

# PROPOZYCJA METODYKI OCENY RYZYKA CZASU I KOSZTU REALIZACJI PRZEDSIĘWZIĘĆ BUDOWLANYCH

Warunki realizacji przedsięwzięć budowlanych są specyficzne i znacząco odbiegają od tych, które występują przy wykonywaniu projektów w innych obszarach gospodarki. Długi czas realizacji inwestycji budowlanej, zmienność warunków otoczenia, wpływ warunków atmosferycznych, duża materiałochłonność, indywidualność opracowań projektowych, wewnętrzne i zewnętrzne problemy organizacyjne sprawiają, że przedsięwzięcia budowlane charakteryzują się nadzwyczajnie wysokim poziomem ryzyka. Ze względu na specyfikę budownictwa analiza i ocena ryzyka projektów budowlanych (identyfikacja dużej liczby czynników ryzyka, oszacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia i ocena wpływu zagrożeń) jest złożona i w dużym stopniu skomplikowana.

W artykule przedstawiono metodykę oceny ryzyka czasu i kosztu przedsięwzięcia budowlanego za pomocą symulacji komputerowej Monte Carlo. Klasyczne podejście do oszacowania ryzyka związanego z kosztem inwestycji rozszerzono o uwzględnienie zarówno kosztów bezpośrednich, jak i pośrednich – zależnych od czasu realizacji. To rozwinięcie pozwala na uwzględnienie kolejnych istotnych czynników, tym samym zwiększając precyzję oceny ryzyka przedsięwzięć budowlanych.

## WSTĘP

Większość metod analizy ryzyka przedsięwzięć budowlanych uwzględnia koszt bezpośredni i pośredni realizacji poszczególnych procesów bez przeprowadzenia analizy wpływu czasu na wielkość kosztów pośrednich. Może to prowadzić do błędnego uwzględnienia drugiego co do wielkości składnika całości kosztów, stanowiącego najczęściej powyżej 20% kosztów ogólnych budowy [1]. Bez wątpienia, bardziej precyzyjne uwzględnienie kosztów pośrednich w analizie sieciowej ryzyka jest złożonym zagadnieniem i trudno jest odnaleźć w literaturze przykłady takich metod. Z tego powodu w artykule podjęto próbę opracowania i przedstawienia metodyki oceny ryzyka przedsięwzięć budowlanych ze szczegółowym uwzględnieniem kosztów pośrednich i bezpośrednich produkcji budowlanej.

## 1. ZARZĄDZANIE RYZYKIEM

„Ryzyko ( $R$ ) jest miarą prawdopodobieństwa i konsekwencji nieosiągnięcia zdefiniowanego celu” [2]. Ta definicja bezpośrednio wskazuje na dwa czynniki determinujące wartość ryzyka:

- $L$  – prawdopodobieństwo wystąpienia pewnego zdarzenia,
- $I$  – wpływ zdarzenia na rezultat realizowanego przedsięwzięcia.

Ryzyko jest zatem funkcją tych czynników, co można zapisać następująco [2]:

$$R = f(L, I) \quad (1)$$

Źródłem ryzyka jest brak wiedzy o przyszłych zdarzeniach oraz przypadkowość ( $H$ ) ich występowania. Wpływ przyszłych, niepożądanych wypadków może zostać zneutralizowany poprzez zastosowanie odpowiednich środków zaradczych ( $S$ ). Czynniki te determinują wielkość ryzyka, zgodnie z następującą zależnością [2]:

$$R = f(H, S) \quad (2)$$

Odpowiednio wczesne zapobieganie niepożądanym wydarzeniom, bądź zmniejszanie ich szkodliwego wpływu na realizację celów projektu jest niezwykle istotne, ponieważ zarządzanie ryzykiem powinno mieć charakter proaktywny, a nie reaktywny [2].

Do podstawowych funkcji zarządzania ryzykiem zalicza się [3]:

- zwiększenie prawdopodobieństwa i wpływu pozytywnych zdarzeń (szans),
- zmniejszenie prawdopodobieństwa i wpływu negatywnych zdarzeń (zagrożeń).

W zarządzaniu ryzykiem można wyróżnić następujące etapy [4]:

- planowanie ryzyka,
- ocena ryzyka,
- identyfikacja źródeł ryzyka,
- analiza ryzyka,
- reakcja na ryzyko,
- monitorowanie ryzyka.

## 2. METODY ANALIZY I OCENY RYZYKA

Zasadniczym etapem zarządzania ryzykiem jest analiza ryzyka, której celem jest zmierzenie wpływu zidentyfikowanych zagrożeń na projekt [5]. Można wyróżnić dwie podstawowe grupy metod analizy ryzyka: procedury jakościowe i ilościowe [6]. Porównanie tych dwóch kategorii procedur zestawiono w Tabeli 1.

Tab. 1. Porównanie pomiędzy podejściem jakościowym i ilościowym w analizie ryzyka [7]

Metody ilościowe	Metody jakościowe
Skoncentrowane na projekcie	Skoncentrowane na zagrożeniach
Oszacowanie czasu, bądź kosztu z wykorzystaniem teorii prawdopodobieństwa	Subiektywne oszacowanie wpływu i prawdopodobieństwa
Czasochłonne	Szybkie i proste w aplikacji
Mogą wymagać specjalistycznego oprogramowania	Nie wymagają specjalistycznego oprogramowania

Jednym z najpowszechniej stosowanych sposobów ilościowej wyceny ryzyka jest metoda symulacji komputerowej Monte Carlo [8], [9]. Istotną zaletą tej metody jest możliwość budowania skomplikowanych modeli z uwzględnieniem znacznej złożoności opisywanych zjawisk czy procesów [10]. W metodzie Monte Carlo nie rozpatruje się problemu osobno dla różnych kryteriów, lecz w sposób holistyczny, z uwzględnieniem wzajemnych korelacji i współzależności. Metoda ta jest prosta w aplikacji i nie wymaga stosowania specjalistycznego oprogramowania – obliczenia można przeprowadzić w zwykłym arkuszu kalkulacyjnym. Zalety tej techniki sprawiły, że jest często wykorzystywana do oceny ryzyka w inżynierii przedsięwzięć budowlanych [11], [12], [13], [14].

