

*MICHAŁ TWARDUCHLEB*

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny

*PAWEŁ WŁOCH*

EPA Wind Sp. z o.o.

## **METODA ANALIZY RYZYKA OPÓŹNIENIA REALIZACJI PROCESÓW BIZNESOWYCH**

### **Streszczenie**

W niniejszym artykule przedstawiono możliwości zastosowania innowacyjnej metody do analizy ryzyka opóźnienia realizacji procesów biznesowych. Proponowane podejście wykorzystuje symulację Monte Carlo w celu estymowania możliwych odchyleń od założonego (wzorcowego) czasu przeprowadzenia inwestycji, której przykładem jest proces budowy masztu pomiarowego. Wykazano, że proponowane podejście może być szczególnie użyteczne z punktu widzenia kadry menedżerskiej i może być elementem systemu wspomaganie decyzji inwestycyjnych.

### **Wprowadzenie**

Niezależnie od tego, czy przedmiotem badań jest zdarzenie, czy przedsięwzięcie (zbiór zdarzeń ze sobą powiązanych), ryzyko może być identyfikowane w odniesieniu do różnych cech charakterystycznych badanego obiektu. Spośród

znanych metod można wyróżnić dwie zasadnicze grupy, tj. metody jakościowej oceny ryzyka i ilościowej oceny ryzyka. Do pierwszej grupy zaliczamy te podejścia, których wynikiem jest opis zagrożeń, bez definiowania wartości mierzalnych (prawdopodobieństwa czy wymiaru skutku). Do drugiej grupy zalicza się te metody, które wyniki analizy prezentują w postaci wartości mierzalnych. Niemniej znane dotychczas metody mają dość istotne ograniczenia jeżeli chodzi o możliwość zastosowania, jak również wymagania odnoszące się do danych wejściowych niezbędnych dla przeprowadzenia poprawnej analizy. Najczęściej dane wejściowe stanowią indywidualne, zdefiniowane ryzyka, tj. skutek i prawdopodobieństwo wystąpienia. Okazuje się jednak, że wyjątkowo trudne jest określenie prawdopodobieństwa dla poszczególnych, indywidualnych ryzyk, stąd dokładność metody jest już na wstępie istotnie ograniczona.

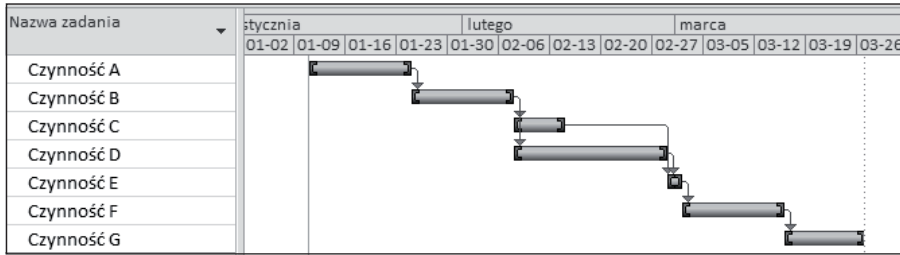
W niniejszym artykule przedstawiono propozycję metody oceny ryzyka opóźnienia realizacji przedsięwzięć, która wykorzystuje metody stochastyczne i może być zastosowana do projektów powielarnych, czyli takich, które z pewnymi modyfikacjami wykonywane są w sposób powtarzalny. Dane wejściowe dla prezentowanej metody stanowi informacja o realizacji 30 takich samych projektów. Za przykład posłużyły tu rzeczywiste realizacje inwestycji polegających na wybudowaniu meteorologicznego masztu pomiarowego, jakkolwiek możliwa jest analiza innych typów projektów. Innowacyjność metody wynika z faktu, iż nie bazuje ona na indywidualnych ryzykach, tylko na zarejestrowanych realizacjach poszczególnych czynności wchodzących w skład przedsięwzięcia.

Metoda ta oparta została na definiowaniu przedsięwzięcia za pomocą harmonogramu Gantta. Taka forma prezentacji określa powiązania czynności, składających się na dane przedsięwzięcie, oraz czasy ich realizacji. Rysunek 1 przedstawia przykład przedsięwzięcia opisanego w postaci harmonogramu Gantta.

