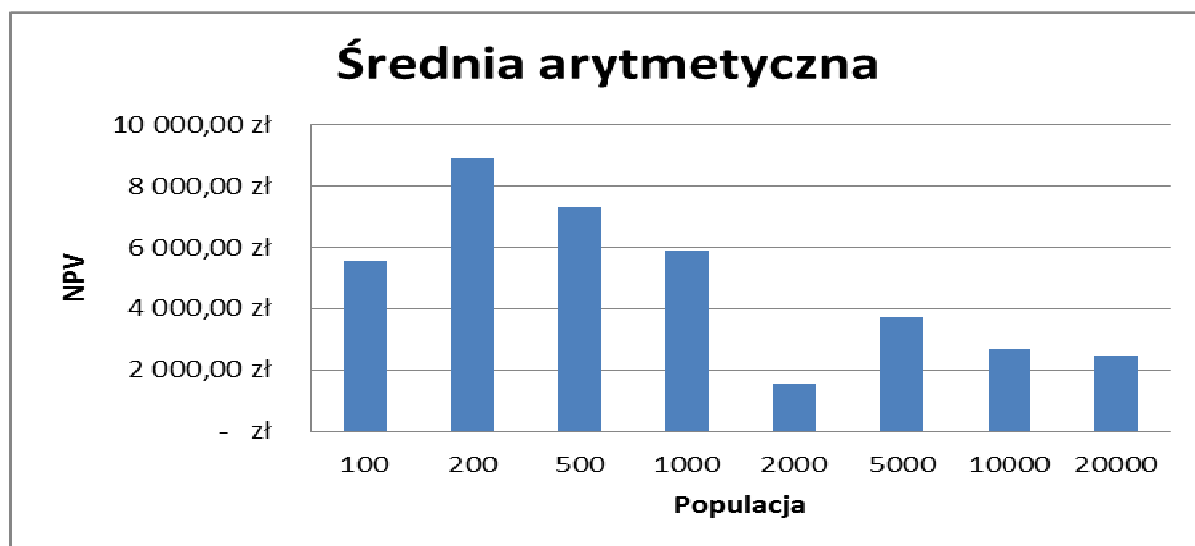
| Ilość symulacji | Średnia arytmetyczna | Mediana      | Odchylenie standardowe |
|-----------------|----------------------|--------------|------------------------|
| <b>100</b>      | 5 567,36 zł          | 23 892,04 zł | 64 921,97 zł           |
| <b>200</b>      | 8 914,86 zł          | 27 328,64 zł | 63 211,45 zł           |
| <b>500</b>      | 17 329,56 zł         | 17 329,56 zł | 63 383,98 zł           |
| <b>1000</b>     | 5 884,95 zł          | 15 638,15 zł | 65 598,10 zł           |
| <b>2000</b>     | 1 562,06 zł          | 10 275,53 zł | 65 686,99 zł           |
| <b>5000</b>     | 3 735,23 zł          | 13 786,63 zł | 64 589,27 zł           |
| <b>10000</b>    | 2 694,74 zł          | 12 995,97 zł | 65 597,74 zł           |
| <b>20000</b>    | 2 479,45 zł          | 13 012,31 zł | 66 092,49 zł           |

**Tabela 25.** Wartości parametrów analizy statystycznej dla różnych wielkości serii

**Źródło:** Opracowanie własne

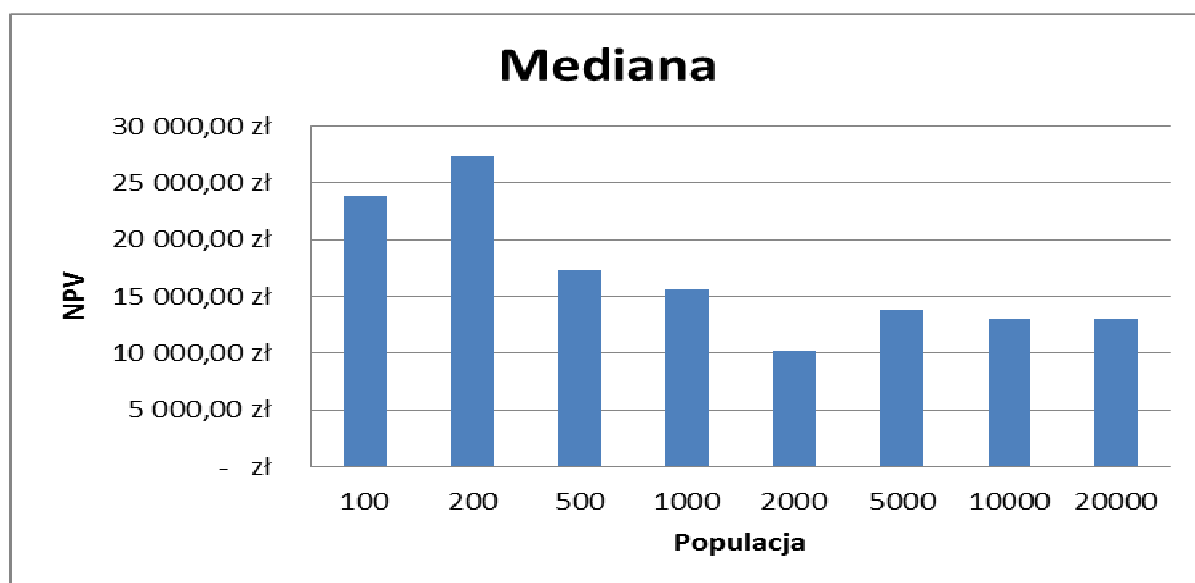
Na poniższych wykresach przedstawiono wartości parametrów analizy statystycznej dla różnych liczebności wygenerowanych populacji. Jak można zauważyć w miarę zwiększania liczebności populacji wartości średniej arytmetycznej i mediany się stabilizują, co świadczy o zbliżaniu się do wystarczającej (dla przyjęcia stacjonarności) liczby prób. Odchylenie stan-

