

Koncepcja analizy ryzyka podjęcia zamówienia na roboty budowlane z dynamicznym oddziaływaniem na warunki realizacji kontraktu

Dr hab. inż. Roman Marcinkowski, prof. uczelni, dr. inż. Anna Krawczyńska-Piechna, mgr inż. Katarzyna Budek-Wiśniewska, Wydział Budownictwa Mechaniki i Petrochemii, Politechnika Warszawska

1. Wprowadzenie

Ryzyko w realizacji przedsięwzięć budowlanych jest charakterystyką immanentną. Pochodzi ono z nie do końca odkrytych warunków realizacji robót, zmian otoczenia (fizycznego i organizacyjnego), nierzetelności kontrahentów, zdarzeń losowych, pomyłek ludzi itd. Ogólnie mówimy, że ryzyko jest pochodną zagrożeń, te zaś mają swoje źródła. Niektórzy utożsamiają pojęcie ryzyka z pojęciem zagrożenia. Tak jednak nie jest. Ryzyko powinno mieć odniesienie do decyzji lub celu działalności. Jest ono bowiem charakterystyką decyzji i jako takie nie występuje jako zdarzenie w toku prowadzenia działalności. Ryzyko występuje, gdy dla wszystkich zidentyfikowanych poziomów rozpatrywanych kategorii można oszacować prawdopodobieństwo jego wystąpienia na podstawie danych historycznych lub symulacji [1]. Trzeba też zdawać sobie sprawę, że ryzyko ma „swojego właściciela”. Nie jest ryzykiem katastrofa budowlana, czy odkrycie szczątków archeologicznych w czasie wykonywania robót. Są to zdarzenia, które mają wpływ na realizację przedsięwzięcia budowlanego, jednak dopóki nie ustalimy ryzyka na przykład czasu potrzebnego na zrealizowanie przedsięwzięcia w konkretnej decyzji, nie mamy do czynienia z ryzykiem. Decyzje zaś skierowane są na cele i podmioty, które je realizują.

Powyższą wykładnię zastosujemy do przedsięwzięć budowlanych. Ryzyko charakteryzuje każde zadanie inżyniersko-budowlane – budowę, odtworzenie lub modernizację budynków, dróg, mostów i różnych obiektów inżynierskich. Świadomość taką musi więc posiadać każdy wykonawca inwestycji budowlanej. Jego podstawową rolą powinno być określenie, jakiego rodzaju ryzyko oddziaływać będzie na realizowany przez niego projekt budowlany. Przeprowadzić więc powinien stosowną identyfikację źródeł i momentu wystąpienia ryzyka [2]. W realizacji każdej budowy uczestniczą inwestor i kontrahenci. Oczywiście każdy z nich może i powinien analizować ryzyko w swoim działaniu. Należy opracować reakcję na ryzyko. Jest to proces, w którym następuje opracowanie możliwych rozwiązań oraz działań, które mają na celu maksymalizację szans i minimalizację zagrożeń projektu [3]. Należy