### 3. ZARZĄDZANIE RYZYKIEM W INŻYNIERII PRZEDSIĘWZIĘĆ BUDOWLANYCH

„Budownictwo jest dziedziną techniki, w której realizacja poszczególnych procesów technologicznych przebiega w specyficznych warunkach, w porównaniu do wykonywania podobnych lub analogicznych procesów występujących w innych dziedzinach gospodarki. [...] Specyficzne warunki realizacji procesów budowlanych powodują, że realizacja całej budowy (przedsięwzięcia budowlanego) odbiega w sposób zasadniczy od produkcji o charakterze przemysłowym” [15]. Na tle innych sektorów gospodarki, głównymi właściwościami wyróżniającymi budownictwo są scharakteryzowane poniżej.

W budownictwie opracowania projektowe są tworzone indywidualnie. Dodatkowo, każdy plac budowy charakteryzuje się własnymi, specyficznymi warunkami takimi jak: warunki gruntowe, wielkość i kształt działki, istniejąca infrastruktura [16]. Pociąga to za sobą zwiększone trudności z ustaleniem rozkładów prawdopodobieństwa wystąpienia czynników ryzyka oraz oceny ich wpływu na realizację budowy.

Warunki atmosferyczne są najczęstszą przyczyną niezależną od uczestników procesu inwestycyjnego powodującą opóźnienia w harmonogramie budowy [17]. Losowy charakter pogody oraz jej znaczący wpływ na projekt sprawia, że ocena ryzyka oraz wdrożenie na jej podstawie adekwatnych środków zaradczych (np. odpornych harmonogramów budowlanych [18], [19]) jest niezbędne.

Proces inwestycyjny w budownictwie jest długookresowy.

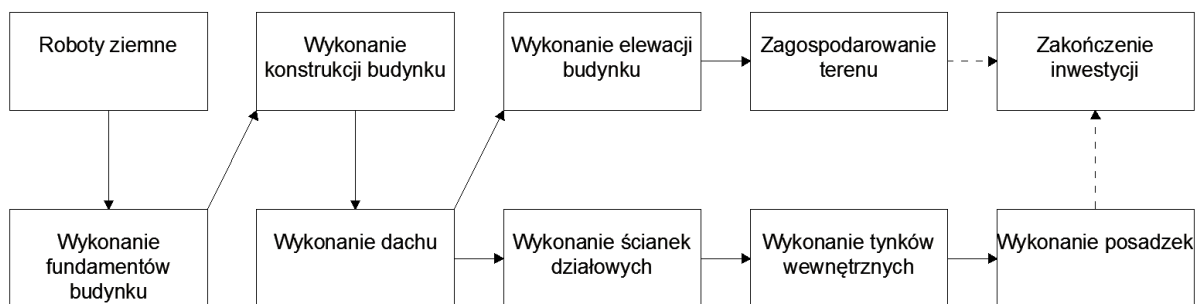
W tym czasie może zmienić się otoczenie przedsięwzięcia: warunki polityczne, ekonomiczne, społeczne, prawne, techniczne [20], [21]. Długi czas realizacji przedsięwzięć budowlanych przekłada się na zwiększoną niepewność towarzyszącą wykonywaniu obiektu budowlanego oraz stopień skomplikowania analizy ryzyka: liczbę czynników ryzyka, trudności z oszacowaniem prawdopodobieństwa ich wystąpienia i wpływu na projekt [21].

Przedsięwzięcia budowlane są kapitałochłonne oraz cechują się dużą złożonością i poziomem skomplikowania prac z różnych branż [15], [16], [20]. Przyczynia się to do konieczności współpracy wielu firm o zróżnicowanych specjalnościach. Ponadto, dobór części kooperantów jest poza wpływem i wiedzą wszystkich uczestników procesu budowy (np. główny wykonawca rzadko ma wpływ na dobór projektanta) [16]. Co więcej, część dostawców ma ograniczony zasięg działania (np. wytwórnie betonu), przez co umiejscowienie placu budowy może skutkować brakiem możliwości dostarczenia produktu przez zaufanego kooperanta i potrzebą współpracy z nową i niesprawdzoną firmą [16].

Synergia powyższych specyficznych właściwości inżynierii budowlanej sprawia, że zarządzanie ryzykiem projektów z tej dziedziny jest znacznie trudniejsze w porównaniu do przedsięwzięć z innych sektorów gospodarki. Oprócz wzrostu stopnia trudności analizy, zwiększa się także niepewność towarzysząca podejmowanymi decyzjom, a co za tym idzie zwielokrotnienie znaczenia i przydatności przeprowadzanej oceny ryzyka.

### 4. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

W literaturze ciężko odnaleźć przykłady analizy ryzyka z uwzględnieniem wpływu czasu na koszt realizacji przedsięwzięcia. Dla zobrazowania możliwości użycia metody Monte Carlo do analizy kosztowej uwzględniającej zmianę wielkości kosztów pośrednich w czasie wykonano przykład obliczeniowy. Metodyka stanowi modyfikację podejścia stosowanego w [4] oraz [11].