### **1. Dane wejściowe do analizy**

Jak można zauważyć na rysunku 1, dla każdej czynności można określić następujące informacje:

- 1) czas trwania,
- 2) listę czynności poprzedzających.



Rys. 1. Przykład przedsięwzięcia zapisanego w postaci diagramu Gantta  
Źródło: opracowanie własne.

Bardzo ważnym elementem przemawiającym za użytecznością proponowanej metody jest fakt, że dla zgromadzenia danych wejściowych nie jest konieczna informacja o 30 pełnych realizacjach. Można to zastąpić informacją o realizacji samych czynności, pod warunkiem że dla każdej możliwe będzie określenie 30 przypadków. Wynika to z granicznej wartości przyjętej dla tzw. prób małych<sup>1</sup>. Gromadzone informacje są grupowane do tzw. rejestrów realizacji przypisanych dla poszczególnych czynności. Każda realizacja jest zdefiniowana za pomocą jeszcze jednego parametru, jakim jest efekt, tzn. określa się, czy dana czynność została zakończona sukcesem, czy porażką. W przypadku sukcesu przedsięwzięcie przechodzi do realizacji kolejnych czynności, w przypadku porażki realizacja przedsięwzięcia zostaje przerwana.

W celu przeprowadzenia analizy za pomocą prezentowanej metody niezbędne jest określenie dwóch rzeczy: harmonogramu procesu (poprzez identyfikację czynności) oraz rejestrów realizacji poszczególnych czynności. Poniżej zaprezentowano definicję odpowiednio czynności i rejestrów realizacji.

a. Każda czynność reprezentowana jest w postaci wektora o następujących parametrach:

$$C_i = [t_i, p_0, \dots, p_n]$$

$C_i$  – czynność  $i$ ,

$t_i$  – czas czynności  $i$ ,

<sup>1</sup> Zob. np. J. Koronacki, J. Mielniczuk, *Statystyka dla studentów kierunków technicznych i przyrodniczych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2001; W. Kryszicki i in., *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach 2*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.

- $p_0, \dots, p_n$  – nr poprzedników,  
 $i$  – nr czynności,  
 $n$  – liczba porządkowa poprzedników.

- b. Każda realizacja w rejestrze jest reprezentowana w postaci wektora o następujących parametrach:

$$R_{ij} = [\Delta t_{ij}, E_{ij}]$$

- $R_{ij}$  – realizacja nr  $j$  czynności  $i$ ,  
 $t_{ij}$  – czas realizacji nr  $j$  czynności  $i$ ,  
 $E_{ij}$  – znacznik sukces / porażka nr  $j$  czynności  $i$ ,  
 $i$  – nr czynności,  
 $j$  – liczba porządkowa realizacji.

Realizacje mogą być definiowane jako wartości ostateczne lub w postaci odchyień od wzorca (definicji danej czynności). Należy zauważyć, że definiowanie odchylenia może mieć dwojaki charakter, tzn. albo w wartościach charakterystycznych dla czasu (dni, lata, itp.), albo jako odchylenie wyrażane w wartościach procentowych. W przypadku drugiego podejścia odchylenie czasu realizacji wyrażane jest następującą formułą:

$$\Delta t_{ij} [\%] = \frac{t_{ij} [dni] - t_{wzi} [dni]}{t_{wzi} [dni]}$$

- $\Delta t_{ij} [\%]$  – odchylenie czasu realizacji nr  $j$  czynności nr  $i$  wyrażane w %,  
 $t_{ij} [dni]$  – czas realizacji nr  $j$  czynności nr  $i$  wyrażany w dniach,  
 $t_{wzi} [dni]$  – czas trwania czynności nr  $i$  i procesu wzorcowego wyrażany w dniach.