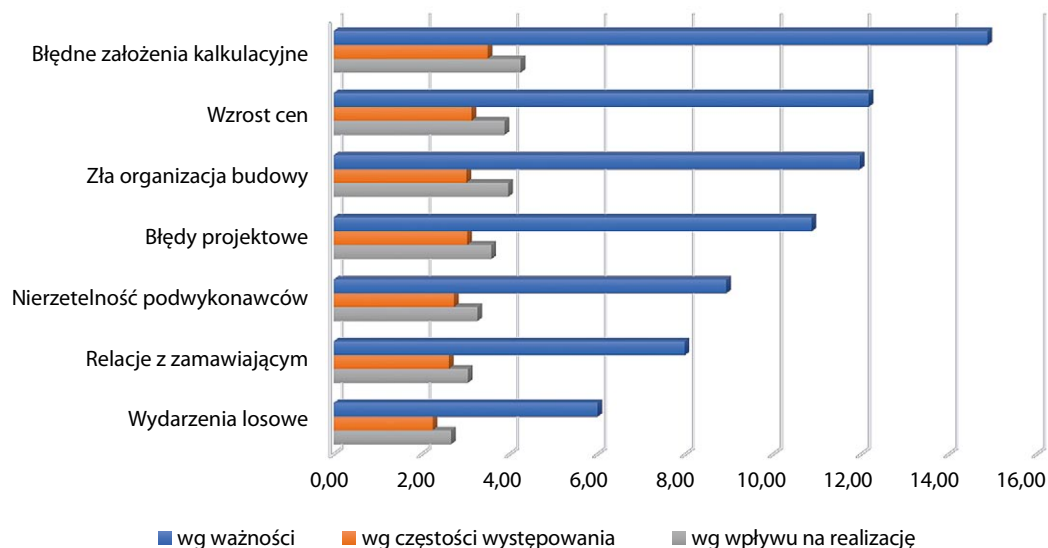
nie tylko analizować, ale też podejmować inicjatywy w celu ograniczenia ryzyka. Ograniczanie to odbywa się poprzez przekazywanie odpowiedzialności za zakłócenia innym podmiotom lub podejmowanie dodatkowych zabiegów w działaniu. Inwestor najczęściej będzie zabiegał o przeniesienie ryzyka innym uczestnikom procesu inwestycyjno-budowlanego. Kontrahenci skazani są natomiast na przyjęcie ryzyka lub podjęcie środków zapobiegających powstawaniu zagrożeń albo też dalsze przekazanie odpowiedzialności za zakłócenia innym współpracującym podmiotom.

Podjęcie decyzji przez wykonawcę robót budowlanych co do udziału w postępowaniu o zamówienie na wykonanie określonego zakresu robót jest zawsze związane z wieloma zagrożeniami. W chwili podejmowania decyzji nie dysponujemy nigdy kompletnym zbiorem informacji, jedynie wspieramy się danymi, które otrzymaliśmy z analizy historycznej. Wynika z tego konieczność prognozowania skutków oraz przyszłych rezultatów obecnych decyzji [4]. Znajomość zagrożeń i możliwości przeciwdziałania tym zagrożeniom są istotne w każdym kontrakcie. Pomimo starannych przygotowań nie jesteśmy w stanie uniknąć wystąpienia ryzyka. Kluczową jest wtedy możliwość zminimalizowania skutków zaistnienia niekorzystnych zdarzeń [5]. Dla wykonawców budowlanych jest to istotne na etapie podejmowania decyzji udziału w postępowaniu o udzielenie zamówienia i zawierania kontraktu. To zagadnienie jest przedmiotem niniejszej pracy. Ogólnie chodzi o podejście do problemu oceny zagrożeń w realizacji zamówienia, ryzyka podjęcia się jego realizacji i możliwości oddziaływania na warunki kontraktowe w celu sprowadzenia ryzyka do akceptowanego poziomu. Istotnymi nowymi elementami podejścia do takiego zakresu problemowego są: sposób analizy zagrożeń i oceny ryzyka kontraktu oraz podejście do ustalania możliwości jego ograniczania.

2. Zagrożenia w realizacji zamówienia na wykonanie robót budowlanych

Najistotniejszymi elementami w analizie ryzyka realizacji przedsięwzięć są zagrożenia. Zagrożenia trzeba umieć

Rys. 1. Przyczyny powstawania strat w realizacji przedsięwzięć w branży drogowej – według rangi ważności, ze wskazaniem wpływu na realizację i częstość występowania (źródło: opracowanie własne)