Rys. 1. Sieć zależności procesów budowlanych

Tab. 2. Minimalne oraz maksymalne czasy i koszty wykonania poszczególnych procesów

Proces	Minimalny czas wykonania [dni]	Maksymalny czas wykonania [dni]	Minimalny koszt wykonania [PLN]	Maksymalny koszt wykonania [PLN]
Roboty ziemne	3	8	8 000	18 000
Wykonanie fundamentów budynku	5	14	35 000	60 000
Wykonanie konstrukcji budynku	98	145	120 000	180 000
Wykonanie dachu	6	17	45 000	60 000
Wykonanie elewacji budynku	6	15	35 000	45 000
Zagospodarowanie terenu	3	12	45 000	55 000
Wykonanie ścianek działowych	10	21	25 000	33 000
Wykonanie tynków wewnętrznych	6	15	38 000	48 000
Wykonanie posadzek	6	12	12 000	20 000

**Tab. 3.** Czynniki ryzyka, ich rozkłady prawdopodobieństwa i parametry [4]

Czynniki ryzyka	Rozkład prawdopodobieństwa	Parametry rozkładu (a;c;b)
Pogoda	Trójkątny	0; 0,8; 1
Warunki gruntowe	Trójkątny	0; 0,9; 1
Wydajność pracowników	Trójkątny	0; 1; 1
Awarie sprzętu budowlanego	Trójkątny	0; 0,6; 1
Opóźnienia w dostawach materiałów	Trójkątny	0; 0,6; 1

Przedsięwzięcie w przykładzie obejmuje dziewięć procesów budowlanych tworzących sieć zależności. Model sieciowy przedsięwzięcia przedstawiono na rys. 1. W Tabeli 2 znajdują się minimalne oraz maksymalne koszty i czasy wykonania poszczególnych procesów.

Wyłoniono pięć czynników ryzyka wpływających na czas i koszt realizacji przedsięwzięcia [11]. Rodzaj rozkładu prawdopodobieństwa wraz z jego parametrami podano w Tabeli 3. Przykładowy rozkład masy prawdopodobieństwa jednego z czynników ryzyka

(warunków pogodowych) znajduje się na Rysunku 2.

Przeprowadzany przykład ma na celu jedynie prezentację możliwości użycia symulacji do analizy kosztowej przedsięwzięcia budowlanego, dlatego czynniki oddziaływania źródeł ryzyka zostały subiektywnie przyjęte przez autorów, tak aby ich suma dla każdego procesu była równa jeden (Tabela 4 oraz Tabela 5). Niewątpliwie, zagadnienie to powinno zostać poddane dalszej analizie, a wpływ czynników ryzyka na czas i koszt realizacji procesów budowlanych ustalony na podstawie wieloaspektowych badań.

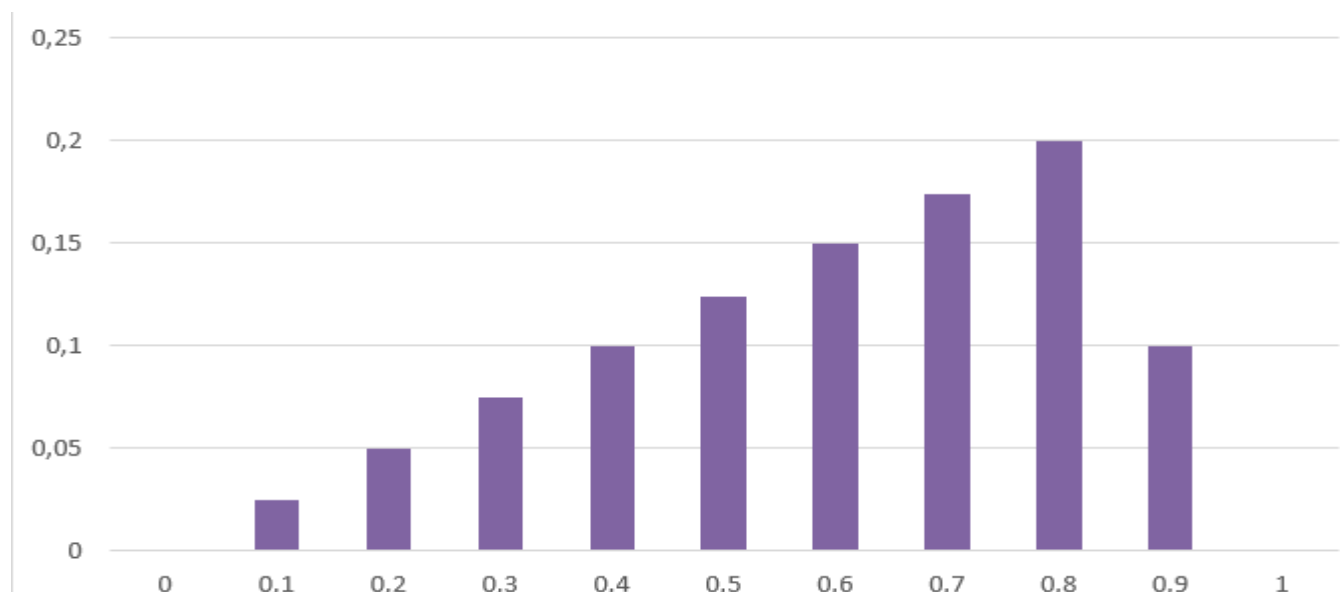
Badania symulacyjne zostały przeprowadzone w programie MS Excel 2013 i polegały na wylosowaniu zestawu pięciu liczb (dla każdego z czynników ryzyka) zgodnie z prawdopodobieństwem podanym w Tabeli 3. Wyłonione liczby zostały przemnożone przez wpływ czynników ryzyka na czas oraz koszt realizacji procesów. Ustalony w ten sposób współczynnik został przemnożony przez różnicę maksymalnego i minimalnego czasu/kosztu. Otrzymana kwota (czas) została dodana do swojej minimalnej wartości.