## 2. Algorytm metody

Dzięki tak zdefiniowanym danym wejściowym możliwe jest przeprowadzenie symulacji z zastosowaniem algorytmu stochastycznego. W tym celu sugerowana jest metoda Monte Carlo, której użyteczność została potwierdzona we wcześniejszych pracach<sup>2</sup>. Przebieg symulacji polega na tym, że w efekcie

<sup>2</sup> Zob. M. Twardochleb, P. Włoch, *Wspomaganie procesu podejmowania decyzji dla modelu zagadnienia inwestycyjnego z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo*, w: *Technologia informacyjna*.

przeprowadzenia  $\alpha$  symulacji, generowana jest populacja  $\alpha$  procesów. Proces losowania polega na tym, że dla każdej czynności losowana jest realizacja, spośród realizacji zdefiniowanych w rejestrach. W wyniku symulacji powstaje każdorazowo proces zmodyfikowany o różne czasy realizacji poszczególnych czynności oraz w zależności od dodatkowego parametru logicznego, dla każdej czynności przypisywany jest znacznik logiczny wskazujący na sukces lub porażkę.

Każdy tak wygenerowany proces w następnym kroku poddawany jest optymalizacji za pomocą metody ścieżki krytycznej – CPM, celem zaktualizowania ścieżki krytycznej procesu, czyli czasu realizacji przedsięwzięcia.

Tak zoptymalizowane procesy stanowią populację  $\alpha$  procesów, które następnie stanowią podstawę do przeprowadzenia oceny ryzyka przedsięwzięcia.

Istota wnioskowania wynika z charakteru informacji jakie można uzyskać z wygenerowanej populacji procesów. Można tu wyróżnić następujące grupy:

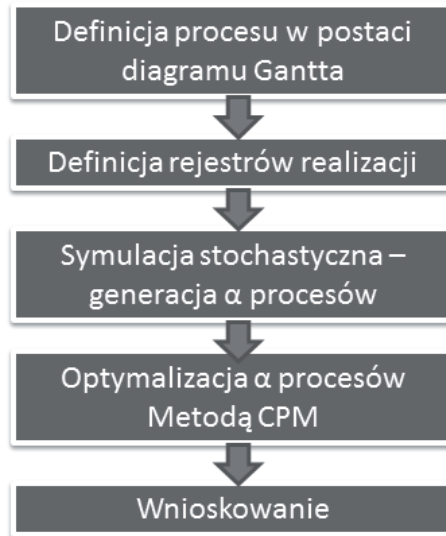
- 1) procesy zakończone z sukcesem, w terminie zgodnym ze wzorcem,
- 2) procesy zakończone z sukcesem, lecz opóźnione,
- 3) procesy zakończone porażką, przed terminem wzorcowym,
- 4) procesy zakończone porażką, po terminie wzorcowym.

Wnioskowanie dotyczące prawdopodobieństwa ryzyka oparte jest na liczebności grup w całej populacji. Na rysunku 2 przedstawiono schemat blokowy funkcjonowania proponowanej metody.

### 3. Badanie użyteczności metody

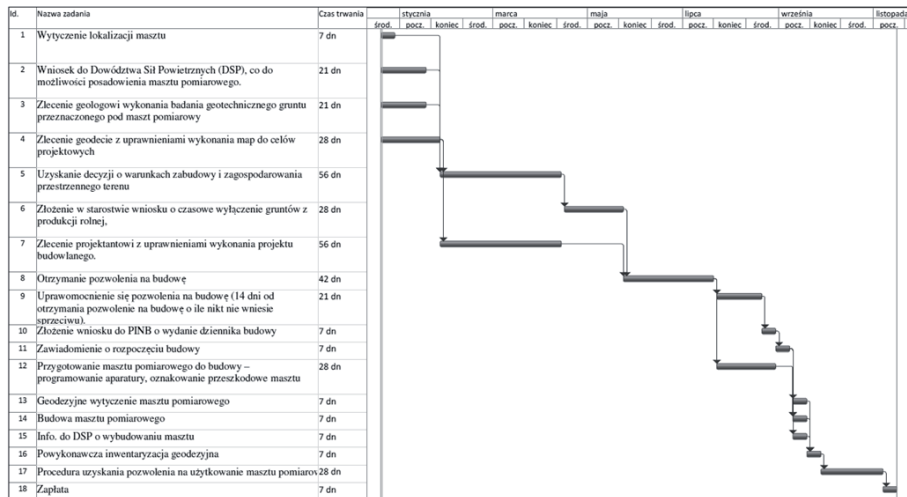
Powyższa metoda została przebadana na przykładzie rzeczywistego przedsięwzięcia polegającego na przyjęciu zlecenia budowy masztu meteorologicznego do pomiaru parametrów wiatru, w którego zakres wchodzi łącznie 18 czynności. Dla każdej czynności zdefiniowane zostały rejestry realizacji liczące po 30 pozycji.