identyfikować, oceniać ich źródła, oddziaływanie na cele przedsięwzięcia, określać możliwości im zapobiegania. Okazuje się, że w realizacji określonej działalności budowlanej zagrożenia można identyfikować na podstawie zrealizowanych już kontraktów budowlanych. Mają one aspekt powtarzalności zarówno w zakresie charakteru, jak i częstości występowania w danym rodzaju działalności budowlanej. Można więc z dużą dozą prawdopodobieństwa wykorzystać wiedzę ze zrealizowanych kontraktów do oceny oferowanych na rynku budowlanym zamówień na roboty budowlane. W celu identyfikacji zagrożeń w realizacji przedsięwzięć przeprowadzono badania ankietowe. Celem ich było ustalenie najważniejszych i najczęstszych przyczyn strat w realizacji przedsięwzięć budowlanych w branży drogowej. Badania przeprowadzono w 2020 roku z użyciem kwestionariusza internetowego, na grupie facebookowej „Sensowna Praca dla Inżynierów Budownictwa”; uzyskano 60 odpowiedzi.

Pierwsza część ankiety ukierunkowana była na wskazanie najważniejszej przyczyny powstawania strat w realizacji kontraktów. Ankietowani otrzymali listę 7 możliwych przyczyn powstawania strat, które oceniali pod względem wpływu na realizację kontraktu oraz częstości występowania. Przyczyny te, jako czynniki badanego zjawiska, zostały określone na podstawie doświadczenia zawodowego autorki badań i specjalistów pracujących w branży drogowej. Były to: wydarzenia losowe (np. złe warunki atmosferyczne), zła organizacja budowy, wzrost cen materiałów i robocizny, błędy projektowe, błędne założenia kalkulacyjne, nierzetelność podwykonawców, relacje z zamawiającym (tzn. jak przebiegała wcześniejsza współpraca).

Ocena odbywała się w dwóch krokach. W pierwszym etapie respondenci oceniali wpływ danego czynnika na realizację kontraktu, a następnie częstość jego występowania w trakcie realizacji kontraktu. Swoją opinię wyrażali liczbowo, stosując pięciostopniową skalę: 1 – nie wpływa (nigdy), 2 – mały wpływ (sporadycznie), 3 – średni wpływ (często), 4 – duży wpływ (bardzo często), 5 – bardzo duży wpływ (ciągle).

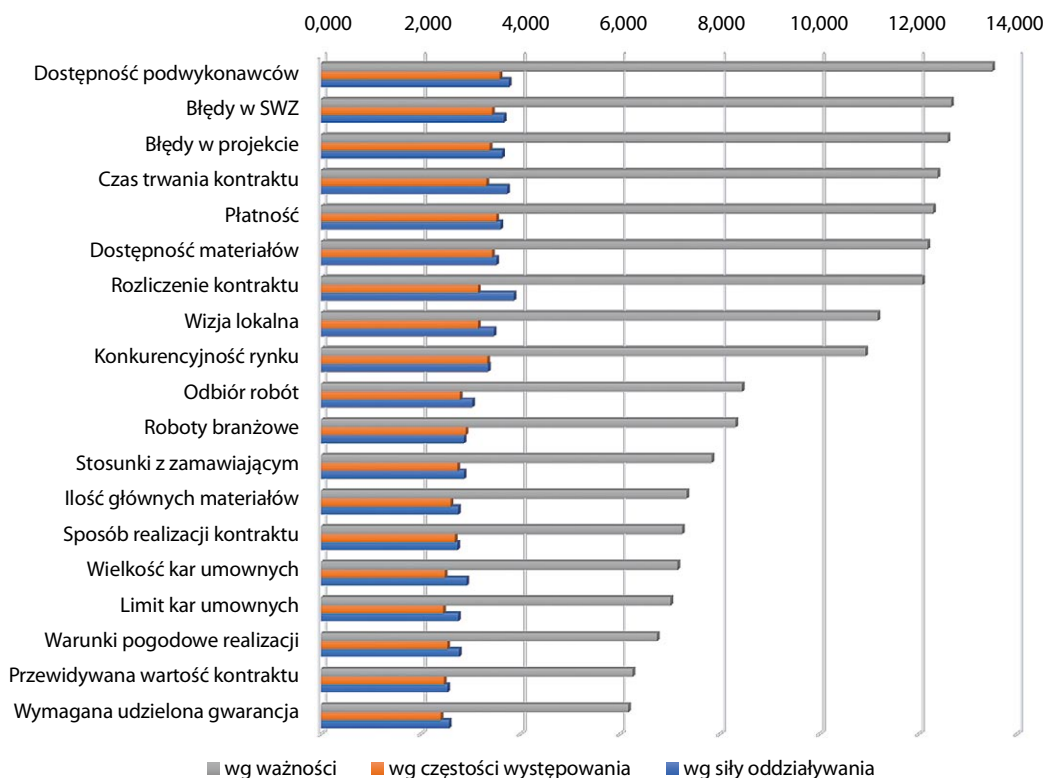
Analiza uzyskanych wyników, przy wykorzystaniu metodyki E. Roszkowskiej [6], pozwoliła określić rangę przyczyn powstawania strat ze względu na wpływ czynników na realizację kontraktu oraz częstość występowania. Określono również ważność danego czynnika (W) jako iloczyn średniej siły oddziaływania (SO) i średniej częstości występowania (C) danego czynnika [7]. Wyniki zostały zestawione na rysunku 1, według kryterium ważności.

