

DOI: 10.37105/enex.2021.1.01

ENGINEERING EXPERT

RZECZOZNAWCA



Analiza poprawności doboru współczynników ryzyka dla niestabilnych inwestycji budowlanych w warunkach probabilistycznych

Anna STARCZYK – KOŁBYK ¹ (ORCID ID: 0000-0002-5448-7366)

¹ Wojskowa Akademia Techniczna, Zakład Inżynierii i Infrastruktury Wojskowej, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Polska
Autor do korespondencji: anna.starczyk@wat.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono problem poprawności doboru współczynników ryzyka dla niestabilnych inwestycji budowlanych, szczególnie tych wielokrotnie aneksowanych, narażonych na działanie nieprzewidzianych zdarzeń losowych (zakłóceń budowlanych) [4]. Dokonano analizy modelu sieciowego inwestycji oraz miejsca wystąpienia zakłócenia (podpisanie aneksu do umowy). Przeprowadzono badania kontyngencji kosztów oraz dokonano szacowania współczynników ryzyka. W kolejnym kroku wykonano analizę porównawczą kosztów inwestycji szacowanych za pomocą metody EVM [5] na tle trzech wariantów analitycznych badanej inwestycji w warunkach ryzyka (warunkach pomyślnych, przeciętnych i niepomyślnych). Omówiono otrzymane wyniki.

Słowa kluczowe: dobór współczynników ryzyka, niestabilna inwestycja budowlana, EVM.

Oficjalną wersją publikacji jest wersja anglojęzyczna – posiada DOI. Niniejszy plik jest polskojęzyczną wersją.

Zacytuj ten artykuł w następujący sposób:

Starczyk – Kołbyk A., Correct selection of risk factors for unstable construction projects under probabilistic conditions: an analysis, Engineering Expert, p. 1-8, No. 1, 2021, DOI: 10.37105/enex.2021.1.01

1. Wprowadzenie

Inwestycje budowlane cechuje dość duża złożoność, która wynika ze skali i charakteru robót oraz specyfiki realizacji inwestycji. Mają one sztywno określony termin odbioru oraz oddania obiektu do użytku, a operacje składowe są bardzo wrażliwe na pojawiające się zdarzenia losowe, m.in. na warunki atmosferyczne].

Inwestycje niestabilne oznaczają budowę, która w wyniku losowych wymuszeń i zakłóceń robót budowlanych nie może być realizowana zgodnie z planem (wydłużenie czasu i przekroczenie kosztów). Konieczna jest dodatkowa analiza operatywna budowy oraz weryfikacja ostatecznego terminu i całkowitych kosztów przedsięwzięcia budowlanego.

Takiego rodzaju inwestycji dotyczą przeprowadzone w niniejszej artykule badania oraz analizy, zarówno czasowe jak i kosztowe, które ulegają niekorzystnym zmianom poprzez losowe wymuszenia oraz zakłócenia poszczególnych robót. Zarządzanie takimi przedsięwzięciami budowlanymi powinno umożliwić optymalizację wykorzystania zasobów i nakładów, jakie zostały przeznaczone na jego realizację. Zarządzanie to odnosić się powinno do planowania i koordynowania działań operacyjnych przedsięwzięcia i dotyczyć inicjowania, planowania, monitorowania i kontroli oraz oceny wyników tych działań odniesionych do wszystkich faz i etapów inwestycji

Kontrakt budowlany, który został poddany analizie, dotyczył budowy budynku mieszkalnego. Planowany koszt realizacji inwestycji wynosił: 6 219 817,87 zł, natomiast w rzeczywistości budynek ten kosztował: 6 699 749,63 zł. Jest to budynek podpiwniczony o trzech kondygnacjach nadziemnych z poddaszem nieużytkowym. Podpisano szereg aneksów zmieniających kwotę oraz termin