Na rysunku 3 przedstawiono harmonogram Gantta badanego przedsięwzięcia.



Rys. 2. Schemat blokowy postępowania metody

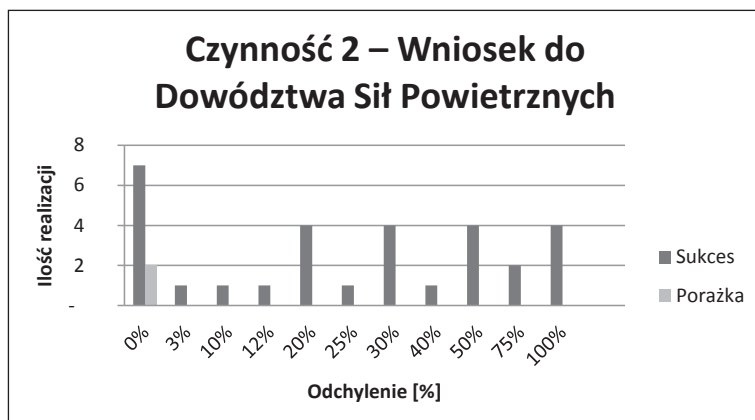
Źródło: opracowanie własne.



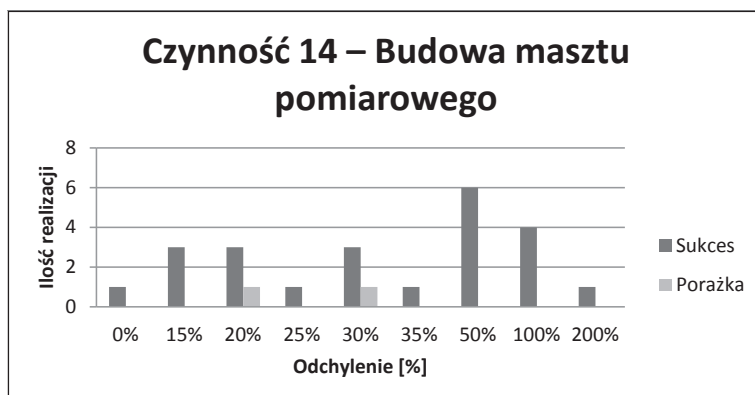
Rys. 3. Diagram Gantta przedstawiający wzorec procesu

Źródło: opracowanie własne.

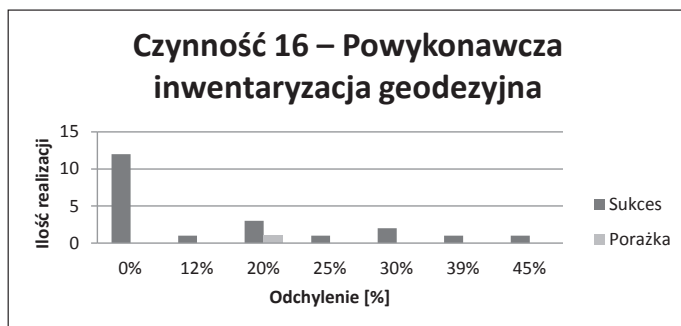
Na rysunkach 4, 5 i 6 przedstawiono graficznie obraz rejestru realizacji dla wybranych trzech czynności. Jak można zauważyć, odchylenia mają charakter dyskretny i w każdym przypadku inny, tzn. obserwowane realizacje w różny sposób zachowują się względem wzorca.



Rys. 4. Wykres incydentów zarejestrowanych dla czynności nr 2  
Źródło: opracowanie własne.