Z rysunku 1 wynika, że według ankietowanych najważniejszą, a zarazem najczęstiej występującą i mającą największy wpływ na realizację kontraktu przyczyną są błędne założenia kalkulacyjne kosztów realizacji przedsięwzięć budowlanych. Jednocześnie warto zauważyć, że w opinii wykonawców wzrost cen ma większą ważność niż zła organizacja budowy. Istotny wzrost cen materiałów budowlanych i usług wykonawczych negatywnie wpływa na rentowność i płynność przedsiębiorstw budowlanych, bez względu na ich wielkość.

Druga część ankiety wskazała, jakie czynniki, możliwe do zidentyfikowania na etapie przygotowywania oferty (mogące być źródłem powstawania strat w realizacji przedsięwzięć budowlanych w branży drogowej) są najważniejsze. Badanym zaproponowano do oceny listę 19 czynników (źródła zagrożeń). Ocena ta, podobnie jak w pierwszej części ankiety, odbywała się dwuetapowo. Dla poszczególnych czynników obliczono oceny średnie, które zostały zestawione na rysunku 2 i uszeregowane według kryterium ważności.

Z rysunku 2 wynika, że w opinii wykonawców budowlanych, można wyróżnić 9 najważniejszych źródeł zagrożeń możliwych do identyfikacji na etapie przetargu. Są to: dostępność podwykonawców, błędy w SWZ (specyfikacji warunków zamówienia) – w części dotyczącej opisu przedmiotu zamówienia, błędy w projekcie, czas trwania kontraktu, płatność (tylko końcowa lub możliwość odbiorów częściowych), wizja lokalna (czy się odbyła), konkurencyjność rynku. Po 9 pierwszych czynnikach następuje skokowy spadek ważności. Można więc uznać, że inne zagrożenia mają małą

Rys. 2. Źródła zagrożeń w realizacji przedsięwzięć w branży drogowej – według rangi ważności, ze wskazaniem ich wpływu na realizację i częstotliwość występowania oraz siłę oddziaływania (źródło: opracowanie własne)



wagę i mogą nie być brane pod uwagę w ocenach ryzyka podjęcia kontraktów w branży drogowej.

Badania ankietowe wykazały również, że doświadczenia zawodowe osób ankietowanych znacznie się różnią. Zagrożenia dla realizacji kontraktu zależą od rodzaju robót, zakresu przedsięwzięcia i warunków określonych przez zamawiającego dla oferentów. Najważniejszą przyczyną strat podczas realizacji kontraktów w branży drogowej okazały się bowiem błędne założenia kalkulacyjne.