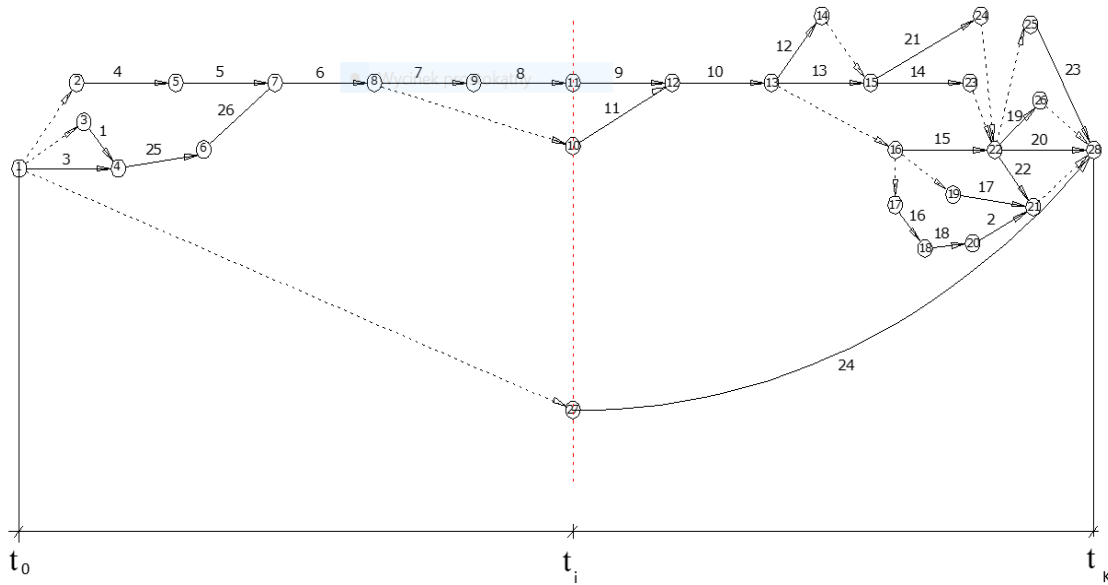
zakończenia inwestycji. Aktualizowano również harmonogram rzeczowo – finansowy robót, który został przedstawiony poniżej. Na czerwono zostały oznaczone przesunięcia poszczególnych czynności w czasie, natomiast czerwoną ramką opóźnienia

Lp	2019					2020											
	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1			160679														
2																	85430
3	20000	39546	99546														
4		10000	153400	340200													
5					101378	192000	22362										
6							156420	120248									
7								204253									
8									298363								
9										119872	72427						
10											40000	100000	264019				
11							84695	14116	21174	15863							
12									97909				11023				
13										30825	20000	200000	200000	139767			
14													110000	116948			
15												140000	100000	80000	120000		31508
16														62364			
17														250000	250000	132644	
18														35000	6484		
19															30000	55000	8473
20															125000	130000	20161
21																250000	114576
22																	35000
23																	117643
24					90498			39382	129880	21647				50000	87008		
25		27055	27055		36073												
26			68291	100000	91215		13658										
	20000	76600	508971	440200	319164	192000	192440	448578	442359	291428	148289	690000	855043	885663	616914	470287	101813

Rys. 1. Harmonogram finansowy inwestycji budowlanej.

2. Zastosowane metody badawcze

Analiza ryzyka dotyczy przygotowania i realizacji robót budowlanych na placu budowy. Rozważane jest ryzyko przekroczenia kosztów dyrektywnych, roboty realizowane są przez określony zbiór zasobów realizacyjnych. Na podstawie analizy projektu budowlanego, zgodnie z aktualnie obowiązującymi zasadami, opracowywany został przedmiar robót i kosztorys inwestorski. Natomiast na podstawie analizy uwarunkowań realizacyjnych określone zostały oddziaływania losowe oraz ich wpływ na przebieg i wyniki robót budowlanych. Po analizie technologii robót budowlanych opracowany i analizowany został model sieciowy robót $S^T = \langle G, B, L \rangle$ i model zasobów dyspozycyjnych $\mathcal{E} = \{ \langle H^S, T, K \rangle, S^T \}$ [1].



Rys. 2. Model sieciowy inwestycji budowlanej.