dardowe jest stabilne w całym zakresie badanych wielkości wygenerowanych populacji procesów (waha się w przedziale od 20,06% do 20,97%).



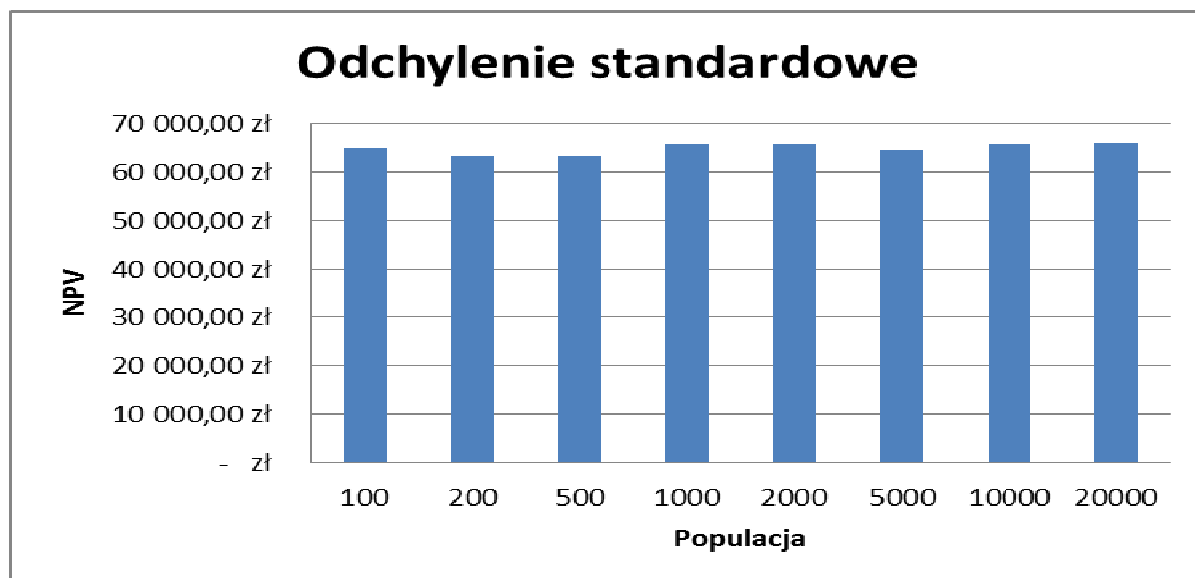
**Wykres 72.** Wykres przedstawiający wartości średniej arytmetycznej dla różnej ilości symulacji

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 73.** Wykres przedstawiający wartości mediany dla różnych ilości symulacji

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 74.** Wykres przedstawiający wartości odchylenia standardowego dla różnych ilości symulacji