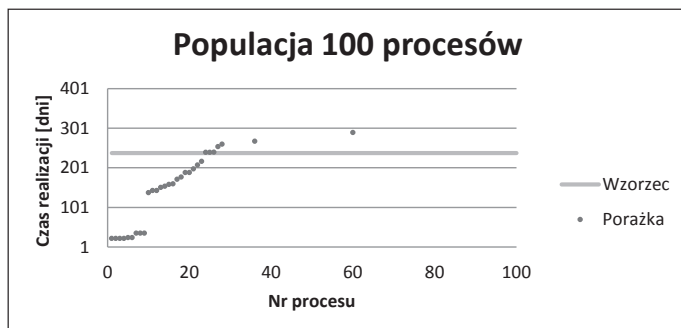
Rys. 5. Wykres incydentów zarejestrowanych dla czynności nr 14  
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Wykres incydentów zarejestrowanych dla czynności nr 16

Źródło: opracowanie własne.

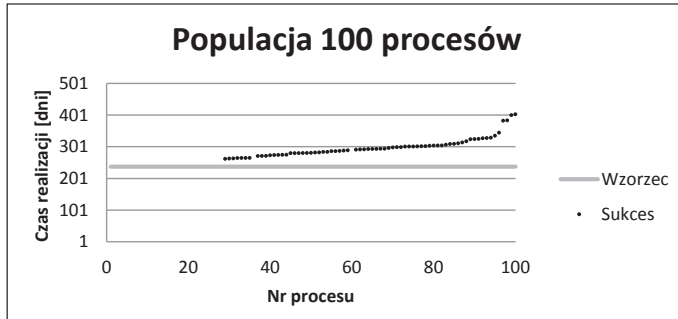
Dla tak zdefiniowanych danych wejściowych wykonano szereg symulacji celem wygenerowania populacji o liczebnościach 200, 500, 1000 procesów. Na rysunkach 7–12 przedstawiono wartość czasów realizacji przedsięwzięcia, dla różnych liczebności wygenerowanych populacji, oddzielnie dla grup procesów zakończonych sukcesem i grup procesów zakończonych porażką.



Rys. 7. Wykres punktowy procesów zakończonych porażką w populacji liczącej 100 elementów

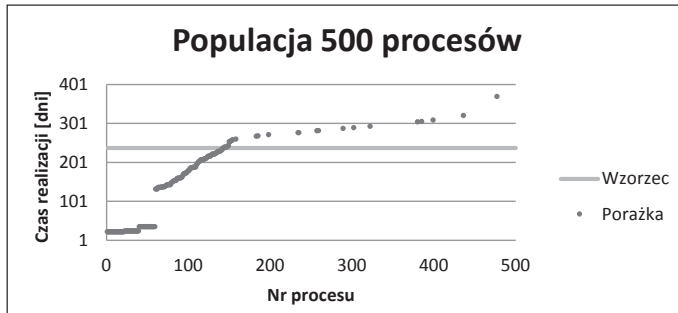
Źródło: opracowanie własne.





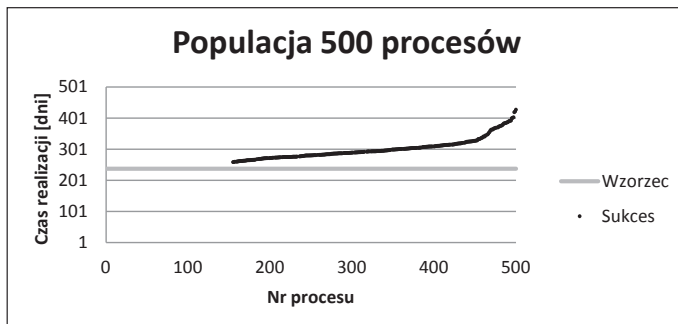
Rys. 8. Wykres punktowy procesów zakończonych sukcesem w populacji liczącej 100 elementów

Źródło: opracowanie własne.



