

Iwona Pisz

Uniwersytet Opolski, Wydział Ekonomiczny, Zakład Logistyki i Marketingu

Iwona Łapuńska

Politechnika Opolska, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, Instytut Innowacyjności Procesów i Produktów, Katedra Zarządzania Projektami

# Modelowanie i symulacja ryzyka projektu

## *Project risk modelling and simulation*

W pracy omówiono problematykę zarządzania ryzykiem projektu ze szczególnym uwzględnieniem fazy analizy ryzyka. Przedstawiono autorskie podejście do oceny ilościowej ryzyka. Analiza i kwantyfikacja ryzyka przeprowadzona została z wykorzystaniem modelowania rozmytego w środowisku MATLAB oraz modelowania i symulacji komputerowej w środowisku ADONIS. Przedstawiono przykład kwantyfikacji i hierarchizacji ryzyka na przykładzie rzeczywistego projektu realizowanego w branży energetycznej z wykorzystaniem Rozmytych Systemów Wnioskujących. W tym przykładzie pokazano wykorzystanie symulacji w programie ADONIS w celu oszacowania wpływu ryzyka na czas i koszt projektu. W pracy nie analizowano wpływu ryzyka na pozostałe cele projektu, tj. zakres, jakość.

### **Słowa kluczowe:**

ryzyko, niepewność, projekt, Rozmyty System Wnioskujący, modelowanie, symulacja, MATLAB, ADONIS.

The paper presents the problem of project risk management with particular emphasis on the risk assessment. The authors describe own approach to quantitative risk assessment. The proposed approach combine fuzzy modelling in MATLAB environments and modelling in ADONIS environment. The proposed approach has been applied for quantification and prioritization of project risk. An practical example of project has been presented in a chosen enterprise from energy industry. The sources of data used in the example were collected from interview surveys with project experts. Fuzzy Inference Systems are used to identify and assess potential risks. The risks were modelling in ADONIS. The authors used simulation in this system to assess the impact of risks on time and cost of the project. The authors did not assess the impact of project risk on the another project aims, i.e. scope and quality.

### **Key words:**

risk, uncertainty, project, Fuzzy Inference System, modelling, simulation, MATLAB, ADONIS.

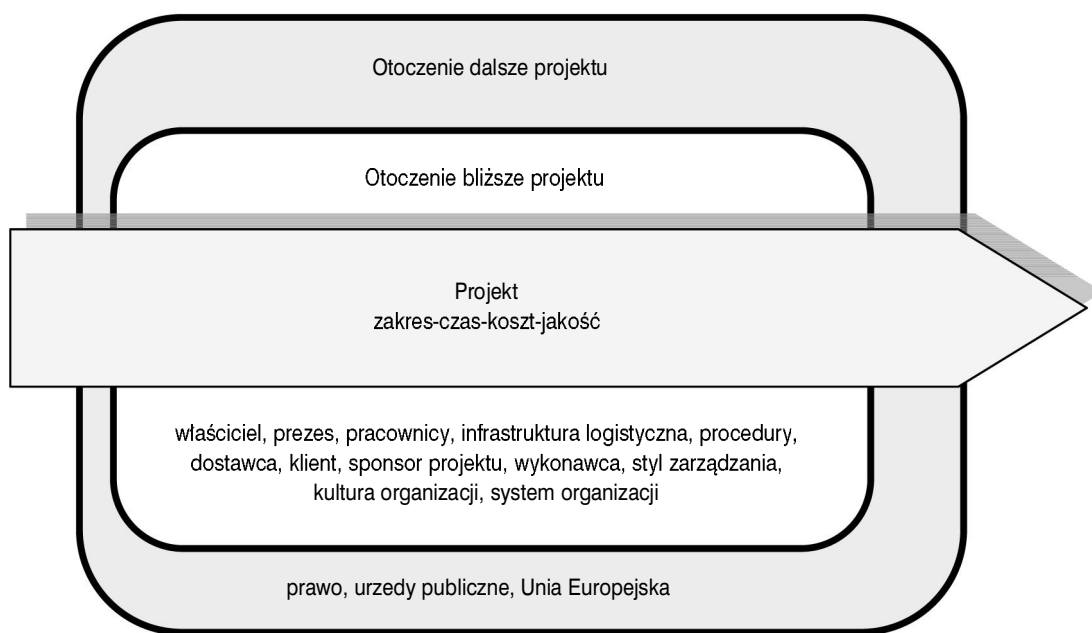
W ostatnich latach rośnie zapotrzebowanie na wiedzę i umiejętności z zakresu zarządzania ryzykiem (ang. *risk management*), w tym zarządzania ryzykiem projektów (ang. *project risk management*). Zarządzanie ryzykiem projektów stało się elementem kanonu wiedzy menedżerów, w szczególności menedżerów projektów (Łada, Kozarkiewicz, 2010). Wynika to z faktu, że każdej działalności biznesowej oraz każdemu podejmowanemu projektowi towarzyszy określony poziom ryzyka. Realizacja projektów wymaga zaangażowania określonych zasobów w ramach założonego budżetu przy zapewnieniu odpowiedniej jakości procesu i produktu oraz spełnieniu oczekiwań określonych grup interesariuszy. Sukces realizacji projektów zależy między innymi od prawidłowej identyfikacji ryzyk występujących w obszarze ich oddziaływania, analizy ich wpływu na dany projekt oraz od prawidłowej odpowiedzi na określone ryzyko (Raz, Shenhar, 2002, s. 101–109). Podstawo-