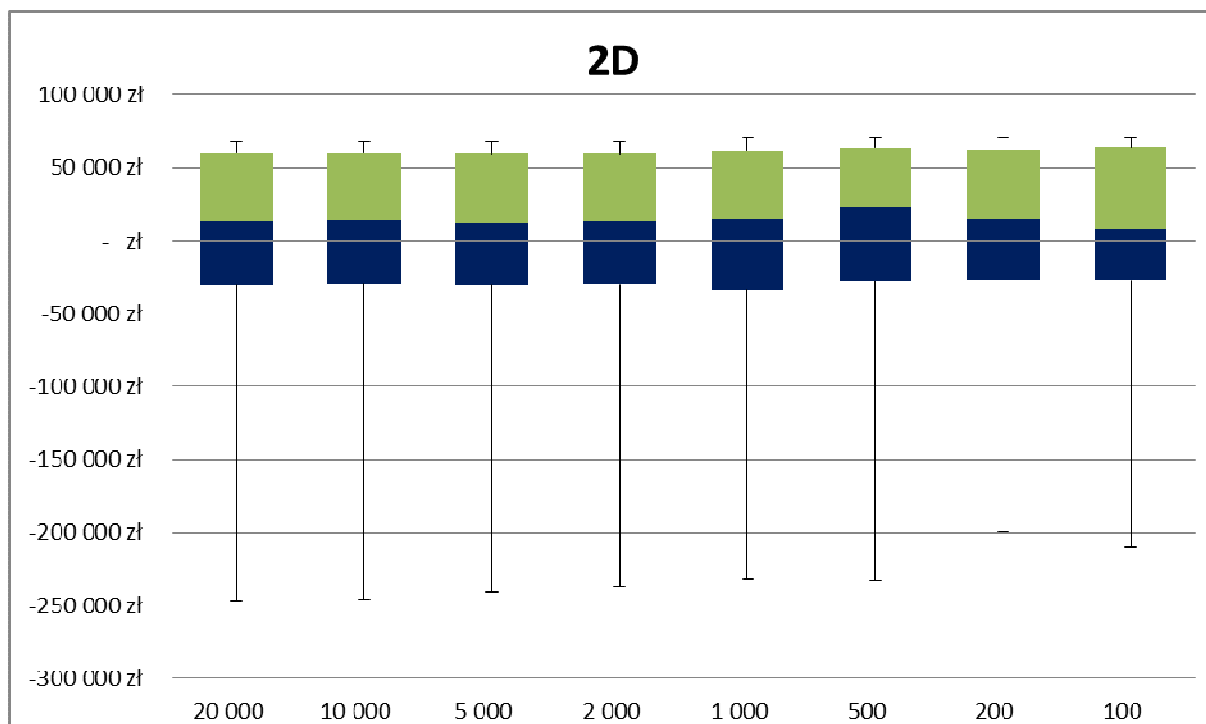
**Źródło:** Opracowanie własne

Kolejnym etapem badań metody było sporządzenie wykresów pudełkowych dla wybranych prób różnych wielkości serii. Poniżej przedstawiono wykres, na którym granice „pudełka” oznaczają kwartyle 1 i 3, granica między nimi reprezentuje medianę, a granice „wąsów” wartości maksymalną i minimalną. Poniższa tabela i wykres prezentują wyniki dla różnych wielkości serii reprezentujących wartości NPV podawane w zł.

|           | 20 000      | 10 000      | 5 000       | 2 000       | 1 000       | 500         | 200         | 100         |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Minimum   | -246 874 zł | -245 459 zł | -240 810 zł | -237 469 zł | -231 963 zł | -232 781 zł | -199 551 zł | -210 148 zł |
| Kwartyl 1 | - 30 688 zł | - 29 818 zł | - 30 673 zł | - 30 335 zł | - 33 875 zł | - 28 272 zł | - 26 793 zł | - 26 820 zł |
| Mediana   | 13 012 zł   | 13 780 zł   | 11 959 zł   | 13 380 zł   | 14 443 zł   | 22 824 zł   | 14 711 zł   | 7 602 zł    |
| Kwartyl 3 | 59 540 zł   | 59 734 zł   | 59 406 zł   | 59 177 zł   | 62 167 zł   | 64 018 zł   | 62 466 zł   | 64 501 zł   |
| Maximum   | 68 246 zł   | 68 213 zł   | 68 213 zł   | 68 246 zł   | 71 228 zł   | 70 857 zł   | 71 092 zł   | 70 724 zł   |

**Tabela 26.** Wartości parametrów analizy statystycznej dla różnych wielkości serii

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 75.** Wykres pudełkowy NPV dla różnych wielkości serii

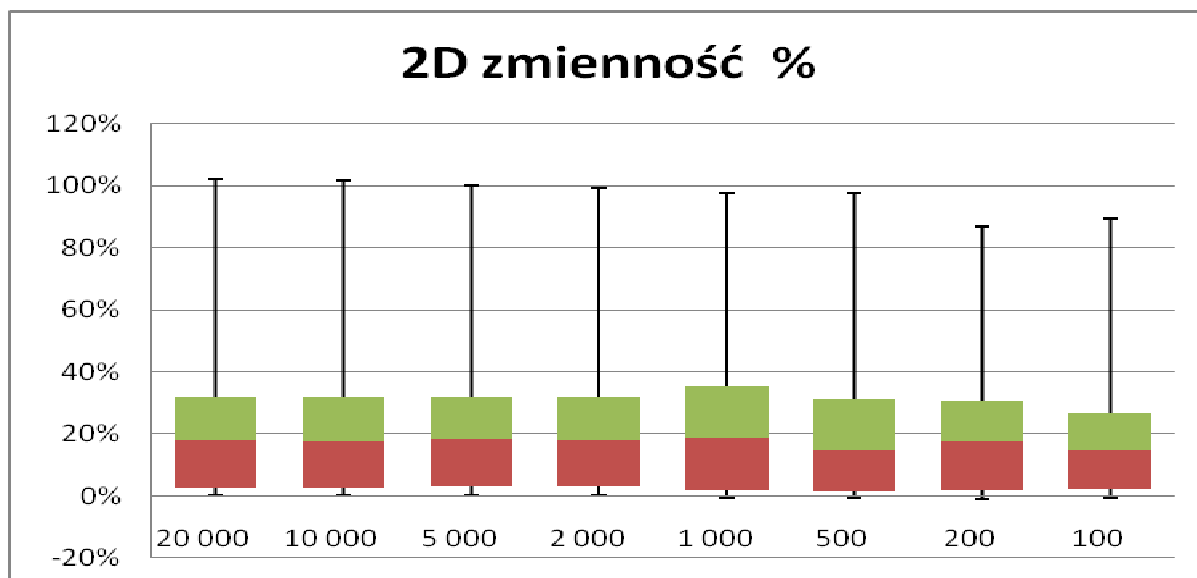
**Źródło:** Opracowanie własne

Analizę za pomocą wykresu pudełkowego powtórzono dla wartości wyrażanych w wielkościach procentowych. W poniższej tabeli przedstawiono wyniki dla analizy na wartościach wyrażanych w wielkościach procentowych.