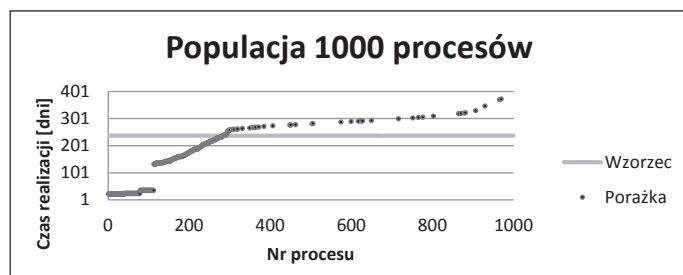
Rys. 9. Wykres punktowy procesów zakończonych porażką w populacji liczącej 500 elementów

Źródło: opracowanie własne.



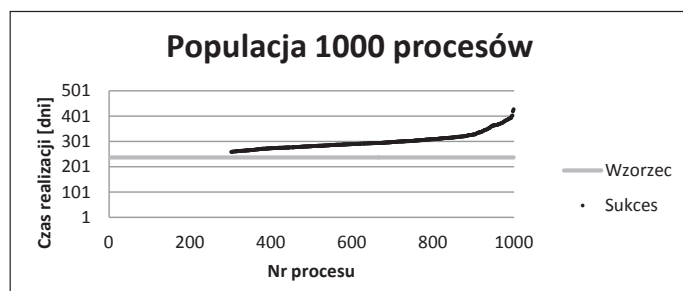
Rys. 10. Wykres punktowy procesów zakończonych sukcesem w populacji liczącej 500 elementów

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 11. Wykres punktowy procesów zakończonych porażką w populacji liczącej 1000 elementów

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 12. Wykres punktowy procesów zakończonych sukcesem w populacji liczącej 1000 elementów

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie obserwacji przebiegu wykresów na rysunkach 7–12 można wyciągnąć następujące istotne wnioski charakteryzujące analizowane przedsięwzięcie i ryzyka związane z czasem ich realizacji:

1. Proces może być zakończony z sukcesem wyłącznie z czasem realizacji  $\geq$  czasowi wzorcowemu.
2. Proces może zakończyć się porażką z czasem realizacji zarówno krótszym, jak i dłuższym od czasu wzorcowego.
3. Prawdopodobieństwo zakończenia procesu zgodnie ze wzorcem jest bliskie zeru (co zostanie wykazane w dalszej części artykułu).

W tabeli 1 przedstawiono charakterystyczne cechy wynikające z przeprowadzonych symulacji, tzn. procentowy udział w populacji (w odniesieniu do wielkości populacji liczącej odpowiednio 100, 500 i 1000 procesów):

- procesów zakończonych sukcesem,
- procesów zakończonych porażką,
- procesów zakończonych porażką przed czasem wzorcowym,
- procesów zakończonych porażką po czasie wzorcowym,
- udział procesów o czasie zgodnym z czasem wzorcowym,
- najdłuższy czas realizacji zakończony sukcesem,
- najdłuższy czas realizacji zakończony porażką,
- najkrótszy czas realizacji zakończony sukcesem,
- najkrótszy czas realizacji zakończony porażką.

Tabela 1

## Parametry charakterystyczne dla analizy ryzyka opóźnienia

Parametr	Liczebność populacji		
	100	500	1000
Sukces	70%	64%	64%
Porażka łącznie	30%	34%	34%
Porażka przed czasem wzorcowym	23%	28%	28,30%
Porażka po czasie wzorcowym	7%	6%	5,70%
Realizacje zgodne ze wzorcem	0,00%	0,20%	0,10%
Najdłuższa realizacja z sukcesem [dni]	403,75	428,17	428,17
Najdłuższa realizacja z porażką [dni]	290,4	370,4	373,40
Najkrótsza realizacja z sukcesem [dni]	263	259,7	259,70
Najkrótsza realizacja z porażką [dni]	23,1	23,1	23,10

Źródło: opracowanie własne.

Jak można zauważyć na podstawie powyższych wyników, populacja 500 i 1000 procesów charakteryzują się tymi samymi wielkościami dla zmiennych „sukces” i „porażka łącznie”. W przypadku pozostałych parametrów wartości te są bardzo do siebie zbliżone. Kluczowy wniosek z przeprowadzonej analizy jest taki, że badane przedsięwzięcie jest wybitnie podatne na ryzyko opóźnień, ponieważ realizacje zgodne ze wzorcem mają śladową reprezentację w populacji. Ponadto można zauważyć, że przedsięwzięcie podatne jest na porażkę z prawdopodobieństwem około 35%.