W modelach tych graf G i funkcja B opisują przedmiarowane roboty budowlane i stan obiektu po wykonaniu określonych robót. Funkcja L opisana na zbiorze łuków grafu określa oczekiwaną liczbę jednostek przedmiarowanych robót. Wartość ta obliczana jest na podstawie wartości oszacowanych optymistycznych, najbardziej prawdopodobnych i pesymistycznych. Zbiór brygad roboczych H^S może realizować roboty budowlane S^T w oczekiwanym czasie T ponosząc oczekiwane koszty K . Oczekiwane koszty robót wyznaczono po analizie wartości optymistycznych, najbardziej prawdopodobnych i pesymistycznych. Dla modelu S^T oraz wartości T i κ wyznaczono kosztorys i harmonogram robót $\mathcal{H} = \langle G, B, T, K \rangle$. Ponadto, analiza sieci opisanej przez funkcje K pozwala analizować ryzyko kosztów realizacji robót budowlanych.

Prawdopodobieństwo, że oczekiwane koszty $E[K^S]$ robót S^T przekroczą dowolne dyrektywne wartości kosztów k^d można wyznaczyć za pomocą zależności:

$$P[E[K^S] \geq k^d] = 1 - P[E[K^S] \leq k^d] \approx 1 - \Phi \left[\frac{k^d - E[K^S(E)]}{\sqrt{D^2[K^S(E)]}} \right] \quad (1)$$

Obliczenia wartości $P[E[K^S] \geq k^d]$ dla różnych wartości k^d pozwoliła opracować wykres kontyngencji kosztów robót budowlanych.

Do przeprowadzenia obliczeń potrzebna była znajomość współczynników ryzyka $\frac{p}{\bar{p}_{j,r}}$ i $\bar{p}_{j,r}$.

Wartości optymistyczne $\underline{K}_{j,r}$ robót $u_j \in U^r$ – mniejsze od najbardziej prawdopodobnych:

- koszty optymistyczne $\underline{K}_{j,r}$:

$\underline{K}_{j,r} = \hat{K}_{j,r} - \underline{p}_{j,r} \hat{K}_{j,r}$, gdzie, na podstawie analiz prowadzonych przez ekspertów, zaleca się przyjmować $\underline{p}_{j,r} \in [0,05, 0,1, 0,15, 0,20]$,

Wartości pesymistyczne $\bar{K}_{j,r}$ robót $u_j \in U^r$ – większe od najbardziej prawdopodobnych:

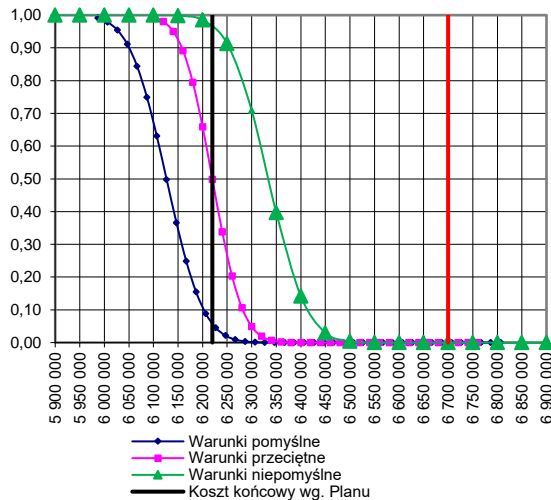
- koszty pesymistyczne $\bar{K}_{j,r}$:

$\bar{K}_{j,r} = \hat{K}_{j,r} + \bar{p}_{j,r} \hat{K}_{j,r}$, gdzie, na podstawie analiz prowadzonych przez ekspertów, zaleca się przyjmować $\bar{p}_{j,r} \in [0,1, 0,15, 0,20, 0,25]$.

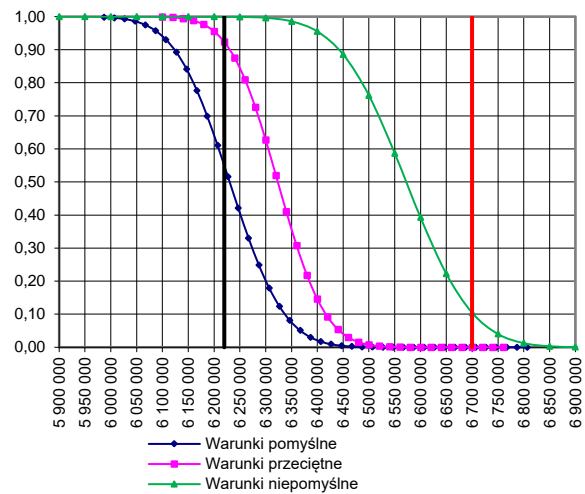
3. Wyniki badań

Na podstawie przeprowadzonych analiz zrealizowanych inwestycji budowlanych oszacowano wartości współczynników ryzyka $\underline{p}_{j,r}$ i $\bar{p}_{j,r}$.