|           | 20 000 | 10 000 | 5 000 | 2 000 | 1 000 | 500 | 200 | 100 |
|-----------|--------|--------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| Minimum   | 0%     | 0%     | 0%    | 0%    | -1%   | -1% | -1% | -1% |
| Kwartyl 1 | 3%     | 3%     | 3%    | 3%    | 2%    | 1%  | 2%  | 2%  |
| Mediana   | 18%    | 18%    | 18%   | 18%   | 19%   | 15% | 17% | 15% |
| Kwartyl 3 | 32%    | 32%    | 32%   | 32%   | 35%   | 31% | 31% | 27% |
| Maximum   | 102%   | 102%   | 100%  | 99%   | 98%   | 98% | 87% | 89% |

**Tabela 27.** Wartości parametrów analizy statystycznej dla różnych wielkości serii

**Źródło:** Opracowanie własne



**Wykres 76.** Wykres pudełkowy procentowych odchyłeń od wzorca dla różnych wielkości serii

**Źródło:** Opracowanie własne

Jak można zauważyć w obu przypadkach w miarę zwiększania liczebności badanej populacji zbieżność wyników rośnie.

Kolejnym etapem analizy była weryfikacja zbieżności wyników dla większej ilości prób serii o tych samych wielkościach.

W tym celu wykonano odpowiednio:

1. 20 symulacji dla serii liczących 100, 200 procesów,
2. 10 symulacji dla serii liczących 500, 1000, 2000, 5000, 10000 procesów,
3. 5 symulacji dla serii liczącej 20 000 procesów.

Następnie, aby zweryfikować zmienność parametrów wynikowych, uzyskane wartości zmiennej NPV zostały przekształcone na wielkości wyrażane w jednostkach procentowych, zgodnie z formułą

$$\Delta NPV_i[\%] = \frac{NPV_i[zł]}{NPV_{\max}[zł] - NPV_{\min}[zł]} \cdot 100\% \quad (5.6)$$

gdzie:

$\Delta NPV_i[\%]$  – wartość bieżąca netto i – tego procesu wyrażana w jednostkach procentowych.

$NPV_i[zł]$  – wartość bieżąca netto i – tego procesu wyrażana w jednostkach pieniężnych, w walucie PLN.

$NPV_{\max}[zł]$  – maksymalna wartość bieżąca netto procesu z badanej populacji, wyrażana w jednostkach pieniężnych, w walucie PLN.

$NPV_{\min}[zł]$  – minimalna wartość bieżąca netto procesu z badanej populacji, wyrażana w jednostkach pieniężnych, w walucie PLN.

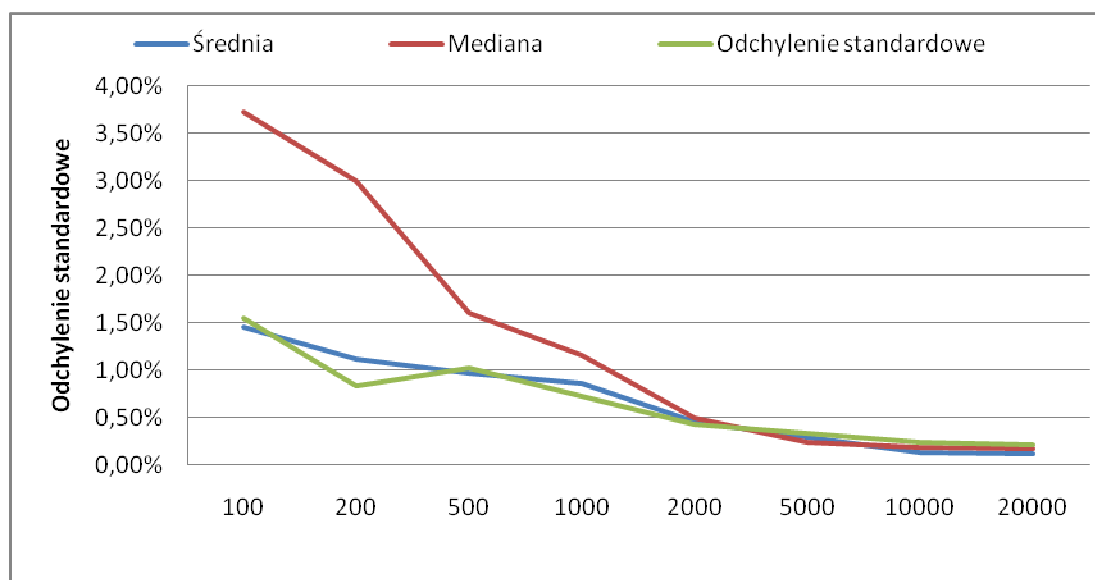
Dla tak wyznaczonych wartości zmiennej NPV wyznaczone zostały charakterystyczne parametry analizy statystycznej, tj. średnia arytmetyczna, mediana, odchylenie standardowe. Następnie dla grup takich samych parametrów analizy statystycznej, tej samej liczebności badanych populacji, wyznaczono odchylenie standardowe. Wyniki tych obliczeń przedstawiono w poniższej tabeli.