wą kwestią wymagającą reakcji decydentów, w tym menedżerów projektów, jest udzielenie odpowiedzi na następujące pytania:

- czy dane przedsiębiorstwo jest w stanie zaakceptować obecny i/lub spodziewany poziom ryzyka,
- czy dane przedsiębiorstwo potrafi zarządzać ryzykiem (Sońta-Drączkowska, 2012).

Zmienność rzeczywistości jest nieodzownym elementem przy realizacji każdego projektu. W praktyce oznacza to, że każdy projekt związany jest z określonym ryzykiem i niepewnością. Wynika to z faktu, iż projekt jest działaniem innowacyjnym, unikalnym, jednorazowym, realizowanym w zmiennym otoczeniu przez grupę określonych podmiotów (pracowników, przedsiębiorstw) przy wykorzystaniu określonych zasobów dostępnych w określonym czasie (rys. 1). W każdym z elementów otoczenia bliższego lub dalszego projektu mogą nastąpić nieoczekiwane zmiany (prawdopodobieństwo, zakres i sposób oddziaływa-

Rysunek 1  
Otoczenie projektu



Źródło: opracowanie własne.

nia elementów otoczenia projektu), które mogą wpłynąć bezpośrednio lub pośrednio w większym lub mniejszym stopniu na dany projekt. Zmienność otoczenia kreuje określone elementy ryzyka. Warunki realizacji projektów zależą od wielu czynników trudnych do przewidzenia, spośród których wyróżnić można: zmiany w poziomie popytu i podaży na określony produkt lub usługę, warunki atmosferyczne, dostępność zasobów, poziom cen i kosztów, kursy walut, stopy procentowe, awaryjność maszyn i urządzeń, kompetencje członków zespołu projektowego, jakość i czas przepływu informacji, bezpieczeństwo systemów informatycznych, zaufanie partnerów biznesowych, poziom komunikacji, motywacje pracowników, innowacyjność, styl zarządzania itp.

Poziom ryzyka rośnie w postępie geometrycznym w zależności od horyzontu planistycznego. Ryzyko projektu jest tym większe, im większa jest niepewność co do wyników projektów, niebezpieczeństwa niewypełnienia założeń, oczekiwań i sformułowanych celów (Pawlak, 2006). Należy podkreślić, że nie da się całkowicie wyeliminować ryzyka. Można jedynie dążyć do zmniejszenia oddziaływania określonych czynników ryzyka do minimum poprzez odpowiednie działania, tj. wprowadzenie do przedsiębiorstwa zasad, metod, mechanizmów zarządzania ryzykiem projektów.

Zasadniczym celem pracy jest ukazanie istoty procesu zarządzania ryzykiem projektu. Szczególną uwagę zwrócono na fazę identyfikacji i oceny ilościowej ryzyka. Zaprezentowano podejście do modelowania i symulacji ryzyka projektu, które integruje środowi-

ska informatyczne MATLAB i ADONIS. Przedstawiony przykład analizy i kwantyfikacji ryzyka dotyczy realizacji wybranego projektu w jednym z przedsiębiorstw branży energetycznej w Polsce. Wykorzystano w tym celu autorskie podejście do szacowania i oceny ryzyka projektu.