**Tab. 4.** Ocena istotności wpływu czynników ryzyka na koszt realizacji procesów

Proces/ czynnik ryzyka	Pogoda	Warunki gruntowe	Wydajność pracowników	Awarie sprzętu budowlanego	Opóźnienia w dostawach materiałów
Roboty ziemne	0,35	0,40	0,05	0,20	0,00
Wykonanie fundamentów budynku	0,40	0,20	0,15	0,10	0,15
Wykonanie konstrukcji budynku	0,30	0,00	0,20	0,25	0,25
Wykonanie dachu	0,40	0,00	0,20	0,15	0,25
Wykonanie elewacji budynku	0,35	0,00	0,25	0,10	0,30
Zagospodarowanie terenu	0,00	0,00	0,40	0,25	0,35
Wykonanie ścianek działowych	0,00	0,00	0,25	0,40	0,35
Wykonanie tynków wewnętrznych	0,00	0,00	0,30	0,40	0,30
Wykonanie posadzek	0,35	0,10	0,30	0,20	0,05

**Tab. 5.** Ocena istotności wpływu czynników ryzyka na czas realizacji procesów [4]

Proces/ czynnik ryzyka	Pogoda	Warunki gruntowe	Wydajność pracowników	Awarie sprzętu budowlanego	Opóźnienia w dostawach materiałów
Roboty ziemne	0,40	0,40	0,10	0,10	0,00
Wykonanie fundamentów budynku	0,40	0,20	0,15	0,10	0,15
Wykonanie konstrukcji budynku	0,30	0,00	0,20	0,25	0,25
Wykonanie dachu	0,40	0,00	0,20	0,15	0,25
Wykonanie elewacji budynku	0,35	0,00	0,30	0,05	0,30
Zagospodarowanie terenu	0,00	0,00	0,40	0,25	0,35
Wykonanie ścianek działowych	0,00	0,00	0,40	0,20	0,40
Wykonanie tynków wewnętrznych	0,00	0,00	0,40	0,20	0,4
Wykonanie posadzek	0,35	0,05	0,35	0,20	0,05



**Rys. 2.** Funkcja masy prawdopodobieństwa warunków pogodowych [4]

**Tab. 6.** Miary i wartości charakteryzujące rozkład kosztów zmiennych i całkowitych realizacji przedsięwzięcia

	Koszty zmienne [zł]	Całkowite koszty [zł]
Wartość oczekiwana	1 882 860	2 074 120
Nośnik	1 651 615 – 2 105 195	1 811 500 – 2 324 960
Mediana	1 880 000	2 080 000
Moda	1 880 000	2 060 000
Odchylenie standardowe	76 463	84 926

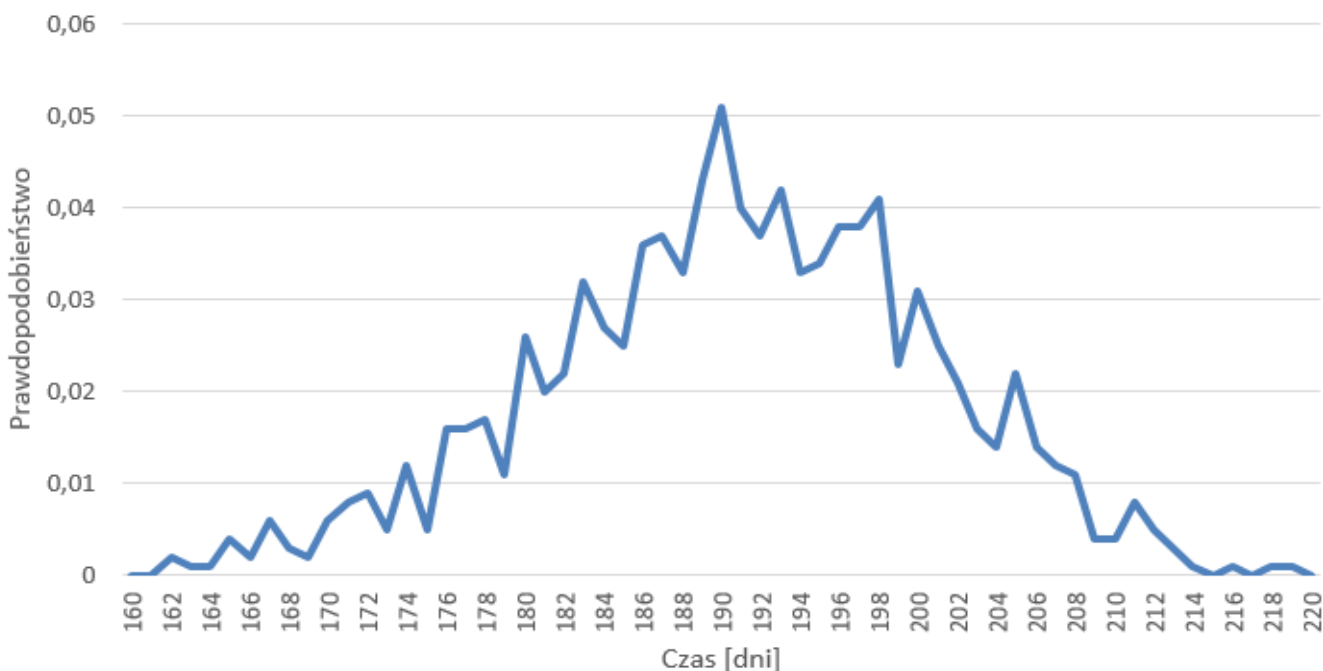
Czas realizacji całego przedsięwzięcia został przemnożony przez dzienny koszt utrzymania budowy (1000 zł) i dodany do sumy kosztów realizacji przedsięwzięcia. Procedura wyboru liczb oraz obliczenia zostały powtórzone 1000 razy.

