

dr inż. Anna Krawczyńska-Piechna^{1*)}

ORCID: 0000-0002-0174-7929

mgr inż. Katarzyna Budek-Wiśniewska¹⁾

ORCID: 0000-0002-1041-7796

Kompleksowe podejście do prognozowania i ograniczania poziomu ryzyka w podejmowaniu zamówień na roboty w budownictwie drogowym

A comprehensive approach to risk assessment and mitigation in taking orders for road construction works

DOI: 10.15199/33.2022.12.25

Streszczenie. Analiza zagrożeń stanowi pierwszy etap prezentowanego w artykule kompleksowego podejścia do zarządzania ryzykiem w podejmowaniu zamówień na roboty w budownictwie drogowym. Drugi etap polega na ocenie możliwości przeciwdziałania tym zagrożeniom przez programy naprawcze (programy ograniczania zagrożeń). W prezentowanym podejściu proponuje się optymalizację doboru tych programów pod kątem maksymalnej redukcji zagrożeń przy jednoczesnym ograniczeniu kosztów zastosowania tych programów. W artykule przedstawiono schemat ideowy systemu doradczego, model matematyczny omawianego problemu i przykład obliczeniowy, obrazujący istotę proponowanego podejścia do analizy ryzyka.

Słowa kluczowe: prognozowanie ryzyka; ograniczanie ryzyka; budownictwo drogowe; podejmowanie decyzji; systemy doradcze.

Abstract. The risk analysis is then the first stage of the comprehensive approach to risk management in taking orders for road construction works presented in the paper. The second stage is to counteract these threats through risk reduction programs. In the presented approach, it is proposed to optimize the selection of these programs in terms of the maximum reduction of threats while reducing the costs of using these programs. The paper presents a block diagram of the advisory system, introduces a mathematical model of the discussed problem and illustrates the essence of the proposed approach to risk analysis with a computational example.

Keywords: risk analysis; risk mitigation; road construction; decision making advisory systems.

Budownictwo drogowe ma wiele cech specyficznych, tj. [1]:

- liniowy wymiar przedsięwzięcia implikujący ciągłą zmienność frontu robót, przy czym kolejne odcinki drogi różnią się między sobą – zmieniają się też warunki prac budowlanych, stymulujące zagrożenia różnorodnej natury;
- skomplikowany charakter rozwiązań projektowych obiektów drogowych;
- duża liczba interesariuszy;
- wysoka kapitałochłonność realizowanych procesów budowlanych;
- udział wielu specjalistów we wszystkich fazach życia obiektów drogowych;
- długotrwałość produktu;
- wrażliwość obiektów drogowych na warunki atmosferyczne – wyraźny wpływ klimatu na drogi w fazie wykonawczej i eksploatacyjnej.

¹⁾ Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii

^{*)} Adres do korespondencji: anna.krawczynska@pw.edu.pl

Przedsięwzięcia budownictwa drogowego, z uwagi na skomplikowany charakter i wysoką kapitałochłonność, wymagają przede wszystkim uwzględnienia zjawiska ryzyka w zarządzaniu ich przebiegiem i ciągłego doskonalenia narzędzi zarządzania ryzykiem. Ich złożoność sprawia, że osiąganie celów jest obciążone znacznym ryzykiem, stanowiącym atrybut probabilistycznego charakteru zjawisk towarzyszących tym przedsięwzięciom. Występuje w nich wiele zagrożeń, szczególnie związanych z wykonawstwem budowlanym. Ryzyko wiąże się z możliwością powstania straty, co zakłóci funkcjonowanie danej jednostki. Przebiega w czasie, w którym podejmowane powinny być czynności ograniczające negatywne skutki ryzyka oraz dążące do jego całkowitego lub częściowego wyeliminowania [2].

Podjęcie decyzji przez wykonawcę robót budowlanych dotyczącej udziału w postępowaniu o zamówienie na wy-

konanie określonego zakresu robót jest zawsze związane z wieloma zagrożeniami. W chwili podejmowania decyzji, wykonawca nie dysponuje nigdy kompletnym zbiorem informacji. Przygotowując ofertę, wspiera się danymi, które otrzymał od zamawiającego lub zna je z analizy historycznej. Wynika z tego konieczność prognozowania skutków i przyszłych rezultatów obecnych decyzji oraz identyfikowania zagrożeń, a także możliwości przeciwdziałania tym zagrożeniom, co od wielu lat jest przedmiotem badań w kraju i na świecie [3 ÷ 6].