3. Ocena ryzyka

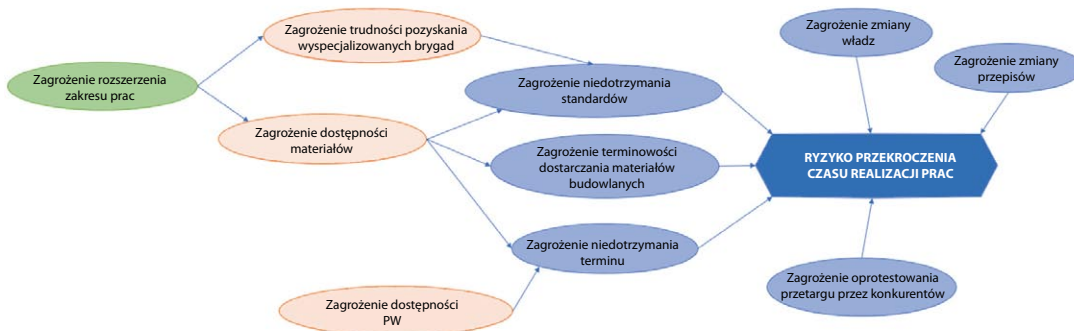
W literaturze i praktyce występują różne metody i techniki analizy ryzyka – jakościowe, ilościowe, w tym także statystyczne, jak i informatyczne, wspomagające wykorzystanie metod ilościowych i jakościowych [8]. Niezależnie od zastosowanej metody zadaniem analityka jest przede wszystkim ocena prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia i ustalenie wielkości (siły) oddziaływania jego wystąpienia. Siłę oddziaływania należy rozumieć jako siłę wpływu zagrożenia

na cel – podobnie będzie traktowana siła oddziaływania w proponowanym modelu.

W pracy przedstawia się koncepcję modelu i algorytmu klasyfikowania końcowego efektu wpływu zagrożeń zidentyfikowanych w kontrakcie na określone ryzyko. Przykładowymi mogą być: ryzyko przekroczenia kosztów lub czasu realizacji kontraktu o określoną wartość, a także ryzyko niedotrzymania pożądanej jakości robót, skutkujące widmem przeprowadzenia napraw gwarancyjnych w określonej kwocie. Te trzy ryzyka – kosztowe, harmonogramowe i jakościowe były przedmiotem różnych opracowań [9, 10, 12]. W proponowanym przez autorów modelu problemu przyjęto jednak, w odróżnieniu od większości modeli literaturowych, że na etapie planowania kontraktu (jak i jego realizacji) potencjalne zagrożenia mogą występować niezależnie (samistnie), jak również mogą być częściowo zależne od siebie, tj. jedno zagrożenie może być źródłem wystąpienia kolejnego. Dobrze obrazuje to tzw. mapa zagrożeń (rys. 3).

Budowanie dynamicznych map do analizy ryzyka w procesie budowlanym było już opisywane w literaturze [11, 12],

Rys. 3. Mapa zagrożeń wpływających na ryzyko przekroczenia czasu realizacji prac



gdzie autorzy zaprezentowali model relacji między zagrożeniami, pojawiającymi się w trakcie realizacji procesu budowlanego, wskazując przy tym zagrożenia, które wzajemnie się wzmocniają i osłabiają. W proponowanym w niniejszym artykule modelu, model analizy ryzyka przyjmuje postać grafu – sieci, której wierzchołkami są zagrożenia, a łukami – oddziaływania między nimi. Relacja pomiędzy dwoma wierzchołkami sieci (zagrożeniami) i oraz j nazywana będzie siłą oddziaływania zagrożenia i na zagrożenie j , i oznaczać się ją będzie jako IF_{ij} . W modelu tym analizowane są wyłącznie relacje „wzmocniające” zagrożenia względem siebie (por. rys. 3).

W teorii zarządzania ryzykiem, dla prawdopodobieństwa i skutku (siły) oddziaływania zagrożenia przyjmowana jest zazwyczaj dyskretna skala ocen, np. 1–3, 1–5, 1–10. Podobnie w rozpatrywanym modelu, siła oddziaływania przyjmuje wartości w skali 1–3 i docelowo będzie przypisywana przez managera kontraktu zgodnie z opracowywaną przez autorów metodyką wartościowania.