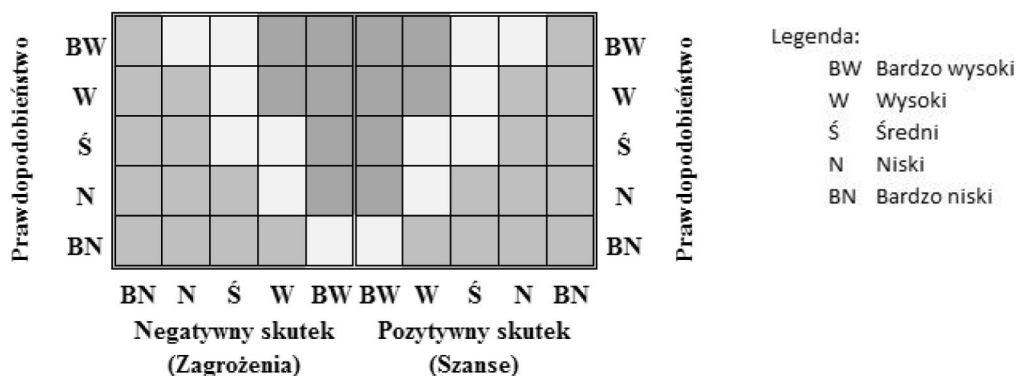
### Istota procesu zarządzania ryzykiem projektu

W zarządzaniu projektami ryzyko (ang. *risk*) definiowane jest jako przyszłe zdarzenie, którego rezultatem jest negatywna lub pozytywna zmiana w projekcie (Wysocki, McGary, 2005). Zgodnie z neutralną koncepcją ryzyka jest ono traktowane jako zagrożenie z jednej strony. Z drugiej strony oznacza możliwą szansę na jego uniknięcie. Neutralna koncepcja ryzyka ma związek z działaniem, w którym wynik nie jest znany. W praktyce oznacza to, że dany wynik może być gorszy lub lepszy. Natomiast negatywna koncepcja ryzyka jednoznacznie określa je jako zagrożenie. Oznacza to, że ryzyko niesie ze sobą wyłącznie stratę, szkodę, niezrealizowanie określonego celu w podejmowanym projekcie (Hillson, 2002, s. 235–240). W praktyce najczęściej ryzyko w ogólnym rozumieniu ma wydźwięk pejoratywny i jest utożsamiane z określoną stratą.

Ryzyko składa się z określonych komponentów, którymi są przede wszystkim zdarzenia w postaci określonej zmiany (pożądanego lub niepożądanego), prawdopodobieństwa (ang. *risk probability*) wystąpie-

Rysunek 2

Macierz prawdopodobieństwa i skutków ryzyka



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Hillson, 2002, 235–240.

nia danego zdarzenia (szanse lub zagrożenia; ang. *threats, opportunities*), wpływu (ang. *impact assessment*) na możliwości wystąpienia w związku z danym zdarzeniem ryzyka na cele projektu (wpływ pozytywny lub negatywny). Prawdopodobieństwo oraz skutek powinny być oceniane dla każdego zidentyfikowanego ryzyka w podejmowanym projekcie. Na rysunku 2 przedstawiono macierz prawdopodobieństwa i skutków ryzyka (ang. *probability and impact matrix*) ujmującą zarówno ryzyko rozumiane jako zagrożenie, a także postrzegane jako szansa.