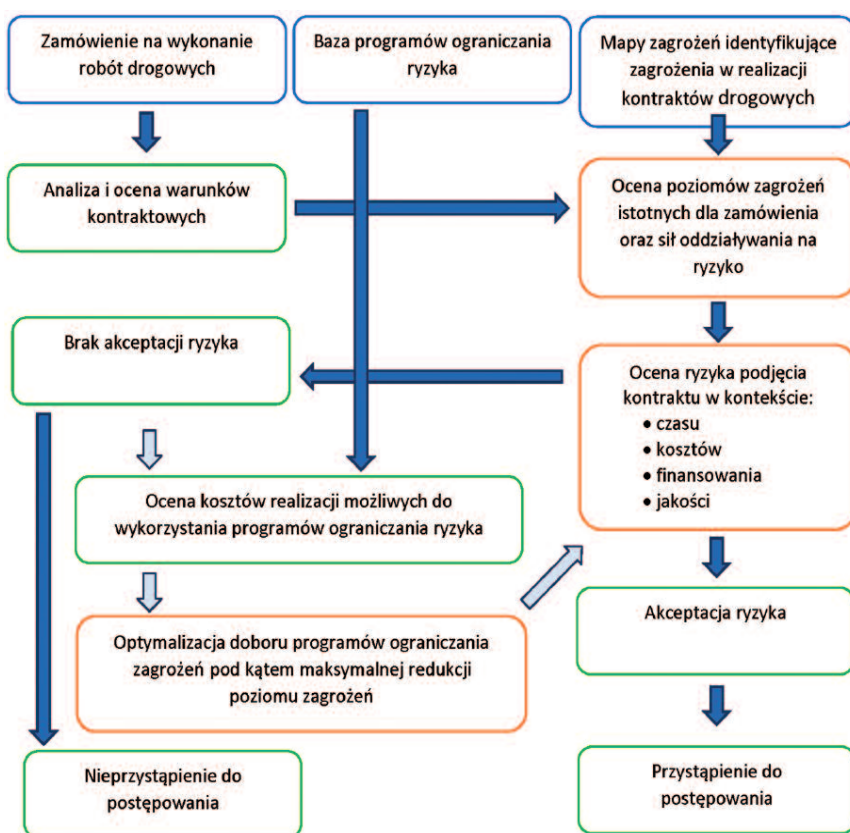
Istota kompleksowego podejścia do prognozowania i ograniczania poziomu ryzyka

W literaturze i praktyce wykorzystywane są różne metody analizy ryzyka – jakościowe, ilościowe, w tym także statystyczne i informatyczne, wspomagające wykorzystanie metod ilościowych i jakościowych [7]. Niezależnie od za-

stosowanej metody, zadaniem analityka jest przede wszystkim ocena prawdopodobieństwa wystąpienia potencjalnego zdarzenia i ustalenie wielkości (siły) jego oddziaływania. W podejściu proponowanym w artykule, analityk może aktywnie oddziaływać na zidentyfikowane zagrożenia w realizacji kontraktu budowlanego, wykorzystując do tego system doradczy, który dawałby odpowiedź, z jakimi rodzajami ryzyka należy się liczyć przy podejmowaniu kontraktu na wykonanie zamówienia oraz jakie działania można przedsięwziąć w określonym budżecie, które ograniczą te ryzyka. Struktura takiego systemu została przedstawiona na rysunku 1.

Pierwszym etapem kompleksowego podejścia do prognozowania ryzyka w przypadku zamówień na roboty w budownictwie drogowym jest ocena poziomu zagrożeń, jakie zidentyfikowano na podstawie analizy warunków kontraktu oraz określenie sił oddziaływania pomiędzy zagrożeniami i rozpatrywanym ryzykiem. Analizy te powinny być prowadzone z zastosowaniem aplikacji dedykowanej przez specjalistę, menedżera, który ma wiedzę pozwalającą na ocenę warunków realizacji kontraktu.

W proponowanej metodzie rozpatruje się cztery rodzaje ryzyka oraz wpływające na nie zagrożenia, ujęte w tabeli 1. Określenie zbioru zagrożeń i rodzajów ryzyk występujących w procesach inwestycyjno-budowlanych przedsięwzięć budownictwa drogowego było przedmiotem wcześniejszych badań [8, 9]. W odróżnieniu od większości modeli literaturowych [3, 10 ÷ 12] w proponowanej metodzie przyjęto, że na etapie planowania kontraktu potencjalne zagrożenia mogą występować niezależnie, ale też mogą być częściowo zależne od siebie, tj. jedno zagrożenie może być źródłem wystąpienia kolejnego (rysunek 2). Graficzną interpretację relacji między zagrożeniami stanowią tzw. mapy zagrożeń. Mapy te oraz koncepcja modelu i algorytmu klasyfikowania końcowego efektu wpływu zagrożeń zidentyfikowanych w kontrakcie na określone ryzyko były przedmiotem wcześniejszych prac [8, 12]. Zgodnie z tym modelem, każde ze zidentyfikowanych zagrożeń charakteryzuje się prawdopodobieństwem wystąpienia TL_p , które ma dwie składowe [9]:



Rys. 1. Schemat ideowy struktury systemu doradczego do oceny ryzyka realizacji kontraktu

Fig. 1. A schematic diagram of the risk assessment advisory system

- prawdopodobieństwo własne wystąpienia TLO_i ;

- „wzmocnienie” wskutek wystąpienia zagrożeń poprzedzających TLP_i rozpatrywane zagrożenie.