• Każdy z wierzchołków i sieci charakteryzuje się prawdopodobieństwem wystąpienia zagrożenia TL_i , które ma dwie składowe:

- prawdopodobieństwo własne wystąpienia TLO_i ,
- „wzmocnienie” wskutek wystąpienia zagrożeń poprzedzających rozpatrywane zagrożenie TLP_i .

Obie składowe wartościuje się osobno w skali 1–3 i sumuje, co oznacza, że całkowite prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia może przyjmować wartość 1–6:

$$TL_i = TLO_i + TLP_i \quad (1)$$

Prawdopodobieństwo własne wystąpienia zagrożenia (TLO_i) określa menadżer kontraktu – ekspert, którego zadaniem jest rozpoznanie warunków realizacji danego kontraktu, np. sytuacji na rynku pracy, dostępności materiałów, podwykonawców, uwarunkowań formalnoprawnych kontraktu itp. Metodyka wartościowania tego prawdopodobieństwa będzie stanowić przedmiot dalszych badań. Z kolei „wzmocnienie” prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia i stanowi pochodną sił oddziaływania IF_{pi} i prawdopodobieństw wystąpienia zagrożeń poprzedzających TL_p rozpatrywane zagrożenie, zgodnie ze wzorem:

$$TLP_i = \begin{cases} 0, & \text{jeżeli } \{P_i\} = \emptyset \\ 1, & \text{jeżeli } \frac{\sum_{p \in \{P_i\}} TL_p \cdot IF_{pi}}{3 \cdot 6 \cdot \text{card } \{P_i\}} < \frac{1}{3} \\ 2, & \text{jeżeli } \frac{1}{3} \leq \frac{\sum_{p \in \{P_i\}} TL_p \cdot IF_{pi}}{3 \cdot 6 \cdot \text{card } \{P_i\}} < \frac{2}{3} \\ 3, & \text{jeżeli } \frac{\sum_{p \in \{P_i\}} TL_p \cdot IF_{pi}}{3 \cdot 6 \cdot \text{card } \{P_i\}} \geq \frac{2}{3} \end{cases} \quad (2)$$

gdzie $\{P_i\}$ to zbiór zagrożeń bezpośrednio poprzedzających rozpatrywane zagrożenie i .

Analiza zagrożeń za pomocą mapy ryzyka stanowi szkielet systemu doradczego, mającego na celu wspomóc menadżera kontraktu w określeniu, jak duże (w skali 3-stopniowej) jest prawdopodobieństwo, że dane ryzyko wystąpi podczas potencjalnej realizacji analizowanego kontraktu. Ostateczny poziom tego ryzyka określa zależność:

$$R = \begin{cases} 1, & \text{jeżeli } \frac{\sum_{p \in \{P_r\}} TL_p \cdot IF_{pr}}{3 \cdot 6 \cdot \text{card } \{P_r\}} < \frac{1}{3} \\ 2, & \text{jeżeli } \frac{1}{3} \leq \frac{\sum_{p \in \{P_r\}} TL_p \cdot IF_{pr}}{3 \cdot 6 \cdot \text{card } \{P_r\}} < \frac{2}{3} \\ 3, & \text{jeżeli } \frac{\sum_{p \in \{P_r\}} TL_p \cdot IF_{pr}}{3 \cdot 6 \cdot \text{card } \{P_r\}} \geq \frac{2}{3} \end{cases} \quad (3)$$

gdzie: $\{P_r\}$ – to zbiór zagrożeń bezpośrednio oddziałujących na rozpatrywane ryzyko.

4. Koncepcja metody ograniczania ryzyka

Celem określenia możliwości ograniczania ryzyka w potencjalnym ofertowaniu do zamówienia na roboty budowlane można określić sposoby ograniczania zagrożeń i rodzajów ryzyka w procesie realizacji kontraktu budowlanego. Zagrożenia to zidentyfikowane możliwe zdarzenia w przygotowaniu, realizacji i rozliczaniu kontraktu – w sytuacji wyboru złożonej oferty przez zamawiającego.