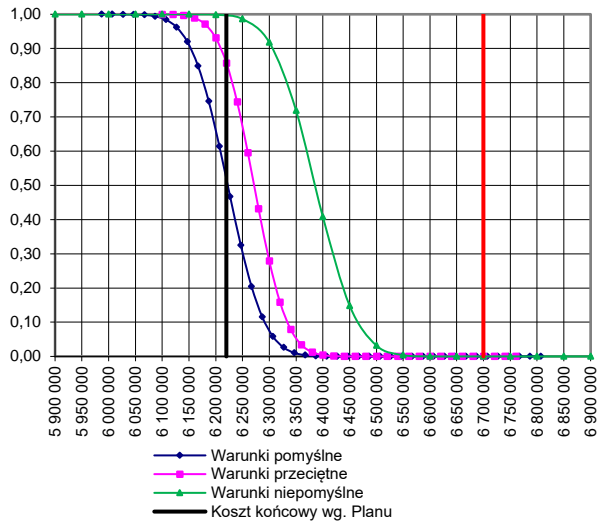
Poniżej przedstawiono wyniki analizy dla wybranych wartości współczynników ryzyka $\underline{p}_{j,r}$ i $\bar{p}_{j,r}$.



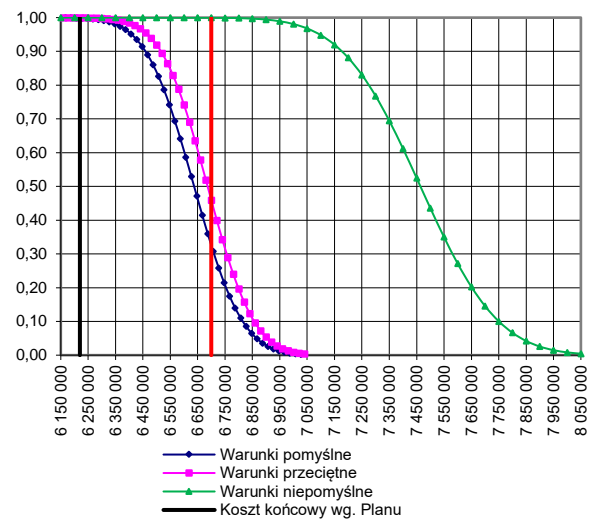
Rys. 3.1. Wykres kontyngencji kosztu dla wartości $\bar{p}_{j,r} = 0,1$.



Rys. 3.2. Wykres kontyngencji kosztu dla wartości $\underline{p}_{j,r} = 0,1$; dla wartości $\underline{p}_{j,r} = 0,1$; $\bar{p}_{j,r} = 0,2$.

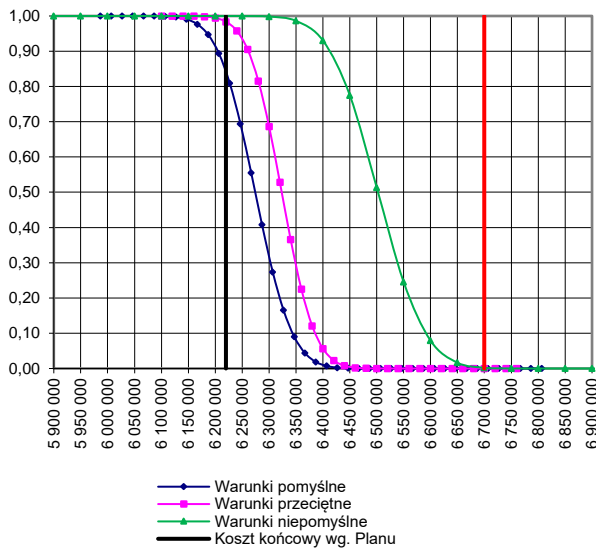


Rys. 3.3. Wykres kontyngencji kosztu dla wartości dla wartości $p_{j,r} = 0,05$; $\bar{p}_{j,r} = 0,10$.