Ograniczenie negatywnych skutków, jak i zwiększenie pozytywnych skutków ryzyka wymaga od menedżera projektu świadomego oddziaływania na dane ryzyko. Skuteczność tego procesu zależy od wielu czynników. Istotnym zagadnieniem jest zrozumienie natury ryzyka oraz przyczyn, które je wywołują (Skalik, 2009). Jednym ze znaczeń, które definiuje ryzyko i jego wpływ na zarządzanie projektami, jest prawdopodobieństwo (możliwość) wystąpienia zdarzenia, które będzie niekorzystnie lub korzystnie wpływać na osiągnięcie danego celu projektu. Prawdopodobieństwo wystąpienia danego zdarzenia można oszacować na podstawie analizy danych empirycznych z przeszłości, wykorzystując wiedzę i doświadczenie ekspertów lub stosując techniki symulacji. W przypadku braku możliwości wcześniejszej oceny przyszłych poziomów parametrów projektu oraz prawdopodobieństwa ich wystąpienia mamy do czynienia z niepewnością. Ryzyko i niepewność są często utożsamiane ze sobą, pomimo występowania między nimi formalnej różnicy. Ryzyko występuje bowiem w sytuacji, w której w odniesieniu do danego projektu można określić prawdopodobieństwo obiektywnie lub subiektywnie. Niepewność wynika z braku pewności, bezpieczeństwa, dostępu do pełnej informacji (Cooper, Grey, Raymond, Walker, 2005). Niepewność jest kategorią niemierzalną w przeciwieństwie do kategorii ryzyka. W przypadku niepewności nie można

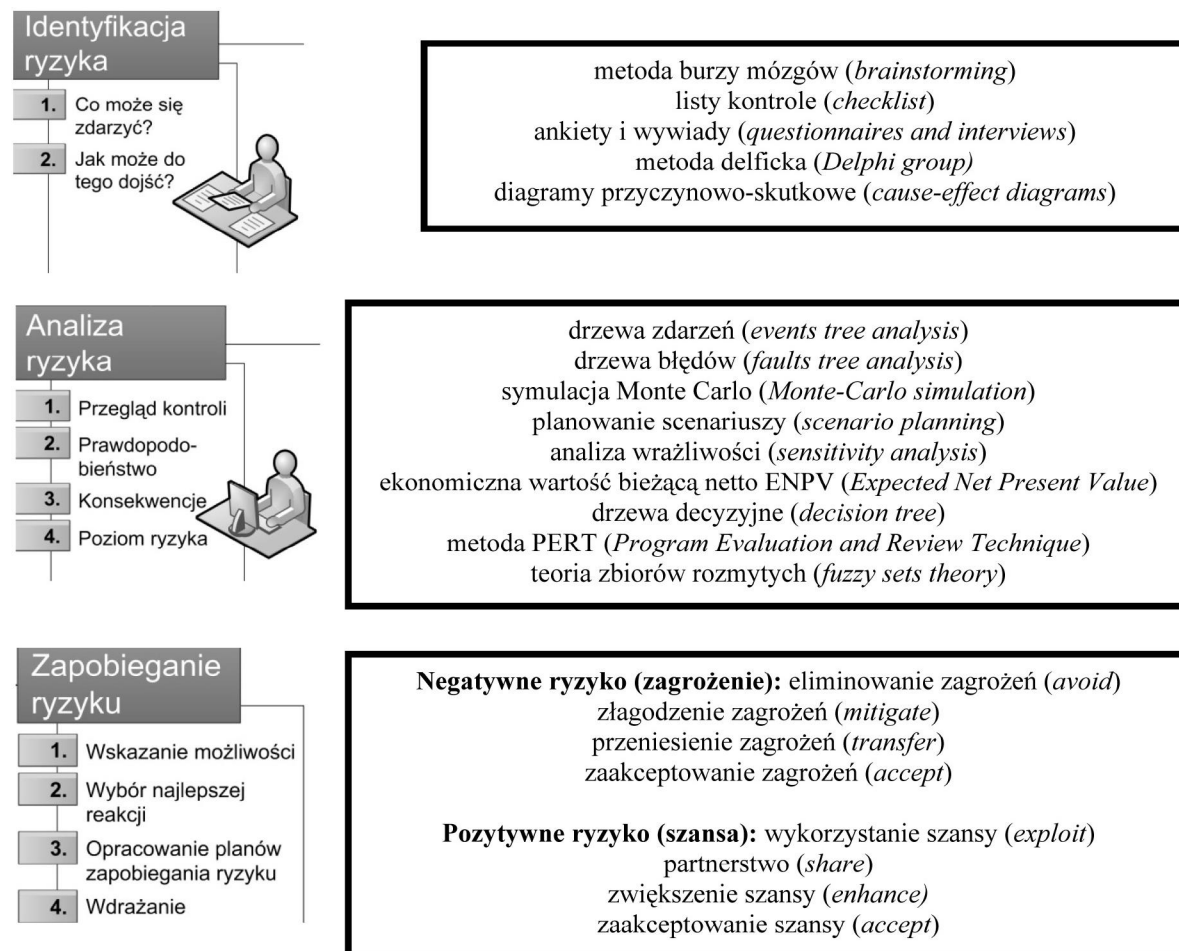
powiązać prawdopodobieństwa z określoną możliwością wystąpienia danego zdarzenia. Ryzyko z kolei uznaje się jako niepewność mierzalną (Kaczmarek, 2010).