| Wielkość serii | Ilość prób | Odchylenie standardowe |         |                        |
|----------------|------------|------------------------|---------|------------------------|
|                |            | Średnia                | Mediana | Odchylenie standardowe |
| 100            | 20         | 1,46%                  | 3,72%   | 1,54%                  |
| 200            | 20         | 1,11%                  | 2,99%   | 0,83%                  |
| 500            | 10         | 0,97%                  | 1,60%   | 1,02%                  |
| 1000           | 10         | 0,86%                  | 1,16%   | 0,72%                  |
| 2000           | 10         | 0,45%                  | 0,49%   | 0,42%                  |
| 5000           | 10         | 0,30%                  | 0,24%   | 0,33%                  |
| 10000          | 10         | 0,12%                  | 0,18%   | 0,24%                  |
| 20000          | 5          | 0,11%                  | 0,16%   | 0,21%                  |

**Tabela 28.** Wartości odchyleń standardowych parametrów analizy statystycznej w zależności od wielkości serii

**Źródło:** Opracowanie własne

Na poniższym wykresie przedstawiono odchylenia standardowe różnych wskaźników statystycznych w zależności od wielkości serii będących przedmiotem analizy.



**Wykres 77.** Odchylenia standardowe wskaźników statystycznych w zależności od wielkości badanych serii

**Źródło:** Opracowanie własne

Jak można zauważyć, tak jak w przypadku metody z wnioskowaniem w układzie trójwymiarowym, również w tym przypadku w miarę zwiększania liczebności próby wygenerowanej populacji maleje odchylenie standardowe uzyskiwanych wyników dla kolejno powtarzanych serii. W ten sposób właściwym jest wniosek, że w miarę zwiększania liczebności populacji generowanych procesów zbieżność wyników powtarzanych symulacji będzie rosła. Należy również zauważyć, że nawet przy liczebności populacji 100 elementów wygenerowanych procesów, odchylenie standardowe podstawowych parametrów analizy statystycznej nie przekracza wartości 4%. Pozwala to na stwierdzenie, że nawet przy tak małej wielkości populacji wyniki będą osiągały zadowalającą dokładność, w szczególności w odniesieniu do innych metod analizy ryzyka.

#### **5.4.2.4. Interpretacja wyników analizy ryzyka**

Na podstawie wykonanych badań wyznaczono wartości dla sugerowanych parametrów, jakimi można posłużyć się na etapie wnioskowania analizy ryzyka. Wartość najgorszego możliwego scenariusza realizacji została wyznaczona na poziomie około -247 000 zł. Wartość ta była powtarzana dla wielkości symulacji 2000, 5000, 10000 i 20000 procesów. Równie ważny w analizie finansowej może być wskaźnik określający prawdopodobieństwo uzyskania wyniku nie gorszego niż zero złotych. Jak można zauważyć w poniższej tabeli, prawdopodobieństwo, że wynik realizacji przedsięwzięcia nie będzie ujemny wynosi nie mniej niż 56%. Odnosząc się do zagadnienia w sposób kolokwialny zmienna ta informuje, z jakim prawdopodobieństwem nie trzeba będzie dokładać własnych środków do zrealizowania przedsięwzięcia.

Równie sugestywnym wskaźnik **PP50** informuje, że z prawdopodobieństwem 50% przedsięwzięcie zakończymy z wynikiem nie mniejszym niż 13.000 zł. Jednocześnie na 90% wynik nie będzie gorszy niż -53.000 zł.

Jako sugerowane do rozważenia, przedstawione zostały dwa wskaźniki, których zadaniem jest wskazanie wrażliwości przedsięwzięcia na zagrożenia. Jak już wyjaśniono w punkcie 4.4. za właściwe narzędzie do tego celu służy sam wykres krzywej ryzyka, niemniej proponowane wskaźniki stanowią propozycję sparametryzowanej reprezentacji wrażliwości na zagrożenia. Zgodnie z uzyskanymi wynikami można stwierdzić, że parametry te dążą do wartości odpowiednio **WWnZP50** = 42% i **WWnZP90** = 68%. Nie jest możliwym na podstawie przeprowadzonych badań określić znaczenie tych wielkości. Ich zastosowanie może mieć miejsce w sytuacji porównania do innych przedsięwzięć i na tak zbudowanej bazie wiedzy wnioskowanie o znaczeniu tych wielkości. Niemniej wydaje się, że zmienne te charakteryzują się dużą prostotą wyznaczenia, oraz dużą reprezentatywnością.