Na zbiorze elementów zagrożeń (zbiór T) powinny być określone programy ograniczenia zagrożeń. Przyjmijmy, że tworzą one zbiór $R = \{r; j = 1, 2, \dots, m\}$ (reduction). Programy dotyczą konkretnych działań, które można podjąć w celu wyeliminowania określonych zagrożeń. Każdy z programów ustala zbiór zagrożeń, które zostaną ograniczone w wyniku jego przeprowadzenia. Każdy program ma określony koszt realizacji $C = \{c; j = 1, 2, \dots, m\}$ (cost). Istotą problemu jest wyznaczenie optymalnych zbiorów programów ograniczenia zagrożeń w zdefiniowanych przekrojach zbioru T .

Model problemu jest następujący. Dla każdego zbioru $T_o \subset T$, stanowiącego przekrój zbioru T , należy określić zbiory programów $R_w \subset R$ wystarczające do pokrycia swoim oddziaływaniem zbioru T_o i ustalić taki zbiór programów, który spełnia kryterium minimalizacji sumy kosztów programów R_w , określone w sposób następujący:

$$R_{opt} = R^*: C(R^*) = \min_{R_w \subset \varphi} C(R_w),$$

$$\varphi = \{R_w; R_w \subset R, w = 1, 2, \dots, z\},$$

$$z = \sum_{k=1}^r \frac{r!}{(r-k)!}; r = |R| \quad (4)$$

gdzie: R_w – zbiór kombinacji programów wystarczających do pokrycia swoim oddziaływaniem zbioru T_o ; $C(R_w)$ – koszt programów R_w .

Metoda rozwiązania tego problemu wykorzystuje algorytm wyznaczania minimalnych pokryć w grafie skierowanym utworzonym z zagrożeń i programów ich ograniczania. Stosując ten algorytm, wyznacza się kombinacje programów ograniczania zagrożeń, wystarczające do wyeliminowania zbioru T_o . Algorytm wyznaczania minimalnych pokryć w grafie wymaga stosowania algebry Boole'a, co jest dosyć uciążliwe bez odpowiedniego oprogramowania. Opracowany przez autorów program komputerowy przekształcający wyrażenie alternatywno-koniunkcyjne do postaci nieredukowalnej sumy Boolowskiej (*mfa*) znakomicie usprawnia tego typu analizy.

Przykład

Dla określonego zbioru zagrożeń $T_o = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_8\}$, określono 6 programów ich ograniczania. Macierz identyfikująca możliwości ograniczenia zagrożeń w poszczególnych programach jest przedstawiona w tabeli 1.

Tabela 1. Model programów ograniczania zagrożeń w badanym kontrakcie (przykład)

Programy ograniczania zagrożeń i ich koszty		Zagrożenia i binarna macierz oddziaływania programów na zagrożenia							
R	C	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈
r ₁	c ₁	1	0	1	1	0	0	0	1
r ₂	c ₂	0	1	0	1	0	1	0	0
r ₃	c ₃	1	1	1	0	0	0	0	1
r ₄	c ₄	1	1	1	1	0	0	1	0
r ₅	c ₅	0	0	0	0	1	1	1	1
r ₆	c ₆	0	0	1	0	0	1	0	0

Stosując algorytm wyznaczania minimalnych pokryć w grafie, wyznaczamy kombinacje programów ograniczania zagrożeń, wystarczające do ograniczenia wszystkich zagrożeń (elementów badanego zbioru T_o). Są to w przykładzie kombinacje: r_4 i r_5 lub r_1 i r_2 i r_5 lub r_1 i r_3 i r_5 lub r_2 i r_3 i r_5 . Ostateczny wybór programów do zastosowania w danym zamówieniu następuje po przeanalizowaniu kosztów kombinacji programów.