Świadomość istnienia ryzyka determinuje potrzebę określenia jego źródeł oraz właściwych reakcji na dane ryzyko, co jest przedmiotem działań zarządzania ryzykiem. Proces zarządzania ryzykiem koncentruje się na identyfikacji, analizowaniu, kontroli, akceptowaniu różnych rodzajów ryzyka i niepewności, które mogą wpłynąć na wykonanie danego projektu. Głównym celem zarządzania ryzykiem jest minimalizacja ryzyka niepowodzenia projektu (Jajuga, 2010). Zarządzanie ryzykiem projektu jest specyficznym procesem decyzyjnym wspomagającym osiągnięcie zaplanowanych celów projektu, umożliwiającym ograniczenie do akceptowalnego poziomu lub całkowitą eliminację wszelkich ryzyk zagrażających właściwej realizacji projektu i/lub wzmocnienie potencjalnych szans dla efektywnej realizacji projektu. Należy podkreślić, że zarządzanie ryzykiem projektu powinno mieć charakter planowy i celowy. W praktyce proces zarządzania ryzykiem składa się z kilku faz. Większość teoretyków i praktyków zgadza się z faktem, że proces zarządzania ryzykiem projektu składa się z fazy identyfikowania ryzyka (ang. *risk identification*), analizy jakościowej i/lub ilościowej ryzyka (ang. *qualitative, quantitative risk analysis*), planowania reakcji na ryzyko (ang. *risk response planning*) oraz monitorowania i kontroli (ang. *risk monitoring and control*) zagrożeń i/lub szans, które mogą negatywnie lub pozytywnie oddziaływać na dany projekt (Elbrahimnejad, Mosavi, Seyrafiapour, 2010, s. 575–586).

Proces zarządzania ryzykiem powinien stanowić integralną część zarządzania projektami, szczególnie w przypadku dużych, złożonych projektów. W poszczególnych fazach zarządzania ryzykiem projektu wykorzystuje się odpowiednie metody oraz narzędzia wspomagające dany proces. Na rysunku 3 przedsta-

Rysunek 3

Narzędzia i metody wykorzystywane w fazach zarządzania ryzykiem projektu



Źródło: opracowanie własne.

wiono możliwe metody i narzędzia wykorzystywane w procesie identyfikacji, kwantyfikacji ryzyka oraz w fazie planowania reakcji na ryzyko. Nie ma jednej uniwersalnej metody i narzędzia dedykowanych tym fazom. W zależności od typu, wielkości, zakresu, budżetu, czasu realizacji projektu, kultury projektowej, poziomu dojrzałości projektowej przedsiębiorstwa stosuje się mniej lub bardziej wysublimowane metody oraz narzędzia w procesie zarządzania ryzykiem projektu. W kolejnym punkcie przedstawione zostanie autorskie podejście do identyfikacji i analizy ryzyka projektu na rzeczywistym przykładzie ilustrującym podejmowany w ramach pracy problem.

### Przykład ilustrujący problem identyfikacji i analizy ryzyka projektu

Rozpatrywany jest przykład projektu wykonania nowej powłoki płaszcza żelbetowego akceleratora uzdatniającego wodę na potrzeby technologiczne w procesie wytwarzania energii elektrycznej w jed-

nym z przedsiębiorstw branży energetycznej. W wyniku przeprowadzonych działań zmierzających do identyfikacji potencjalnych ryzyk opracowano katalog podstawowych kategorii ryzyka w podejmowanym projekcie. Należy podkreślić, że wyłonione ryzyka są w tym przypadku wyłącznie zagrożeniami (tab. 1). W rozpatrywanym projekcie nie analizowano możliwości wystąpienia pozytywnych ryzyk w postaci szans.