Jak można zauważyć w poniższej tabeli wyniki stabilizują od populacji liczącej 5000 osób.

|              | <b>WCS</b><br>(Worst case scenario) | <b>ZSP</b><br>(Zero scenario probability) | <b>PP50</b><br>(50% probability process) | <b>PP90</b><br>(90% probability process) | <b>WWnZP50</b><br>(Wskaźnik wiary-<br>liwości na zagro-<br>żenia 50%) | <b>WWnZP90</b><br>(Wskaźnik wiary-<br>liwości na zagro-<br>żenia 90%) |
|--------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>100</b>   | - 214 975,07 zł                     | 62,00%                                    | 30 275,84 zł                             | - 52 884,52 zł                           | 83,01%                                                                | 65,11%                                                                |
| <b>200</b>   | - 230 121,03 zł                     | 62,00%                                    | 28 191,13 zł                             | - 46 307,07 zł                           | 64,13%                                                                | 65,45%                                                                |
| <b>500</b>   | - 243 877,73 zł                     | 57,40%                                    | 17 508,23 zł                             | - 48 583,31 zł                           | 43,21%                                                                | 68,00%                                                                |
| <b>1000</b>  | - 243 877,73 zł                     | 56,70%                                    | 15 738,48 zł                             | - 48 366,51 zł                           | 42,63%                                                                | 68,70%                                                                |
| <b>2000</b>  | - 246 874,46 zł                     | 54,60%                                    | 10 370,47 zł                             | - 52 868,97 zł                           | 43,43%                                                                | 70,63%                                                                |
| <b>5000</b>  | - 246 874,46 zł                     | 56,52%                                    | 13 792,15 zł                             | - 51 437,62 zł                           | 42,00%                                                                | 67,95%                                                                |
| <b>10000</b> | - 246 874,46 zł                     | 56,03%                                    | 13 002,33 zł                             | - 52 503,37 zł                           | 42,20%                                                                | 68,60%                                                                |
| <b>20000</b> | - 246 874,46 zł                     | 56,06%                                    | 13 020,63 zł                             | - 52 738,65 zł                           | 42,03%                                                                | 68,23%                                                                |

**Tabela 29.** Wartości parametrów analizy ryzyka z wnioskowaniem dwuwymiarowym dla różnych liczebności populacji

**Źródło:** Opracowanie własne

## Wnioski

Celem niniejszej rozprawy było zbadanie proponowanej metody analizy ryzyka z wykorzystaniem algorytmów stochastycznych. W zaprezentowanej rozprawie zaproponowano i przedstawiono model systemu informatycznego do analizy ryzyka w odniesieniu do powielarnych procesów biznesowych z wykorzystaniem algorytmów stochastycznych. Dalej w pracy zajęto się analizą algorytmu, jego implementacją w postaci systemu informatycznego przeznaczonego do szczególnej kustomizacji oraz szczegółowemu badaniu zaproponowanego algorytmu na rzeczywistych zestawach danych.

Zadanie to zostało zrealizowane na podstawie przeprowadzonych prac symulacyjnych, oraz badań przeprowadzonych na stworzonych do tego celu narzędziach informatycznych. W oparciu o analizę literatury naukowej, zasoby internetu oraz doświadczenia praktyczne, opracowana została metoda umożliwiaющая wykonanie analizy ryzyka przedsięwzięć z wykorzystaniem algorytmów stochastycznych, dla trzech wariantów analizy:

1. Analizując ryzyko w odniesieniu do jednej zmiennej charakterystycznej przedsięwzięcia; jako zmienną tą przyjęto **Czas realizacji**.
2. Analizując ryzyko w odniesieniu do dwóch zmiennych charakterystycznych przedsięwzięcia; za zmienne te przyjęto **Czas realizacji i Wartość finansową**.
3. Analizując ryzyko w odniesieniu do jednej zmiennej wynikowej, reprezentującej dwie zmienne charakterystyczne; w oparciu o **Czas realizacji i wartość finansową**, wyznaczono **zmienną NPV** będącą kryterium analizy.

Na podstawie gruntownej analizy cech, jakimi musi charakteryzować się metoda analizy ryzyka, opracowano koncepcję nowej metody i następnie stworzono na tej podstawie algorytmy dla trzech założonych wariantów analizy. W konsekwencji został zrealizowany i gruntownie przetestowany algorytm postępowania, który posłużył jako podstawa badań nad proponowaną metodą.

Przyjęty sposób definicji danych wejściowych umożliwił określenie bez większej trudności badanego obiektu. Zastosowana tu idea diagramów Gantt'a jest powszechnie stosowanym narzędziem w zarządzaniu przedsięwzięciami. Przyjęcie definicji rejestrów realizacji nie stanowiło problemu, gdyż zastosowano tu klasyczną tabelę pomiarową. Niezbędną do zdefiniowania obiektu badań była baza danych o realizacji przedsięwzięć w ilości nie mniejszej niż 30 realizacji każdego podprocesu, co – przy zastosowaniu aparatu znanego ze statystyki - umożliwiło budowę statystycznego modelu procesu biznesowego.