Miary i wartości charakteryzujące rozkład kosztów zmiennych i całkowitych zestawiono w Tabeli 6, a wykresy obrazujące otrzymane wyniki na rysunkach 3 – 8. Warto zwrócić uwagę, że dla

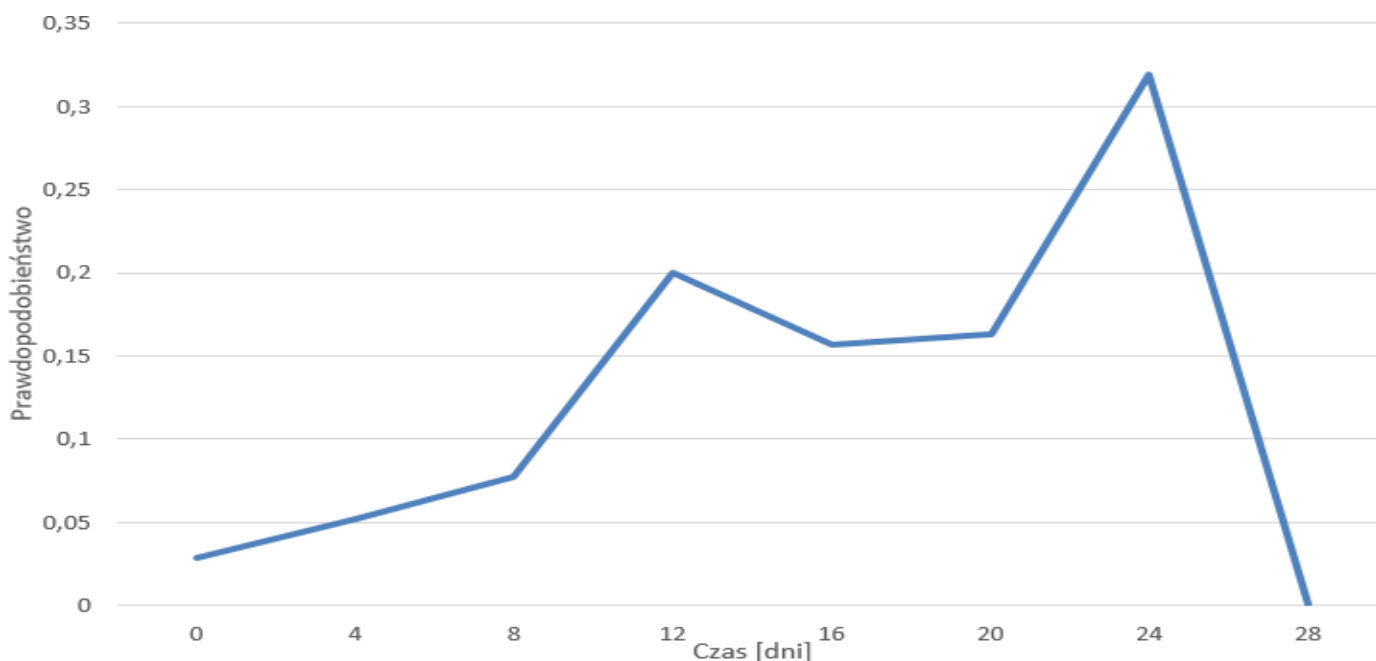
kosztów całkowitych odchylenie standardowe jest większe oraz zakres wartości ma większy zakres niż jest to w przypadku kosztów zmiennych. Jest to spowodowane uwzględnieniem większej liczby parametrów modelu, a więc lepszym odwzorowaniem opisywanego wycinka rzeczywistości. Uwzględnienie jedynie kosztów stałych pozwoliłoby na uzyskanie wyników o mniejszej zmienności, lecz model byłby w gorszym stopniu dostosowany do rzeczywistości.

## PODSUMOWANIE

Nieustanny rozwój oprogramowania komputerowego pozwala na budowanie coraz dokładniejszych modeli lepiej odzwierciedlających rozpatrywane problemy. Uwzględnienie w ocenie ryzyka modelu sieciowego zarówno kosztów zależnych jak i niezależnych od czasu realizacji przedsięwzięcia przybliży rozpatrywane odwzoro-



**Rys. 3.** Rozkład prawdopodobieństwa czasu realizacji przedsięwzięcia



**Rys. 4.** Funkcja gęstości wydłużenia czasu realizacji przedsięwzięcia ze względu na warunki pogodowe

wanie do realnego problemu. Bardziej precyzyjne kalkulacje ryzyka zwiększają pewność obliczeń i pozwalają na zmniejszenie niepewności towarzyszącej realizacji inwestycji.