5. Podsumowanie

Nie wszystkie przedsiębiorstwa posiadają strategię lub modele decyzyjne, ułatwiające eliminację nieoczekiwanych działań wpływających na powstawanie ryzyka. W efekcie większość przedsiębiorstw działa w sytuacji kryzysowej. Z tego powodu ważne jest stworzenie narzędzia

decyzyjnego dla przedsiębiorstw działających w określonej branży budownictwa, które już na etapie przygotowywania oferty w postępowaniu o udzielenie zamówienia da odpowiedź potencjalnemu wykonawcy, czy dane przedsięwzięcie będzie dla niego ryzykowne, jak dużym ryzykiem będzie obciążona realizacja danego kontraktu, a także odpowiedź, jakim rodzajem zagrożenia obciążone jest przedsięwzięcie. Bowiem tylko pomyślny przebieg przedsięwzięcia gwarantuje wykonawcom zadań budowlanych zwrot z zyskiem poniesionych kosztów zaangażowania zasobów.

W ramach prac nad przedstawioną koncepcją zostanie opracowany system doradczy dla przedsiębiorstw branży drogowej (każda działalność w budownictwie cechuje się różnymi zagrożeniami), wspomagający przedsiębiorców w analizie ryzyka realizacji kontraktu. W przygotowaniu tego narzędzia zostaną wykorzystane wiedza i dane uzyskane od ekspertów, z analizy zrealizowanych kontraktów, własnego doświadczenia zawodowego autorów oraz dyskusji ze specjalistami pracującymi w branży drogowej. Aby poznać odpowiedź, czy dane przedsięwzięcie jest ryzykowne, jak duże jest ryzyko powstania strat oraz jakie zagrożenia mogą wystąpić w trakcie realizacji przedsięwzięcia i co można przedsięwziąć w celu zmniejszenia ryzyka, potrzebne są bardzo różne, wieloaspektowe informacje.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Marcinek K., Ryzyko projektów inwestycyjnych, Prace Naukowe, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Katowice, 2001, str. 219
- [2] Kasprzowicz T., Ryzyko i niepewność zadań inżynierijsko-budowlanych o strukturze deterministycznej, XLIII Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Politechnika Poznańska, Poznań – Krynica, 1997
- [3] Trzeciak M., Spalek S., Zarządzanie ryzykiem w ramach metodyk tradycyjnych oraz zwinnych w zarządzaniu projektami, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Organizacja i Zarządzanie z. 93, nr kol. 1957, 2016
- [4] Moore P. G., Ryzyko w podejmowaniu decyzji, PWE, Warszawa 1975, str. 15
- [5] Stępień P., Zarządzanie ryzykiem projektów, Zarządzanie i Rozwój 9/2001
- [6] Roszkowska E., Rank Ordering Criteria Weighting Methods – a Comparative Overview, Optimum. Studia ekonomiczne 5(65)2013, str. 14–33
- [7] Jaśkowski P., Biruk S., Analiza czynników ryzyka czasu realizacji przedsięwzięć budowlanych, Czasopismo Techniczne, R. 107, z. 1-B/2010, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2010, str. 157–166
- [8] Szczepankiewicz E. I., Wykorzystanie punktowej metody oszacowania ryzyka operacyjnego w instytucjach finansowych, Studia Ekonomiczne, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach 298/2016, str. 100–114
- [9] Rybka I., Bondar-Nowakowska E., Zastosowanie macierzy reagowania na ryzyko w projektach systemów kanalizacyjnych, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 13/2010, str. 145–155
- [10] Połoński M., Pruszyński K., Problematyka ryzyka w projektowaniu realizacji robót budowlanych (cz. 1), Przegląd Budowlany 11/2006, str. 46–50
- [11] Wan J., Liu Y., A System Dynamics Model for Risk Analysis during Project Construction Process, Open Journal of Social Sciences 2/2014, str. 451–454
- [12] Wang J., Yuan H., System Dynamics Approach for Investigating the Risk Effects on Schedule Delay in Infrastructure Projects, Journal of Management in Engineering 33(1)2017