W przypadku identyfikacji i analizy ryzyka spotkało się z trudnościami zebrania doświadczalnych informacji numerycznych, na podstawie których można było utworzyć bazę wiedzy o badanym zjawisku, w tym przypadku o poziomie ryzyka towarzyszącego realizacji danego projektu. Wobec tego niezbędne stało się modelowanie z wykorzystaniem wiedzy eksperckiej oraz praw rządzących danym zjawiskiem i wykorzystanie symulacji w procesie identyfikacji i analizy ryzyka projektu. W procesie identyfikacji ryzyka skorzystano z wiedzy ekspertów-pracowników przedsiębiorstwa odpowiedzialnych za planowanie i realizację danego projektu. Przeprowadzono wy-

Tabela 1

Lista potencjalnych zagrożeń dla prawidłowej realizacji projektu

Kategoria ryzyka	Potencjalne ryzyko	Numer czynnika ryzyka
Ryzyko przetargowe	R <sub>p</sub> ryzyko braku oferty spełniającej merytoryczne i formalne warunki zamówienia ryzyko wystąpienia jedynie ofert przekraczających budżet projektu ryzyko protestu wobec postępowania przetargowego ryzyko korupcji	RF 1
		RF 2
		RF 3
		RF 4
Ryzyko organizacyjne	R <sub>o</sub> ryzyko złej organizacji prac	RF 5
Ryzyko technologiczne	R <sub>t</sub> ryzyko złego doboru technologii (rodzaj konstrukcji, materiały) ryzyko utrudnień spowodowanych wadami ukrytymi obiektu ryzyko nieszczelności powierzchni ryzyko wzrostu zapotrzebowania na wodę technologiczną	RF 6
		RF 7
		RF 8
		RF 9
Ryzyko finansowe	R <sub>f</sub> ryzyko złej kalkulacji ceny projektu ryzyko przeszacowania kosztów realizacji projektu ryzyko wzrostu cen materiałów spowodowane np. spadkiem kursu złotego w stosunku do innych walut	RF 10
		RF 11
		RF 12
Ryzyko czasowe	R <sub>c</sub> ryzyko złego harmonogramu prac ryzyko rozpoczęcia prac w późniejszym terminie niż zaplanowano ryzyko przekroczenia czasu przeznaczonego na wykonanie zadania	RF 13
		RF 14
		RF 15
Ryzyko zakresu prac	R <sub>zp</sub> ryzyko wystąpienia nieścisłości w specyfikacji projektu ryzyko niedokładnego określenia zakresu projektu	RF 16
		RF 17
Ryzyko zasobów ludzkich	R <sub>zl</sub> ryzyko absencji pracowników (np. choroba, szkolenia, wyjazdy służbowe) ryzyko wypadków przy pracy ryzyko niekompetencji pracowników	RF 18
		RF 19
		RF 20
Ryzyko zasobów technicznych	R <sub>zt</sub> ryzyko awarii sprzętu ryzyko konieczności długotrwałej naprawy urządzeń technologicznych ryzyko złego montażu rusztowań ryzyko złego ulokowania rusztowań ryzyko braku odpowiednich rusztowań ryzyko braku odpowiedniego sprzętu ryzyko braku odpowiednich materiałów	RF 21
		RF 22
		RF 23
		RF 24
		RF 25
		RF 26
		RF 27
Ryzyko jakościowe	R <sub>j</sub> ryzyko niespełnienia wymagań klienta ryzyko złej jakości wykonanych prac	RF 28
		RF 29

Źródło: opracowanie własne.

wiady z grupą wytypowanych ekspertów w celu identyfikacji kluczowych źródeł ryzyka zagrażających prawidłowej realizacji danego projektu.