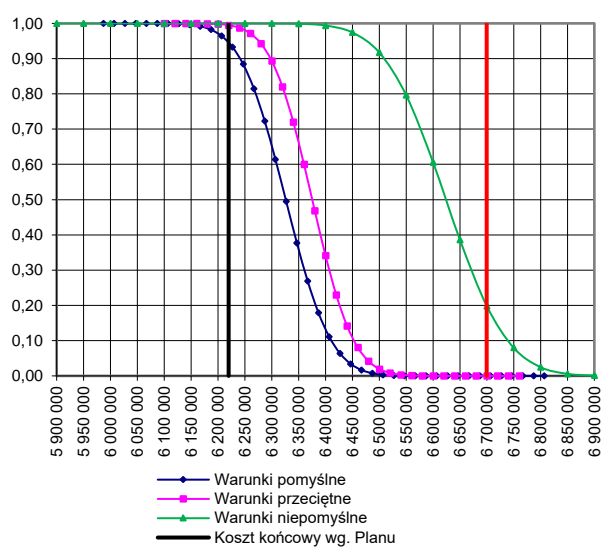


Rys. 3.4. Wykres kontyngencji kosztu dla wartości $p_{j,r} = 0,05$; $\bar{p}_{j,r} = 0,50$.

Na wykresie 3.4. celowo przedstawiono wykres kontyngencji dla współczynnika pesymizmu znacznie przekraczającego zalecane wartości, aby zobrazować jak dobrany współczynnik wpłynął na poszczególne analizowane warunki, szczególnie na warunki niepomyślne, które w całości znajdują się poza zakresem poniesionych kosztów rzeczywistych analizowanej inwestycji.



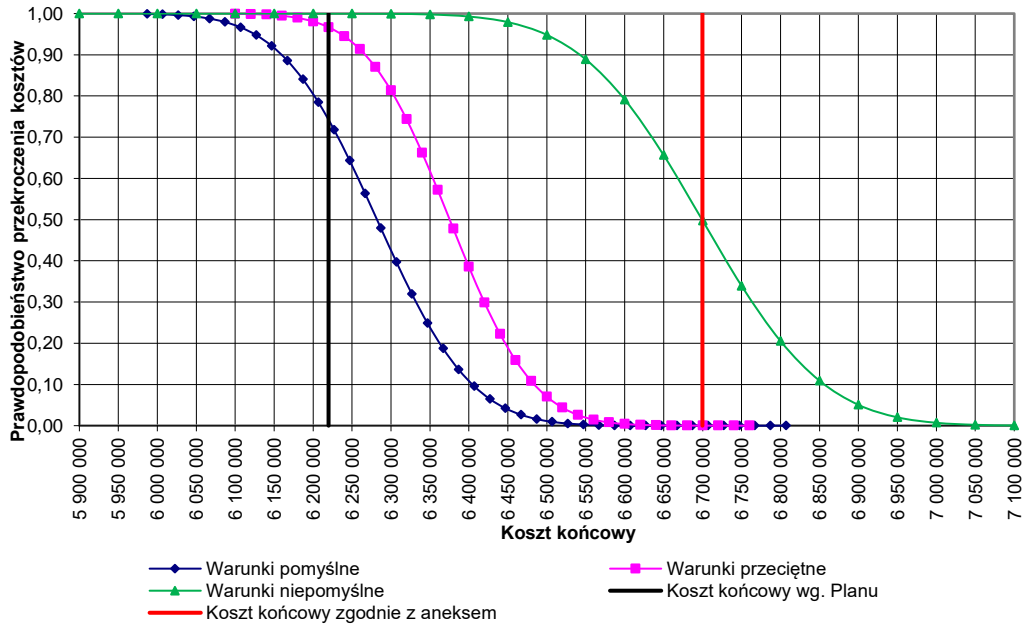
Rys. 3.5. Wykres kontyngencji kosztu dla wartości $p_{j,r} = 0,05$; $\bar{p}_{j,r} = 0,15$.