Obie składowe wartościuje się osobno i sumuje, tj. $TL_i = TLO_i + TLP_i$, zaś oceny poziomu zagrożenia dokonuje się w kontekście konkretnych rodzajów ryzyk, stosując zaproponowaną skalę podaną w tabeli 2.

Do oceny ryzyka podjęcia kontraktu konieczne jest określenie siły oddziaływania, która przyjmuje wartości w skali 0 – 3 i w przypadku poszczególnych zagrożeń przypisuje ją menedżer kontraktu zgodnie z opracowaną metodą wartościowania. Ostateczny poziom ryzyka określa zależność:

$$P = \frac{\sum_{p \in \{P_r\}} TL_p \cdot IF_p}{3 \cdot 6 \cdot card\{P_r\}} \quad (1)$$

gdzie:

$\{P_r\}$ – zbiór zagrożeń bezpośrednio oddziałujących na rozpatrywane ryzyko;
 $card\{P_r\}$ – liczebność zbioru P_r ;
 IF_p – siła oddziaływania p-tego zagrożenia na ryzyko.

Obliczony w ten sposób poziom analizowanego ryzyka zawiera się w przedziale 0 – 1. W zależności od tego, jak jest wysoki, ryzyko może wpływać w różnym stopniu na realizację kontraktu. Przykładową interpretację wartości liczbowych wyznaczonego poziomu ryzyka przedstawia tabela 3, w której odniesiono się do ryzyka niedotrzymania terminu realizacji (czas realizacji). Wartości graniczne przedziałów liczbowych poziomu ryzyka ustalono na podstawie tzw. prawa straty, które mówi, że jeśli na inwestycji stracimy, to aby odrobić pierwotny kapitał, musimy potem procentowo więcej zyskać, niż straciliśmy. Im mniejszą stratę poniesiemy, tym łatwiej będzie ją później odrobić.

Prognoza poziomu ryzyka (lub ryzyk) nie kończy procesu analitycznego w podejmowaniu decyzji o podjęciu zamówienia na roboty. Ryzyko to może być nieakceptowalne. Czy jest możliwe więc jego ograniczenie do poziomu akceptowalnego przy podjęciu odpowiednich działań? Odpowiedź na to pytanie stanowi 2. etap kompleksowego podej-

Tabela 1. Rodzaje ryzyka i zagrożenia rozpatrywane w modelu
Table 1. Types of analyzed risks and threats corresponding to them

Ryzyko przekroczenia planowanych kosztów	Ryzyko niedostatecznej jakości	Ryzyko utraty płynności finansowej	Ryzyko przekroczenia czasu realizacji prac
Zagrożenie złej jakości materiałów	zagrożenie stosowania cen dumpingowych przez konkurencję	zagrożenie wzrostu cen materiałów i kosztów robocizny	zagrożenie rozszerzenia zakresu prac
Zagrożenie trudności pozyskania wyspecjalizowanych brygad	zagrożenie złej jakości materiałów budowlanych	zagrożenie braku finansowania inwestycji	zagrożenie trudności pozyskania wyspecjalizowanych brygad
Zagrożenie stosowania cen dumpingowych przez konkurencję	zagrożenie trudności pozyskania wyspecjalizowanych brygad	zagrożenie wzrostu inflacji	zagrożenie braku dostępności materiałów
Zagrożenie niedotrzymania standardów jakości	zagrożenie niedotrzymania standardów jakości		zagrożenie braku dostępności podwykonawców
Zagrożenie rozszerzenia zakresu prac			zagrożenie niedotrzymania standardów jakości
Zagrożenie braku dostępności podwykonawców			zagrożenie niedotrzymania terminu umownego
Zagrożenie zmiany władz – kierownika zamawiającego (w rozumieniu art. 2 pkt 3 ustawy Prawo zamówień publicznych)			zagrożenie zmiany władz – kierownika zamawiającego (w rozumieniu art. 2 pkt 3 ustawy Prawo zamówień publicznych)
Zagrożenie niedotrzymania terminu umownego			zagrożenie terminowości dostarczenia materiałów budowlanych
Zagrożenie wzrostu inflacji			zagrożenie oprotestowania przetargu przez konkurentów
Zagrożenie wzrostu cen materiałów i kosztów robocizny			zagrożenie zmiany przepisów
Zagrożenie oprotestowania przetargu przez konkurentów			
Zagrożenie poniesienia zbyt dużych kosztów			
Zagrożenie braku finansowania inwestycji			
Zagrożenie zmiany przepisów			
Zagrożenie terminowości dostarczenia materiałów budowlanych			
Zagrożenie braku dostępności materiałów			

ścia do zarządzania ryzykiem w podejmowaniu zamówień na roboty w budownictwie drogowym.