W celu zbadania stabilności metody wykonano badanie dla populacji liczącej 100, 500 i 1000 procesów, powtarzając je w 10 próbach. Dla każdej próby wyznaczono takie wielkości, jak średnia arytmetyczna, mediana i odchylenie standardowe. Następnie wyznaczono odchylenie standardowe tych wielkości na podstawie wyników z 10 prób. W poniższej tabeli przedstawiono wyniki badań.

Na podstawie powyższych wyników można stwierdzić wysoką powtarzalność stosowanej metody. Dodatkowo zbieżność wyników kolejnych prób wzrasta w miarę zwiększania liczebności generowanej populacji.

Tabela 2

Wartości odchyłeń statystycznych parametrów analizy statystycznej w zależności od wielkości serii

Wielkość serii	Liczba prób	Średnia arytmetyczna			Odchylenie standardowe		
		Średnia [dni]	Mediana [dni]	Odchylenie standardowe [dni]	Średnia [dni]	Mediana [dni]	Odchylenie standardowe [dni]
100	10	251,06	280,23	91,39	6,79	5,09	5,91
500	10	249,57	280,63	91,41	2,2	1,23	4,33
1000	10	249,02	280,16	90,75	3,21	1,6	3,5
					Średnia [%]	Mediana [%]	Odchylenie standardowe [%]
100	10				2,70%	1,82%	6,47%
500	10				0,88%	0,44%	4,74%
1000	10				1,29%	0,57%	3,86%

Źródło: opracowanie własne.

## Podsumowanie

Obserwacja wyników symulacji pozwala na uzyskanie nieosiągalnego do tej pory zbioru informacji dotyczących analizy ryzyka inwestycyjnego. Możliwe do pozyskania informacje mają bardzo istotne praktyczne zastosowanie w procesie wspierania decyzji menedżerskich. Zgodnie z wyjaśnieniami przedstawionymi w artykule, analiza ta znajduje zastosowanie w przypadku

przedsięwzięć powielarnych, a więc takich, dla których można skodyfikować występujące czynności i procesy i ustalić dla nich wzorzec rozumiany jako „idealistyczny” wariant wykonania.

Bazując na tym założeniu, można stwierdzić następujące korzyści z zastosowania metody:

1. Parytet sukcesów do porażek jest mniej więcej na poziomie 2/3 do 1/3. Dla przykładu, podmiot który postawił sobie za cel zrealizowanie 20 procesów zakończonych sukcesem, powinien uwzględnić rozpoczęcie 30 procesów.
2. Spośród populacji procesów zakończonych sukcesem, wyznaczono wynik dla procesu reprezentującego 50% populacji na tle całej wygenerowanej populacji. Dla tak wyznaczonego procesu określono czas realizacji na 315,4 dnia. Bazując na takiej informacji, menedżer, chcąc aby przynajmniej co drugi proces zakończył się nie później niż w wyznaczonym terminie, powinien rozpocząć ich realizację nie 238 dni (jak wskazuje na to wzorzec), lecz 315,4 dnia przed wyznaczonym terminem.
3. Możliwe jest wyznaczenie prawdopodobieństwa sukcesu i porażki na dowolnym etapie realizacji procesu. Dla przykładu można wyznaczyć prawdopodobieństwo sukcesu i porażki w sytuacji, gdy proces jest w trakcie realizacji i przekroczył czas wzorcowy. Wtedy z populacji wykluczane są wyniki procesów zakończonych przed 238. dniem. I tak na przykładzie populacji 1000 procesów, liczebność populacji zmniejsza się do ilości 697 populacji, co wciąż stanowi reprezentatywną ilość, w tym 57 procesów zakończyło się porażką a 640 zakończyło się sukcesem. Na podstawie takich informacji można wyliczyć, że prawdopodobieństwo zakończenia procesu z sukcesem, gdy ten przebrnął już przez wzorcowe 238 dni, wzrasta do 91,8%, a prawdopodobieństwo porażki spada do poziomu 8,2%. Menedżer uzyskuje wtedy informację, że prawdopodobieństwo porażki na tym etapie jest mniejsze niż 1/10, czyli nie więcej niż 1 na 10 procesów może zakończyć się porażką.