Dalej dzięki zastosowaniu metody Monte Carlo stworzone zostały populacje procesów o różnej liczebności, które stanowiły podstawę prowadzenia procedury badawczej i jej uogólnienia w postaci wniosków końcowych.

Następnie uzyskane populacje procesów zostały poddane sortowaniu w trzech wariantach, w wyniku czego uzyskano krzywe ryzyka w układzie dwu- i trójwymiarowym. Testy metody zostały zrealizowane poprzez szereg powtórzeń, celem weryfikacji zbieżności uzyskiwanych wyników. Obliczone wskaźniki statystyczne wskazują na dużą zbieżność i powtarzalność wyników metody, w szczególności przy zwiększaniu liczebności generowanej populacji uzyskujemy znaczne polepszenie skupienia wyników. Podkreślić należy, że każdy z wygenerowanych procesów, niezależnie od wybranego wariantu metody został poddany optymalizacji metodą ścieżki krytycznej – CPM.

---

W przypadku metody z wnioskowaniem w układzie trójwymiarowym zasadniczą trudnością okazało się być określenie wag zmiennych charakterystycznych. Wydaje się, że zaletą metody w tym wariancie, nie są tylko konkretne wartości liczbowe, ale możliwość analizy krzywej ryzyka, obrazującej zmienność wartości poszczególnych zmiennych charakterystycznych.

W przypadku wnioskowania w układzie dwuwymiarowym można wskazać zarówno na możliwość analizy krzywej ryzyka, jak i prezentację konkretnie wytypowanych wartości w postaci liczbowej. Wyniki analizy prezentowane w postaci ilościowej ułatwiają ich dalsze przetwarzanie, co wyróżnia proponowaną metodę na tle metod stosowanych obecnie.

Przeprowadzone badania oraz uzyskane wyniki, zdaniem Autora, pozwalają na stwierdzenie, że proponowana metoda umożliwia realizację analizy ryzyka przedsięwzięcia, generując wyniki o znacznie lepszej użyteczności niż przy zastosowaniu dotychczas znanych metod. Przygotowanie, jak i analiza oraz prezentacja proponowanej metody pozwalają na stwierdzenie, że metoda ta jest informatycznym rozwiązaniem problemu budowy i testowania algorytmu.

Stanowi to oczywistą zaletę, ponieważ w przypadku metod wieloetapowych na kolejnych etapach trzeba posługiwać się pośrednimi kryteriami jakości, których optymalizacja nie daje gwarancji optymalizacji kryterium ostatecznego. W proponowanej metodzie mamy do czynienia z kryteriami globalnymi, więc zasygnalizowany problem nie istnieje.

Proponowana metoda wpisuje się w grupę metod ilościowych, zaś uzyskane rezultaty badań wskazują na reprezentatywność wyników oraz łatwość stosowania.

Zdaniem Autora istnieje szereg kierunków kontynuacji badań nad metodą, poczynając od weryfikacji zastosowania jej w innych przedsięwzięciach niż biznesowe, kończąc zaś na przekształceniu metody ze statycznej w dynamiczną.

## Literatura:

1. „A guide to the Project Management Body of Knowledge”, PMBOK Guide Third Edition.
2. Angelis L., and Stamelos I.: A Simulation Tool for Efficient Analogy Based Cost Estimation. *Empirical Software Engineering* (5), 2000
3. Betlej P.: „Badania Operacyjne II – programowanie sieciowe”, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie, SZEMiE, wykład.
4. “Best practice in risk management”, The Economist, Economist Intelligence Unit, 2007
5. Boehm B.: *Software Risk Management: Principles and Practices*. IEEE Software, 1991
6. Borcz M. „Logika matematyczna”, Uniwersytet Toruński, WM, wykład, 2009.
7. Bradley K.: *Understanding PRINCE2*. SPOCE Group, 2002
8. Carr M., Konda S., Monarch I., Ulrich C.: *Taxonomy-Based Risk Identification*. Software Engineering Institute Carnegie Mellon University Pittsburgh, Pennsylvania 1993
9. Chong Y., Brown E.: *Zarządzanie Ryzykiem Projektu*. Oficyna ekonomiczna. Kraków 2001
10. Chapman R.: The effectiveness of working group risk identification and assessment techniques. *International Journal of Project Management* Vol. 16, No. 6, 1998
11. Gillies D., Thomaz C.: *Intelligent Data Analysis and Probabilistic Inference*. Inference Coursework Department of Computing, Imperial College London, 2004
12. Greenfield M.: “Risk Management Tools”, Langley Research Center, 2000
13. Halpern J.: *Reasoning about uncertainty*. The MIT Press, Massachusetts, 2003
14. Halton J. H.: Sequential Monte Carlo Techniques for the Solution, *Journal of Scientific Computing*, 1994
15. Ignasiak E.: *Sieciowe planowanie przedsięwzięć o niezdeterminowanej strukturze*. Akademia Ekonomiczna, Poznań 1978
16. Jajuga K.: *Zarządzanie ryzykiem*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2007
17. Kaczmarek T.: *Zarządzanie ryzykiem. Ujęcie interdyscyplinarne*. Difin, 2010
18. Kamber M. Han J.: *Data Mining: Concepts and Techniques*. Morgan Kaufmann Publishers, 2000
19. Kasiewicz S.: *Zarządzanie zintegrowanym ryzykiem przedsiębiorstwa w Polsce kierunki i narzędzia*, Wolters Kluwer Polska, 2010
20. Kerzner H.: *Project Management A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. John Wiley & Sons, 2001
21. Komitet Informatyki PAN: „Nauka w Polsce w ocenie Komitetów Naukowych PAN” – tom 1; PAN KBN Warszawa 1995