Dobór programów „naprawczych” ograniczania ryzyka

W [9, 13] zaproponowano metodę analizy ryzyka kontraktu budowlanego z możliwością jego ograniczenia przez działania dodatkowe (programy podejmowane w celu wyeliminowania zagrożeń). W artykule rozwinięto tę tematykę. Wcześniej model zakładał sprowadzenie ryzyka do akceptowalnego poziomu przez zastosowanie programów naprawczych

eliminujących całkowicie zagrożenia występujące w analizowanym modelu ryzyka. Zaproponowane w [9, 13] podejście jest słuszne, jednak praktyka nakazuje rozważyć sytuację, w której zagrożenia są nie tyle eliminowane, co zmniejszane, zaś koszt wdrożenia programów naprawczych (ograniczających ryzyko) jest odgórnie ograniczony.

Rozpatrzmy zatem zbiór zagrożeń $T = \{t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_l\}$ oraz zbiór programów ich ograniczania $R = \{r_1, r_2, \dots, r_j, \dots, r_r\}$. Programy dotyczą konkretnych działań, które można podjąć w celu zmniejszenia poziomu lub całkowitego wyeliminowania określonych zagrożeń. Znany jest także globalny budżet naprawczy, RC . Każdy z programów ustala zbiór zagrożeń, które zostaną zmniejszone lub wyeliminowane w wyniku jego wdrożenia. Poziom „osłabienia” lub eliminacji poziomu zagrożenia TLO_i przez zastosowanie i -tego programu ograniczania ryzyka, oznaczony jako $tr_{i,j}$, gdzie $tr_{i,j} \in [tr_{i,j}]_{\text{max}}$, może przyjmować wartości całkowitoliczbowe z przedziału $(-TLO_i, 0)$. Wartość 0 przyjmuje się, jeżeli program nie wpływa w żaden sposób na zagrożenie, zaś TLO_i – jeżeli program całkowicie eliminuje zagrożenie.

Każdy program ma określony koszt realizacji $C = \{c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_r\}$. Koszt zastosowania zbioru programów naprawczych wyraża się wzorem:

$$RCA = \sum_{j=1}^r c_j \cdot a_j \quad (2)$$

gdzie:

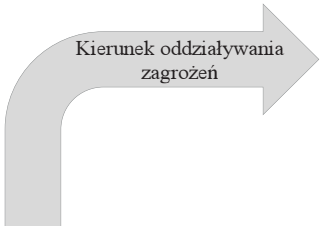
a_j – zmienna decyzyjna binarna – wskaźnik zastosowania konkretnego programu ograniczającego.

Celem optymalizacji jest ustalenie takiego zbioru programów ograniczania, który maksymalizowałby osłabienie po-

Tabela 2. Metoda wartościowania prawdopodobieństwa własnego wystąpienia zagrożenia

Table 2. Estimating the probability of the own risk occurrence

Prawdopodobieństwo własnego wystąpienia zagrożenia	Opis
0	jest możliwe, ale dotychczas zagrożenie nie wystąpiło w żadnym podobnym zrealizowanym kontrakcie
1	jest możliwe, wystąpiło dotychczas w co najmniej 10% podobnych zrealizowanych kontraktów, szacujemy na co najmniej 20% prawdopodobieństwo, że zagrożenie wystąpi w danym zamówieniu
2	istnieje duże prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia; dotychczas wystąpiło w co najmniej 40% podobnych zrealizowanych kontraktów, szacujemy na co najmniej 20 – 70% prawdopodobieństwo, że zagrożenie wystąpi w danym zamówieniu
3	wystąpienie jest niemal pewne; dotychczas wystąpiło w ponad 40% podobnych zrealizowanych kontraktów; prawdopodobieństwo jego wystąpienia szacowane jest na ponad 70%



		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
T1	poniesienie zbyt dużych kosztów																
T2	rozszerzenie zakresu prac			X								X					
T3	związane z finansowaniem inwestycji																
T4	brak dostępności materiałów						X								X		X
T5	brak dostępności PW						X										
T6	niedotrzymanie terminu umownego																
T7	wzrost inflacji								X								
T8	wzrost cen materiałów i kosztów robocizny																
T9	zmiana władz – kierownika zamawiającego						X										
T10	zmiana przepisów						X										
T11	trudność pozyskania wyspecjalizowanych brygad																X
T12	oprotostowanie przetargu przez konkurentów	X															
T13	stosowanie cen dumpingowych przez konkurencję	X															
T14	terminowość dostarczania materiałów budowlanych						X										
T15	zła jakość materiałów budowlanych																X
T16	niedotrzymanie standardów jakości	X															

Rys. 2. Identyfikacja oddziaływania zagrożeń na siebie

Fig. 2. A matrix of interaction of threats on each other

ziomu zagrożeń przy zadanym koszcie realizacji, co zapisać można jako:

$$FC(a_j, tr_{ij}) = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^t (a_j \cdot tr_{ij}) \rightarrow \min (3)$$

przy ograniczeniach:

- $\forall i \in \{1, 2, \dots, t\} - TLO_i \leq \sum_{j=1}^r tr_{ij} \leq 0$
- $\sum_{j=1}^r a_j \leq r$
- $RCA \leq RC$
- $a_j \in \{0, 1\}$