Jak można zaobserwować na powyższych przykładach, prezentowana metoda pozwala na przeprowadzenie szeregu interpretacji wyników, które mają istotne zastosowanie w decyzjach strategicznych, typu „ustalenie dodatkowego marginesu bezpieczeństwa podczas rozpoczynania inwestycji (np. alokacja dodatkowych zasobów) w celu zapewnienia, że zostanie ona ukończona z pożądanym wynikiem”.

Można zatem stwierdzić, że proponowana metoda ilościowej analizy ryzyka opóźnienia realizacji procesów powielarnych, z wykorzystaniem algorytmów stochastycznych, stanowi z punktu widzenia menedżerów atrakcyjne narzędzie na tle obecnie znanych metod analizy ryzyka, ponieważ wykorzystując jedynie uproszczone modelowanie problemu, pozwala uzyskać odpowiedzi na istotne pytania dotyczące ryzyka związanego z działalnością inwestycyjną przedsiębiorstwa.

## Literatura

1. Balcerek A., Kwaśnicki W., *Metody symulacyjne w badaniu organizacji i w dydaktyce menedżerskiej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
2. Buslenko N.P., Golenko D.I., *Metoda Monte Carlo*, PWN, Warszawa 1967.
3. L'Ecuyer P., Lemieux C., *Recent Advances in Randomized Quasi-Monte Carlo Methods*, Kluwer Academic Publishers, Boston 2002.
4. Halton J.H., *Sequential Monte Carlo Techniques for the Solution*, Journal of Scientific Computing, 1994.
5. Koronacki J., Mielniczuk J., *Statystyka dla studentów kierunków technicznych i przyrodniczych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2001.
6. Jajuga K., Jajuga T., *Inwestycje. Instrumenty finansowe, ryzyko finansowe, inżynieria finansowa*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
7. Kryszwicki W. i in., *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach 2*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
8. Łada M., Kozakiewicz A., *Rachunkowość zarządcza i controlling projektów*, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa 2007.
9. Rogowski W., *Rachunek efektywności inwestycji*, Wolters Kluwer Polska, Warszawa 2008.
10. Sobczyk M., *Statystyka – aspekty praktyczne i teoretyczne*, Wydawnictwo UMCS, Lublin 2006.
11. Twardochleb M., *Metody modelowania statystycznego a optymalizacja funkcji wielu zmiennych z ograniczeniami*, Materiały VII Naukowej Sesji Informatyki, Politechnika Szczecińska, Szczecin 2002.
12. Twardochleb M., Włoch P., *Wspomaganie procesu podejmowania decyzji dla modelu zagadnienia inwestycyjnego z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo*, w: *Technologia informacyjna. Wybrane problemy i zastosowania*, Uniwersytet Szczeciński, Szczecin 2010.

13. Twardochleb M., Włoch P., *Metoda mapowania ryzyk powielarnych przedsięwzięć biznesowych dla systemu wspomagania decyzji menadżerskich*, „Metody Informatyki Stosowanej” nr 4/2011 (29), Polska Akademia Nauk, Komisja Informatyki, Szczecin 2011.
14. Ministerstwo Skarbu Jej Królewskiej Mości – *Pomarańczowa Księga. Zarządzanie ryzykiem – zasady i koncepcje* (tłum. z: *The Orange Book, Management of Risk – Principles and Concepts – HM Treasury*), październik 2004.

## **METHOD FOR RISK ANALYSIS OF THE BUSINESS PROCESSES DELAY**

### **Summary**

In this paper the possibility of using innovative methods for risk analysis of the business processes delay was presented. The proposed approach uses Monte Carlo simulation to estimate the possible deviations from the (standard) timing of the investment. It was exemplified on the construction process of weather measuring mast. It has been shown that the proposed approach may be particularly useful for the managerial staff, and may be part of investment decision support system.

*Translated by Michał Twardochleb*