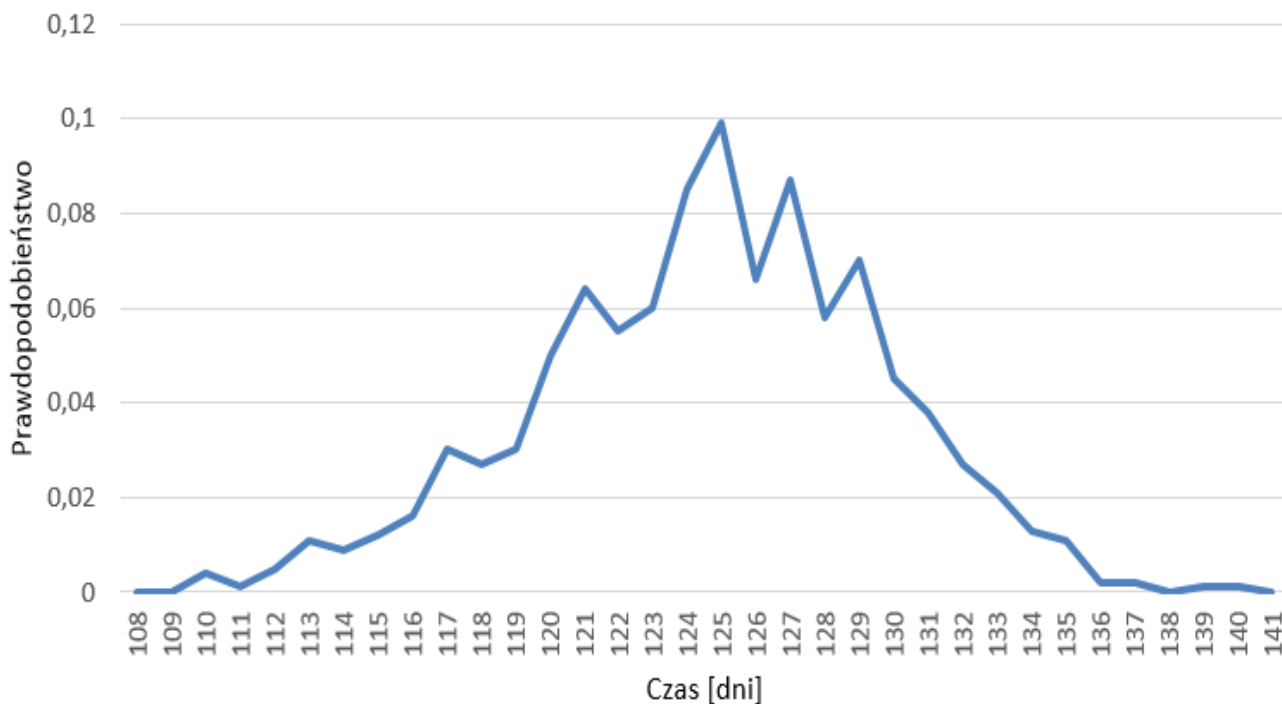
Wyniki prac były finansowane z środków statutowych przyznanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (S/63/2016).

## BIBLIOGRAFIA

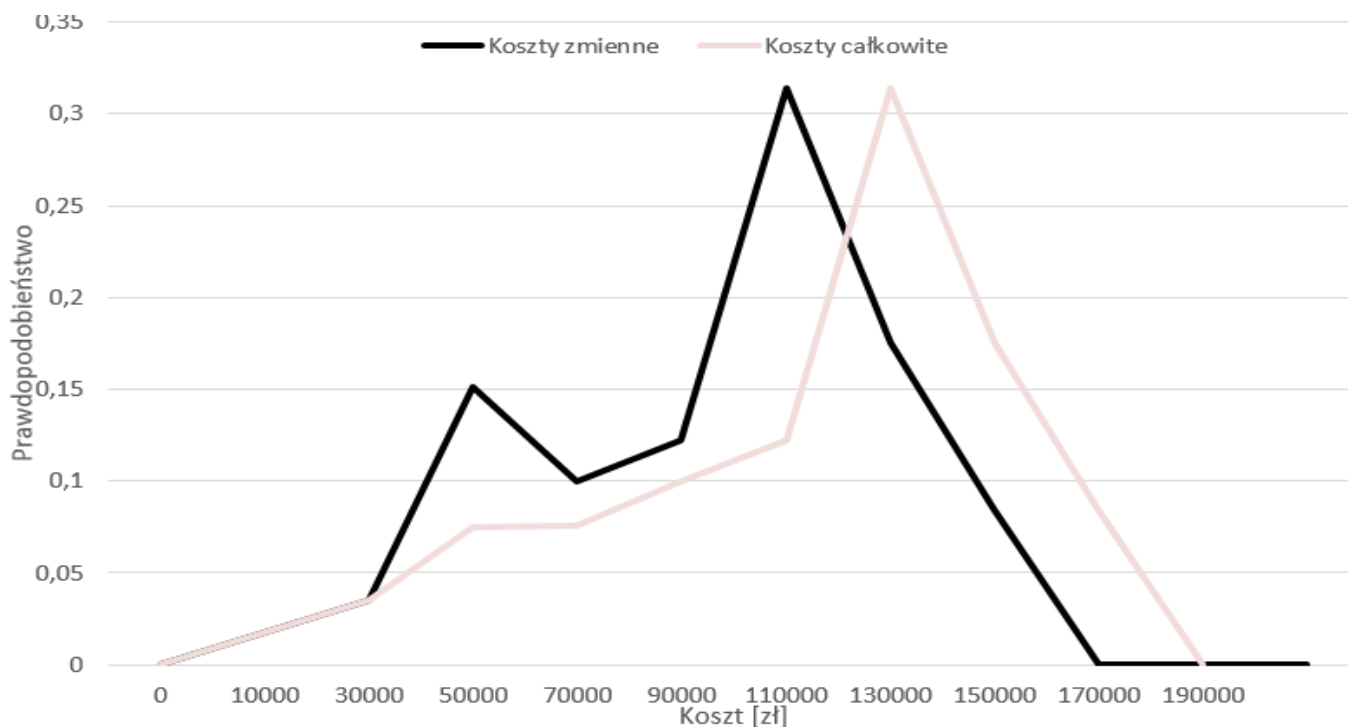
1. Kacprzyk B., Kosztorysowanie obiektów i robót budowlanych. Wydawnictwo Polcen, Warszawa 2010.
2. Kerzner H., Project Management. A Systems Approach to Plan-