Zagadnienie to jest problemem programowania liniowego. W przypadku znalezienia jego rozwiązania należy dokonać korekty wartości TLO_i wg zależności:

Tabela 3. Wpływ ryzyka niedotrzymania czasu realizacji na kontrakt w zależności od jego poziomu

Table 3. The level of the risk of failure to meet the execution time and its influence on the contract

Poziom ryzyka	Zakres poziomu ryzyka	Interpretacja
Niski poziom ryzyka, który jest akceptowalny, wystąpienie ryzyka jest eliminowane przez działania prewencyjne	0 – 0,15	problemy rozwiązywane na bieżąco, nie ma konieczności dodatkowej pracy, bez wpływu na termin końcowy realizacji
Średni poziom ryzyka, może być warunkowo akceptowalny, należy rozważyć konieczność monitorowania i działań naprawczych	0,15 – 0,35	w celu ukończenia prac w terminie należy skierować dodatkowe zasoby do realizacji inwestycji lub wystąpi zagrożenie terminu realizacji prac, przekroczenie czasu realizacji prac maks. o 10%
Średni poziom ryzyka, nieakceptowalny, konieczne niezwłoczne podjęcie działań zmniejszających poziom ryzyka	0,35 – 0,70	termin realizacji prac nie zostanie dotrzymany, przekroczenie czasu realizacji prac maks. o 11 – 20%
Wysoki poziom ryzyka, który jest niedopuszczalny, wymagane jest wdrożenie i monitorowanie działań naprawczych	powyżej 0,70	zadanie nie zostanie w pełni zrealizowane w terminie, przekroczenie czasu realizacji prac o ponad 20%

$$\overline{TLO}_i = TLO_i + \sum_{j=1}^r tr_{ij} \quad (4)$$

a następnie ponownie wyznaczyć poziom rozpatrywanego ryzyka.

W celu zobrazowania sposobu działania proponowanej metody przedstawiono przykład obliczeniowy. Analizowano ryzyko niedotrzymania terminu realizacji kontraktu. W pierwszym etapie procesu prognozy i ograniczania ryzyka zidentyfikowano i określono poziom TLO_i zagrożeń, wpływających na poziom analizowanego ryzyka. Zestawienie tych zagrożeń wraz z przypi-

sanyimi im programami ograniczania zagrożeń zestawiono w tabeli 4. W przypadku tak zdefiniowanych zagrożeń dokonano symulacji z zastosowaniem dedykowanej aplikacji komputerowej (rysunek 3). Siły oddziaływania zostały podane przez menedżera (rysunek 4). W wyniku symulacji uzyskano, że prognoza poziomu ryzyka wynosi 0,53. Poziom ten może być nieakceptowalny, co oznacza, że przed podjęciem decyzji o przystąpieniu (lub nieprzystąpieniu) do przetargu, powinno się przeanalizować możliwość wdrożenia programów ograniczających zagrożenia. Koszty i charakterystykę takich programów zawarto w tabeli 5.

Obliczenia i optymalizację doboru programów przeprowadzono z użyciem arkusza kalkulacyjnego i narzędzi do optymalizacji liniowej (Solver + What's Best LINDO). Przyjęto ograniczenie budżetu $RC = 45\ 000,00$ zł. Wartości zmiennych $tr_{i,j}$ zdefiniowano w arkuszu kalkulacyjnym, zgodnie z rysunkiem 5. Rozwiązaniem problemu jest zbiór programów naprawczych $\{r_8, r_{11}, r_{14}\}$, których koszt użycia wynosi 45 000 zł. Program ograniczania ryzyka wskazuje, jak wyeliminować zagrożenia t_5, t_6, t_{11} oraz podaje redukcję poziomu zagrożeń t_4 i t_{14} , co przekłada się na obniżenie poziomu analizowanego ryzyka z 0,53 do 0,22 (rysunek 6). Poziom ten może, aczkolwiek nie musi, być akceptowalny dla menedżera kontraktu.