22. Koronacki J., Mieleniczuk J.: „Statystyka dla studentów kierunków technicznych i przyrodniczych”, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2001
23. Krywicki W., Bartos J., Dyczka W., Królikowski K., Wasilewski M.: „Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach – 2”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006
24. „Managing Successful Projects with PRINCE2”, Office of Government Commerce, 2005
25. Matkowski P.: Zarządzanie ryzykiem operacyjnym. Wolters Kluwer Polska, 2006
26. Miler J., Górski J.: Wzorce identyfikacji ryzyka w projektach informatycznych. Problemy i metody inżynierii oprogramowania pod redakcją Huzar Z., Mazur Z. Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Wrocław, 2003
27. Ministerstwo Skarbu Jej Królewskiej Mości: „Pomarańczowa Księga. Zarządzanie ryzykiem – zasady i koncepcje”, październik 2004
28. Mizerka J.: „Identyfikacja i pomiar ryzyka”, Akademia Ekonomiczna w Poznaniu, KFP, wykład.
29. Murphy K.: An introduction to graphical models. Technical report. Intel Research Technical Report, 2001
30. Nadolska A.: „System zarządzania ryzykiem”, Uniwersytet Gdański, Koło Naukowe Prawa Finansowego.
31. Nahotko S.: „Efektywność i ryzyko ekonomiczne w działalności gospodarczej”, Oficyna Wydawnicza Ośrodka Postępu Organizacyjnego, Bydgoszcz 1996
32. New South West Treasury: “Risk management guideline”, TAM04-12, 2004
33. Parr Rud O.: Data Mining Cookbook. Modeling Data for Marketing, Risk, and Customer Relationship Management, Wiley & Sons, 2001
34. Patan M.: „Programowanie sieciowe. Metoda ścieżki krytycznej”, Uniwersytet Zielonogórski, ISiSI, wykład.
35. Pitchard C.: Zarządzanie ryzykiem w projektach. Teoria i Praktyka. WIG-Press. Warszawa, 2001
36. Project Risk Management Handbook. Sacramento, 2003
37. Prywata M. „Zarządzanie ryzykiem w małych projektach”, [www.web.gov.pl](http://www.web.gov.pl)
38. “Quality Risk Management”, European Medicines Agency, 2011
39. Rapacki R.: “Ekonomia Menedżerska: Konspekt 2 – analiza marginalna jako narzędzie optymalizacji decyzji menadżerskich”, Krajowa Szkoła Administracji Publicznej, wykład.
40. Rolski T.: „Wykład z symulacji stochastycznej i teorii Monte Carlo”, Instytut Matematyczny, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław 2009
41. Rozenberg L., Trojczak P.: „System oceny sytuacji finansowej przedsiębiorstwa i ryzyka bankowego w działalności bankowej”, Konferencja „Zarządzanie finansami”, 2003 rok.
42. Rozenberg L., Trojczak - Golonka P.: „Proces odkrywania wiedzy z baz danych (na przykładzie bazy danych przedsiębiorstw)”, Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej RPI'2006, Szczecin, 2006

43. Sawicki P.: „Inżynieria jakości – Diagram Ishikawy, Analiza korelacji”, Politechnika Poznańska, WMRiT, wykład.
44. Sobczyk M.: „Statystyka – aspekty praktyczne i teoretyczne”, Wydawnictwo UMCS, Lublin 2006
45. The Institute of Operational Risk, “ Risk Control Self Assessment”, Sound Practice Guidance, 2010.
46. Trzpiot G.: „Wielowymiarowe metody statystyczne w analizie ryzyka inwestycyjnego”, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2010
47. Tarczyński W. , Mosiejewicz M.: „Zarządzanie ryzykiem”, PWE, Warszawa 2001
48. Twardochleb M., Włoch P.: “Metoda mapowania ryzyk powielarnych przedsięwzięć biznesowych dla systemu wspomagania decyzji menadżerskich”, Metody Informatyki Stosowanej 2011, nr 4.
49. Twardochleb M., Włoch P.: „Wspomaganie procesu podejmowania decyzji dla modelu zagadnienia inwestycyjnego z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo”, Konferencja InfoGryf 2010.
50. Urban M.: „Rozkład t – studenta”, Politechnika Wrocławska, IOiZ, 2006.
51. Urzyczyn P.: „ Wstęp do teorii mnogości”, Uniwersytet Warszawski, WMliM, wykład, 2001.