ning, Scheduling and Controlling. John Wiley & Sons, USA 2003, 651-680.

3. Project Risk Management. Project Skills. Team FME 2014.
4. Biruk S., Bucoń R., Czarnigowska A., Jaśkowski P., Rogalska M., Tomczak M., Construction project management with regard to the environmental aspects, Lublin 2016, 128-132.
5. Uher T. E., Programming and scheduling techniques. University of New South Wales Press, Australia 2003.
6. Van Westen C. J., Alkema D., Damen M. C. J., Kerle N., Kingma N. C., Multi-Hazard Risk Assessment. Distance education



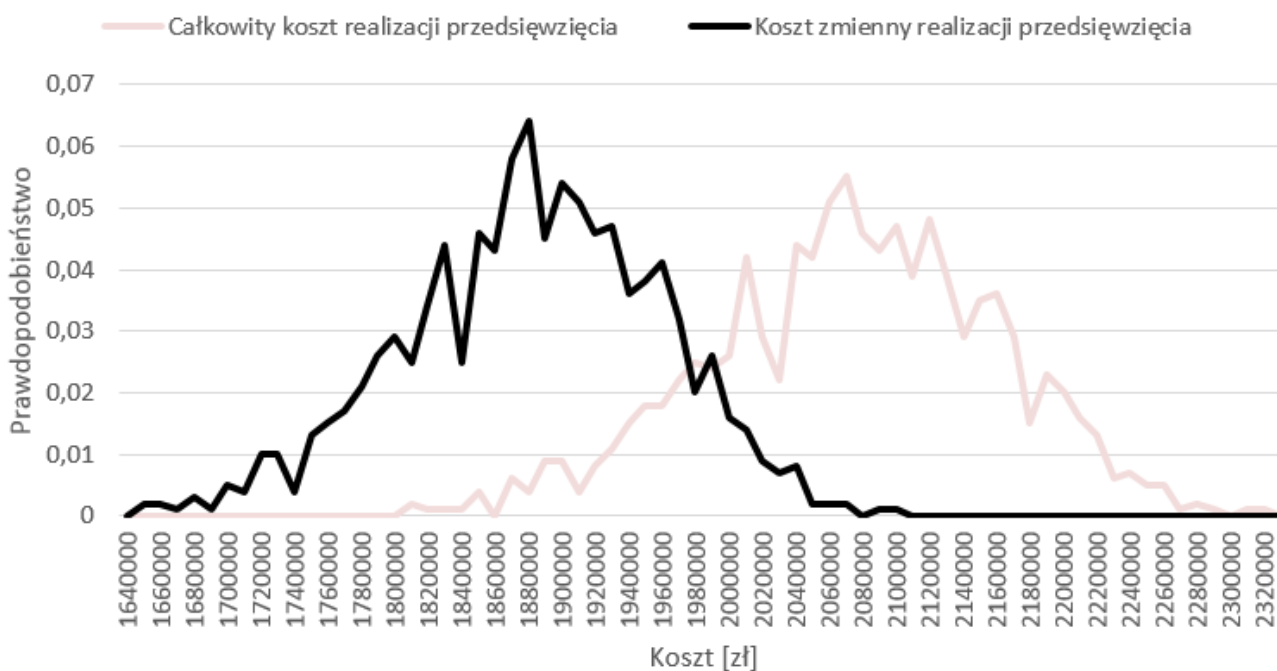
Rys. 5. Funkcja gęstości prawdopodobieństwa czasu wykonania konstrukcji budynku