Podsumowanie

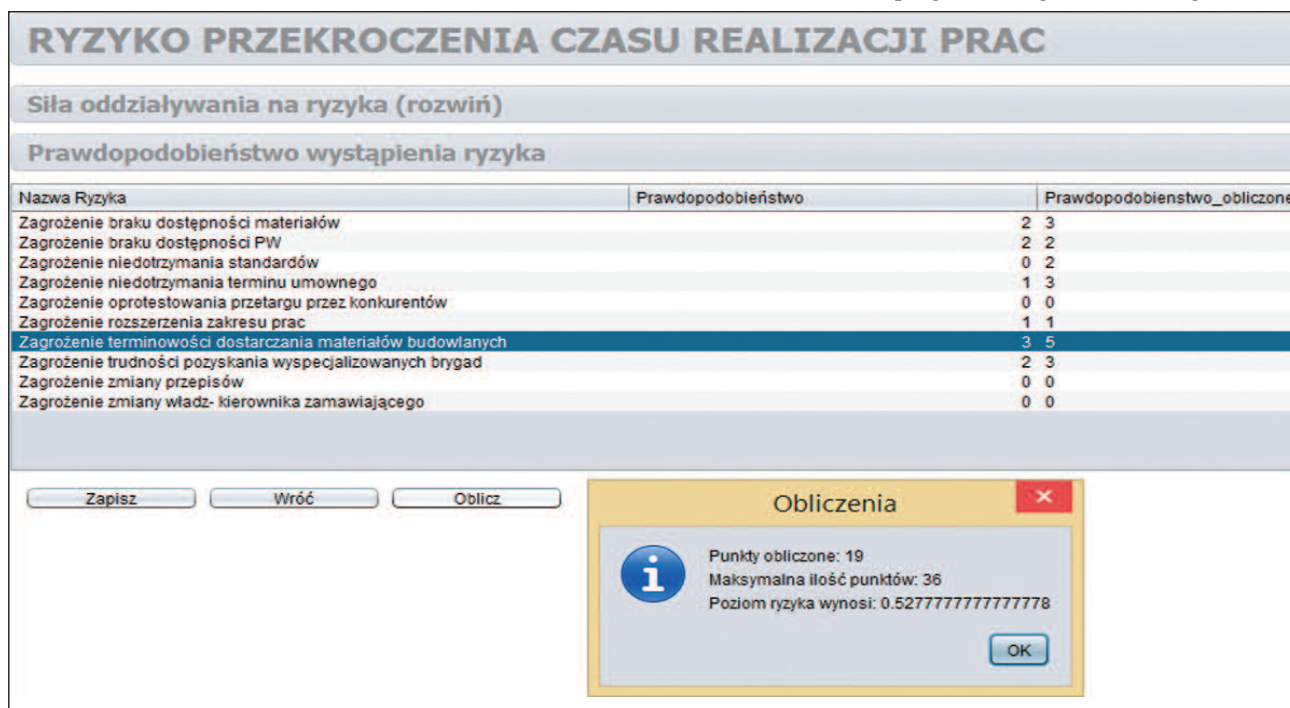
Podjęcie decyzji przez wykonawcę robót budowlanych co do udziału w postępowaniu o zamówienie na wykonanie określonego zakresu robót jest zawsze związane z wieloma zagrożeniami – ryzykiem. Znajomość zagrożeń i możliwości przeciwdziałania im są istotne w każdym kontrakcie. Dla wykonawców budowlanych są one ważne na etapie podejmowania decyzji dotyczącej podjęcia się realizacji robót i zawarcia kontraktu. Wyniki i wnioski bazujące na przeglądzie literatury, badaniach ankietowych wykonanych przez różne ośrodki naukowe oraz na badaniach własnych pozwoliły na opracowanie koncepcji metody modelowania i pro-

Tabela 4. Zestawienie zagrożeń i programów ograniczania zagrożeń w analizowanym przypadku

Table 4. Threats and mitigation programs corresponding to them in the analyzed case

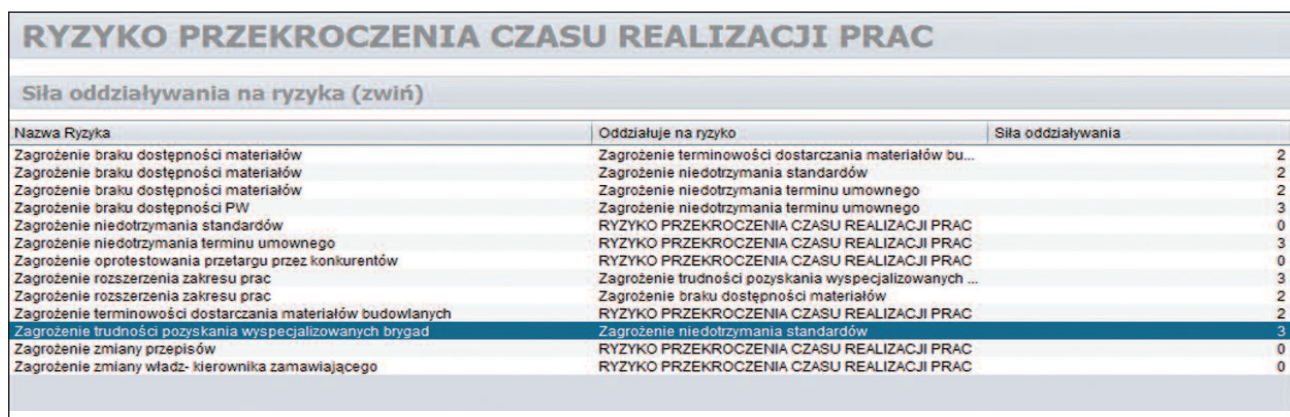
Zagrożenie i	Symbol zagrożenia	Proponowane TLO $_i$	Program ograniczający zagrożenie
Zagrożenie rozszerzenia zakresu prac	t_1	1	r_{15}, r_{12}, r_3
Zagrożenie braku dostępności materiałów	t_4	2	r_8, r_{13}, r_{16}
Zagrożenie braku dostępności PW	t_5	2	$r_5, r_8, r_{10}, r_{13}, r_{17}$
Zagrożenie niedotrzymania terminu umownego	t_6	1	r_1, r_2, r_6, r_{11}
Zagrożenie zmiany władz – kierownika zamawiającego (w rozumieniu art. 2 pkt 3 ustawy Prawo zamówień publicznych)	t_9	0	
Zagrożenie zmiany przepisów	t_{10}	0	
Zagrożenie trudności pozyskania wyspecjalizowanych brygad	t_{11}	2	r_5, r_8, r_{13}, r_{17}
Zagrożenie oprostowania przetargu przez konkurentów	t_{12}	0	r_{13}
Zagrożenie terminowości dostarczania materiałów budowlanych	t_{14}	3	r_6, r_{11}, r_{16}
Zagrożenie niedotrzymania standardów jakości	t_{16}	0	r_{14}, r_{15}