Rys. 3.6. Wykres kontyngencji kosztu dla wartości $p_{j,r} = 0,05$; $\bar{p}_{j,r} = 0,20$.

Reasumując, na podstawie danych z realizowanych inwestycji budowlanych przeanalizowano wartości dobieranych współczynników ryzyka. Brano pod uwagę zalecane współczynniki ryzyka oraz powstałe wykresy kontyngencji kosztów w porównaniu z rzeczywistymi kosztami budowy. Z uwagi na liczne przykłady przekraczania kosztów końcowych inwestycji budowlanych, zauważono, iż współczynnik ryzyka $\bar{p}_{j,r}$ (pesymistyczny) powinien być szacunkowo większy od współczynnika $p_{j,r}$.

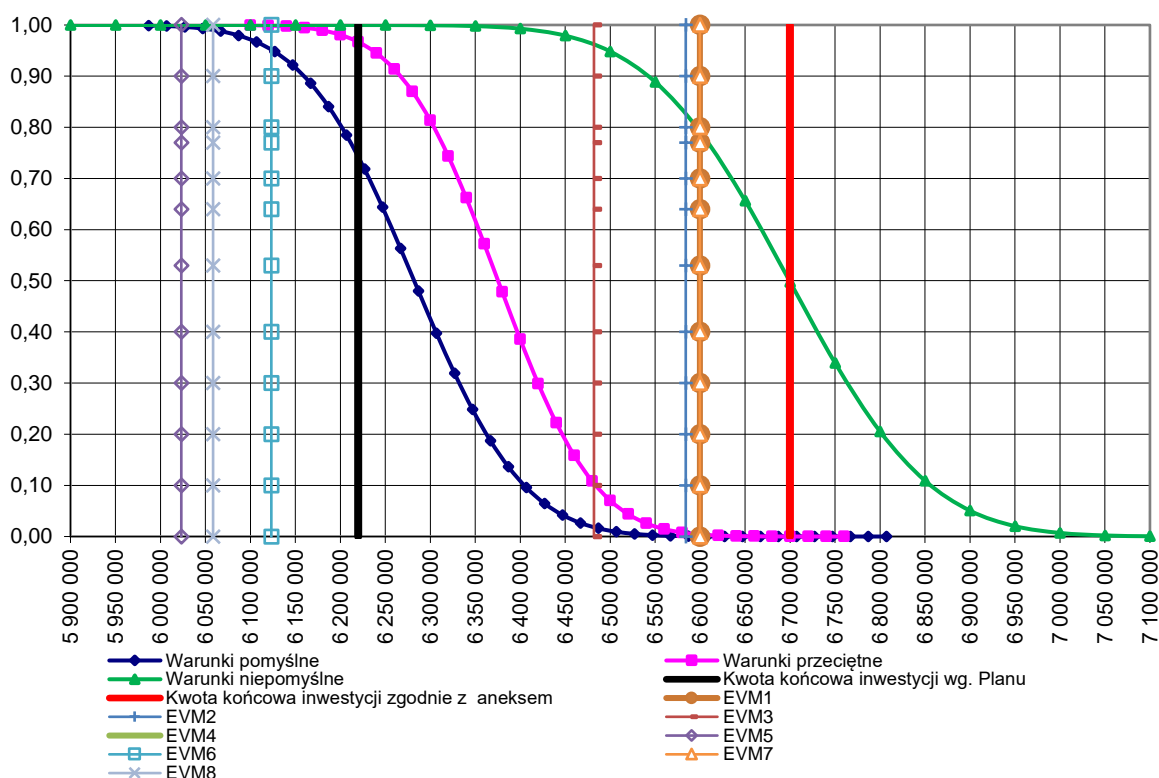
(optymizmu) oraz będzie miał znaczący wpływ na wynik końcowy kosztu. Zatem przy doborze współczynników należy się w pierwszej kolejności ustalić odpowiednią wielkość współczynnika pesymizmu. Na poniższym wykresie przedstawiono sytuację, w której dobrano maksymalną zalecaną wartość współczynnika pesymizmu tj. $\bar{p}_{j,r} = 0,25$.