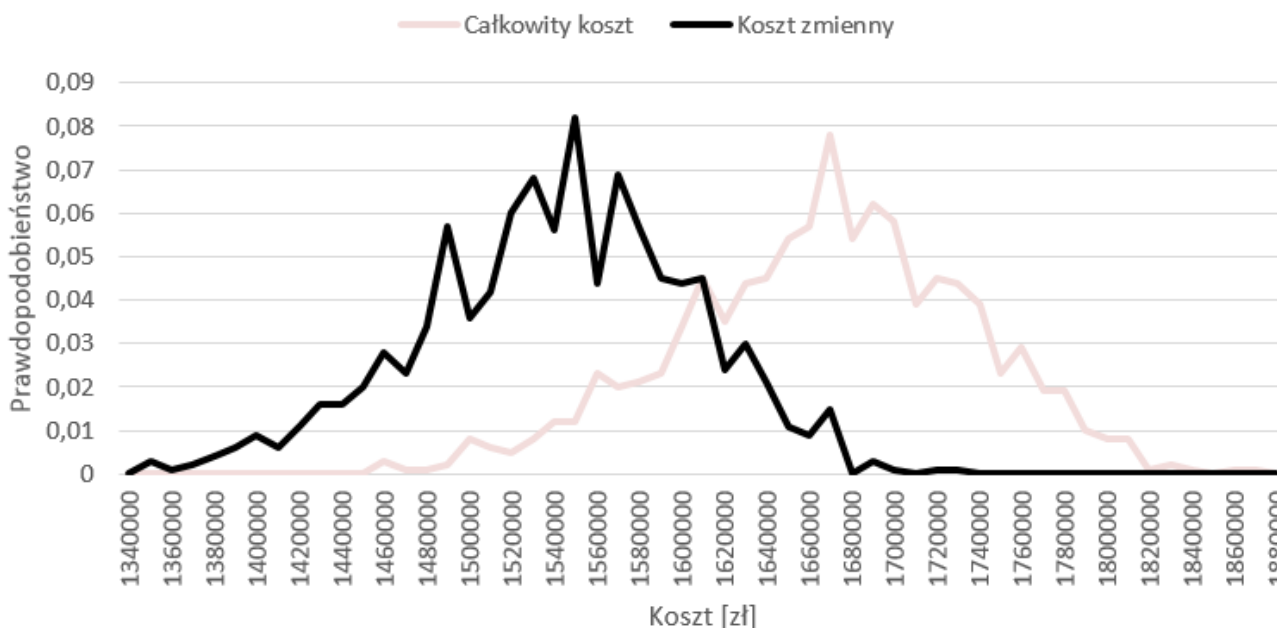
Rys. 6. Funkcja gęstości prawdopodobieństwa wpływu wydajności pracowników na koszty zmienne i całkowite realizacji przedsięwzięcia

course, Twente 2011.

7. Qualitative Risk Analysis vs Quantitative Risk Analysis (PMP CONCEPT 2), [dostęp: 21.10.2015] www.passionatepm.com 2011.
8. Dziadosz A., *Przegląd wybranych metod wspomagających analizę ryzyka przedsięwzięć budowlanych*. Przegląd Budowlany 7-8/2010, 76-80.
9. Andracka D., *Modelowanie pracy oczyszczalni ścieków z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo*. Inżynieria Ekologiczna 24/2011, 7-16.
10. Pawlak M., *Metody analizy ryzyka w ocenie efektywności projektów inwestycyjnych*. Studia i prace wydziału nauk ekonomicznych i zarządzania 30/2012, 207-217.
11. Dawood N., *Estimating project and activity duration: a risk management approach using network analysis*. Construction Management and Economics 16 (1998), 41-48.
12. Będkowski M., Pownuk A., *Szacowanie ryzyka kosztowego procesu budowlanego z wykorzystaniem zmiennej losowej o parametrach rozmytych w oparciu o metodę Monte Carlo*. Budownictwo polskie w rok po wstąpieniu do Unii Europejskiej, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2005, s. 12–21.
13. Skorupka D., *Metoda oceny ryzyka realizacji przedsięwzięć inżyniersko-budowlanych*. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych 3(145) (2007), 79-88.



Rys. 7. Funkcja gęstości prawdopodobieństwa kosztów realizacji przedsięwzięcia



Rys. 8. Funkcja gęstości prawdopodobieństwa kosztów wykonania konstrukcji budynku

14. Peleskei C. A., Dorca V., Munteanu R. A., Munteanu R., *Risk Consideration and Cost Estimation in Construction Projects Using Monte Carlo Simulation*. Management 10 (2), 163-176.
15. Jaworski K. M., *Metodologia projektowania realizacji budowy*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009, 22-24.
16. Tomczak M., *Problemy w logistyce małych i średnich przedsiębiorstw budowlanych*. TTS Technika Transportu Szynowego nr 10/2013, 637-645, CD-ROM.
17. Al-Momani A. H., *Construction delay: a quantitative analysis*. International Journal of Project Management 18 (2000), 51-59.
18. Jaśkowski P., Biruk S., *The Method for Improving Stability of Construction Project Schedules through Buffer Allocation*. Technological and Economic Development of Economy 17 (3), 429-444.
19. Jaśkowki P., *Metodology for enhancing reliability of predictive project schedules in construction*. Eksploatacja i niezawodność - Maintenance and Reliability 17 (3), 470-479.
20. Zavadskas E. K., Turskis Z., Tamosaitiene J., *Risk Assessment of construction projects*. Journal of Engineering and Management 16 (1) (2010), 33-46.
21. Jaśkowski P., Biruk S., *Analiza czynników ryzyka czasu realizacji przedsięwzięć budowlanych*. Czasopismo Techniczne. Budownictwo 107 (1-B), 157-166.

### Methodology proposal for cost and time risk assessment of construction project

*Execution conditions of construction projects are specific and significantly different from circumstances of other economy areas. Long project durations, variability of ambient circumstances, influence of weather conditions, high material consumption, architectural project individuality, internal and external organizational difficulties result in exceptionally high risk levels. In connection with particular construction properties, risk analysis and assessment of construction project (identification a lot of risk factors, probability evaluation of occurring events and assessment threat impact) is complex and intricate.*

*The paper presents a methodology for cost and time risk assessment of construction project based on Monte Carlo method. A basic approach to risk (connected with cost evaluation) was extended to account for direct and indirect costs, which are dependent on project duration. This enhancement allows the planner to consider further, vital factors, thus increasing accuracy of risk assessment for construction projects.*

Autorzy:

mgr inż. **Michał Tomczak** – Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, m.tomczak@pollub.pl

dr inż. **Robert Bucoń** – Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, r.bucon@pollub.