gnozowania różnych rodzajów ryzyka z jednoczesną analizą możliwości dynamicznego oddziaływania na warunki realizacji kontraktu programami ograniczania ryzyka w przedsięwzięciach budowlanych branży drogowej. Prezentowana w artykule oraz w [9, 13] metoda prognozowania poziomu ryzyka i aktywnego oddziaływania na zidentyfikowane zagrożenia w celu ograniczania ryzyka w realizacji kontraktu budowlanego ma formę systemu doradczego. Należy jednak zaznaczyć, że wykonawca powinien znać wszystkie możliwości ograniczania ryzyka kontraktu, nie tylko zbiór optymalny. Koszty kombinacji programów ograniczania zagrożeń nie



Rys. 3. Poziom ryzyka w przypadku analizowanego kontraktu

Fig. 3. Risk level for the analyzed contract



Rys. 4. Siły oddziaływania na ryzyko wskazane przez menedżera

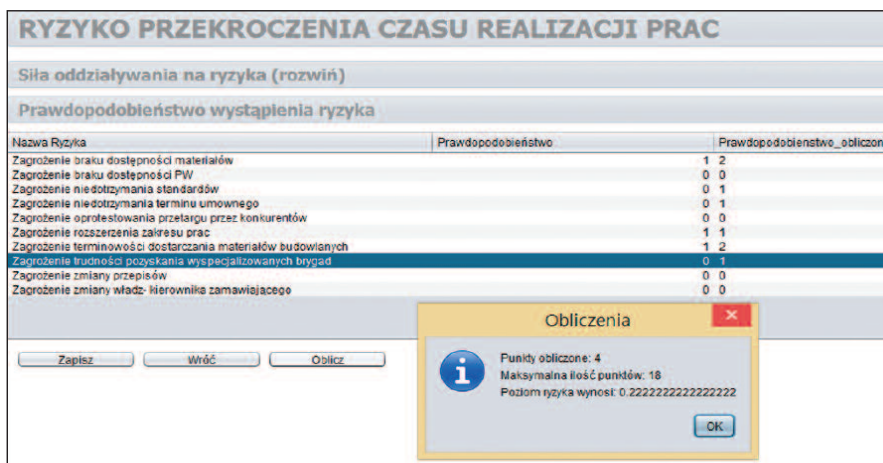
Fig. 4. Risk impact forces indicated by the contract manager

Tabela 5. Programy ograniczania zagrożenia i ich koszt w badanym kontrakcie
Table 5. Risk mitigation programs and their costs in the analyzed contract

Oznaczenie	Opis	Koszt c_j
r_1	dokładna analiza projektu z uwzględnieniem kompletności i poprawności	$c_1 = 2\ 000$
r_2	odbycie wizji lokalnej	$c_2 = 3\ 000$
r_3	weryfikacja przedmiarów stanowiących załącznik do SWZ	$c_3 = 1\ 500$
r_5	przystąpienie do przetargu z innym wykonawcą jako konsorcjum	$c_5 = 20\ 000$
r_6	uwzględnienie w kwocie oferty kar umownych za niedotrzymanie terminu	$c_6 = 120\ 000$
r_8	pozyskanie podwykonawców i dostawców na etapie przetargu	$c_8 = 0$
r_{10}	podpisanie umów podwykonawczych (porozumień) na etapie przetargu z gwarancją cen	$c_{10} = 15\ 000$
r_{11}	wnioskowanie na etapie przetargu o dokonanie w umowie odpowiedniego zapisu regulującego możliwość np. wydłużenia czasu, jaki potrzebny jest na realizację zadania, bez obciążania wykonawcy karami pieniężnymi	$c_{11} = 0$
r_{13}	analiza sytuacji rynkowej, pozwalająca ocenić tendencje na rynku	$c_{13} = 10\ 000$
r_{14}	wliczenie do oferty rezerwy na naprawy gwarancyjne	$c_{14} = 45\ 000$
r_{15}	pozyskanie gwarancji od dostawców materiałów na materiał i PW na roboty, na czas, na jaki musimy udzielić gwarancji	$c_{15} = 0$
r_{16}	zaplanowanie zapasu materiałów	$c_{16} = 8\ 000$
r_{17}	zwiększenie zatrudnienia „sił własnych” i przeprowadzenie odpowiednich szkoleń	$c_{17} = 75\ 000$