Rys. 3.7. Wykres kontyngencji kosztu dla wartości prawdopodobieństw $p_{j,r} = 0,10$; $\bar{p}_{j,r} = 0,25$.

Jak możemy zauważyć na powyższym wykresie, dobierając maksymalny zalecany współczynnik pesymizmu podczas analizy warunków ryzyka [2], uzyskujemy prawidłowy wykres kontyngencji ryzyka dla warunków niepomyślnych, czyli warunków, w których czas i koszt poszczególnych robót, jak i całej inwestycji, narażone są na działanie zakłóceń budowlanych, które z kolei mogą powodować potrzebę aneksowania umowy [3] związaną z wydłużeniem czasu realizacji lub wzrostem kosztów inwestycji.

W celu potwierdzenia potrzeby analizy wyników uzyskiwanych głównie w warunkach niepomyślnych oraz doboru współczynnika pesymizmu na poziomie maksymalnym zalecanym, czyli $\bar{p}_{j,r} = 0,25$, a także kontrolę niestabilnych przedsięwzięć budowlanych jedynie w warunkach probabilistycznych (tj. odejście od analizy deterministycznej), poniżej przedstawiono porównanie wykresu kontyngencji kosztów z kosztami szacowanymi metodą EVM oraz kosztem planowanym i rzeczywistym inwestycji.



Rys. 3.8. Porównanie kontyngencji kosztów z kosztami szacowanymi metodą EVM oraz kosztem planowanym i rzeczywistym inwestycji.

Rozrzut szacowanego metodą EVM kosztu końcowego za pomocą proponowanych w tej metodzie wzorów jest znaczny. Jedynie kontyngencja kosztów przeprowadzona w warunkach niepomyślnych określa prawdopodobieństwo wykonania inwestycji

4. Wnioski końcowe

Przeprowadzone badania w sposób jednoznaczny wskazują na konieczność analizy niestabilnych inwestycji budowlanych w warunkach probabilistycznych. Niezbędna jest analiza prawdopodobieństw optymizmu i pesymizmu dla poszczególnych inwestycji budowlanych, która umożliwi poprawną kontrolę oraz szacowanie kosztów końcowych inwestycji..

Błędny obraz stanu istniejącego konkretnej realizowanej inwestycji budowlanej powodują:

- analizy inwestycji przeprowadzane w warunkach deterministycznych (bez analizy ryzyka), lub
- uwzględnianie wszystkich możliwych zakłóceń, a w tym również prawdopodobieństw ich wystąpienia, takich samych dla różnych inwestycji budowlanych..

Analiza oraz dobór współczynników ryzyka powinny dotyczyć konkretnej inwestycji oraz bazować na zakłóceniach pojawiających się w trakcie jej realizacji.

Literatura

- [1] Kasproicz T., "Quantitative identification of construction risk", Archives of Civil Engineering, LXIII, 2017, 63–75, <https://doi.org/10.1515/ace-2017-0005>

- [2] Moradi N., S.M. Mousavi, and B. Vandani, "An earned value model with risk analysis for project management under uncertain conditions", *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 32 (2017) 97-113. <https://doi.org/10.3233/JIFS-151139>
- [3] Połowski M. 2019: Wpływ aneksowania terminu umowy na prognozę kosztu realizacji w metodzie wartości wypracowanej. *Acta Scientiarum Polonorum. Architectura*, nr 18(2), s. 69-78, <https://doi.org/10.22630/ASPA.2019.18.2.24>
- [4] Starczyk-Kołbyk A., and Kruszka L., "The influence of construction works disturbances on the EVM analysis outcomes - case study", *Archives of Civil Engineering*, LXVI (2020) 161-177. <https://doi.org/10.24425/ace.2020.131781>
- [5] Starczyk-Kołbyk A., and Kruszka L., "Use of the EVM method for analysis of extending the construction project duration as a result of realization disturbances – case study", *Archives of Civil Engineering*, LXVII (2021) 373-393. <https://doi.org/10.24425/ace.2021.138061>