		ILO, (pierwotne)										
		1	2	2	1	0	0	2	0	3	0	
		ILO, (po optymalizacji)										
		1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
programy naprawcze		zagrożenia										
wskaznik zastosowania programu, a_j	koszt zastosowania programu, c_j	oznaczenie programu	t_1	t_4	t_5	t_6	t_9	t_{10}	t_{11}	t_{12}	t_{14}	t_{16}
0	2 000,00	r_1	-2	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
0	3 000,00	r_2	-2	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
0	1 500,00	r_3	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	20 000,00	r_5	0	0	-2	0	0	0	-2	0	0	0
0	120 000,00	r_6	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1	0
1	-	r_8	0	-1	-2	0	0	0	-2	0	0	0
0	15 000,00	r_{10}	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0
1	-	r_{11}	0	0	0	-1	0	0	0	0	-2	0
0	10 000,00	r_{13}	0	-2	-1	0	0	0	-1	0	0	0
1	45 000,00	r_{14}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-	r_{15}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	8 000,00	r_{16}	0	-2	0	0	0	0	0	0	-2	0
0	75 000,00	r_{17}	0	0	-2	0	0	0	-2	0	0	0
poziom redukcji ILO,			0	-1	-2	-1	0	0	-2	0	-2	0
RCA	45 000,00 zł											
Budżet, RC	60 000,00 zł											
FC	-8											

Rys. 5. Arkusz do optymalizacji wraz z rozwiązaniem problemu
Fig. 5. A spreadsheet showing a solution of the optimization problem



Rys. 6. Obliczenie poziomu ryzyka po zastosowaniu programów ograniczania ryzyka
Fig. 6. Risk level after application of risk mitigation programs

zawsze mogą być wyznacznikiem postępowania w zawieraniu kontraktu na wykonanie robót budowlanych.

Rysunki: Autorzy

Literatura

[1] Górecki J. Analiza ryzyka przedsięwzięć budownictwa drogowego, [w:] Mosty Tradycja i Nowoczesność, red. Adam Podhorecki, Andrzej S. Nowak, Justyna Sobczak-Piąstka, Wydawnictwo Uczelniane UTP, Bydgoszcz 2015, s. 53-60.

[2] Tworek P. Ryzyko wykonawców przedsięwzięć inwestycyjnych, Akademia Ekonomiczna im. K. Adamieckiego, Katowice 2010.

[3] Wang J, Yuan H. System Dynamics Approach for Investigating the Risk Effects on Schedule Delay in Infrastructure Projects, Journal of Management in Engineering 2017, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000472](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000472).

[4] Cheraghi E, Khalilzadeh M, Shojae S, Zohrehvandi S. A mathematical Model to select the Risk Response Strategies of the Construction Projects: Case Study of Saba Tower, Procedia Computer Science. 2017, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.080>.

[5] Leśniak A. Statistical Methods in Bidding Decision Support for Construction Companies. Appl. Sci. 2021, <https://doi.org/10.3390/app11135973>.

[6] Li G, Chen C, Zhang G, Martek I. Bid/no-bid decision factors for Chinese international contractors in international construction projects, Engineering, Construction and Architectural Management. 2018, <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2018-0526>.

[7] Szczepankiewicz EI. Wykorzystanie punktowej metody oszacowania ryzyka operacyjnego w instytucjach finansowych, Studia Ekonomiczne, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach 2016, 298: 100 – 114.

[8] Budek-Wiśniewska K. Przyczyny strat w realizacji przedsięwzięć budowlanych branży drogowej z perspektywy wykonawcy. Builder. 2020; 09 (278).

[9] Marcinkowski R, Krawczyńska-Piechna A, Budek-Wiśniewska K. Koncepcja analizy ryzyka podjęcia zamówienia na roboty budowlane z dynamicznym oddziaływaniem na warunki realizacji kontraktu. Przegląd Budowlany. 2021; 7 – 8: 124 – 128.

[10] Rybka I, Bondar-Nowakowska E. Zastosoowanie macierzy reagowania na ryzyko w projektach systemów kanalizacyjnych, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. 2010, 13: 145–155.

[11] Połoński M, Pruszyński K. Problematyka ryzyka w projektowaniu realizacji robót budowlanych (cz. 1). Przegląd Budowlany. 2006, 11: 46 – 50.

[12] Wan J, Liu Y. A System Dynamics Model for Risk Analysis during Project Construction Process, Open Journal of Social Sciences. 2014, <https://doi.org/10.4236/jss.2014.26052>.

[13] Budek-Wiśniewska K, Marcinkowski R. A Method of Optimizing a Set of Programs for Mitigating Threats Related to the Undertaking of a Contract for the Execution of Construction Works, Sustainability. 2021, <https://doi.org/10.3390/su132112309>.

Przyjęto do druku: 23.11.2022 r.