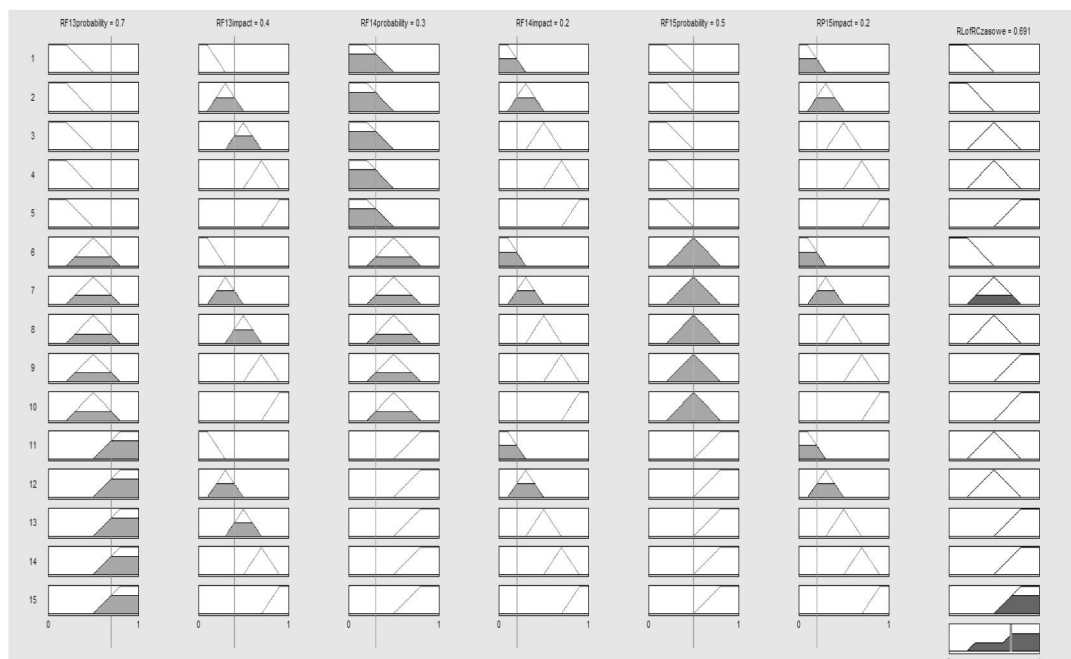
Zidentyfikowane ryzyka posłużyły do wyznaczenia ich prawdopodobieństwa oraz wpływu na dany projekt. Analizę ryzyka przeprowadzono z wykorzystaniem dedykowanych Rozmytych Systemów Wnioskujących (ang. *Fuzzy Inference Systems*) zaimplementowanych w systemie MATLAB. Zdecydowano się na oszacowanie ryzyka danego projektu bazującego na logice rozmytej. Wynika to z faktu, że logika rozmyta umożliwia formułowanie wniosków na podstawie przesłanek opartych na niepełnej, nieprecyzyjnej, niejednoznacznej, niedokładnej informacji (Zadeh, 1965, s. 338–353). Systemy rozmyte charakteryzują się dużą prostotą i elastycznością struktury przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej skuteczności. Są one oparte na bazie reguł JEŻELI-TO (ang. *IF-THEN*; Łęski, 2008). Praca tego typu systemów jest

zależna od definicji reguł rozmytych, które są zawarte w danej bazie reguł. Pojedyncza reguła może być w postaci: *IF ... THEN* lub przyjmować postać bardziej złożoną typu *IF ... AND ... THEN*. Należy zaznaczyć, że istotną cechą odróżniającą reguły rozmyte od klasycznych reguł *IF-THEN* jest wykorzystanie zmiennych opisujących zbiory rozmyte, występowanie mechanizmu opisującego stopień przynależności elementu do zbioru oraz wykorzystanie operacji na zbiorach rozmytych (Błaszczyk, Pisz, 2010, s. 112–121).

W celu analizy ryzyka rozpatrywanego projektu zbudowano dziesięć rozmytych systemów wnioskujących. Dedykowane systemy składają się z bloków rozmywania (ang. *fuzzification*), wnioskowania (ang. *inference*), wyostrzania (ang. *defuzzification*) oraz bazy wiedzy w postaci bazy reguł (ang. *knowledge base*; Rutkowski, 2006; Piegat, 2003). Systemy od jednego do dziewięciu umożliwiły analizę poziomu ryzyka po-

Rysunek 4

Mechanizm wnioskowania oparty na bazie reguł dla ryzyka czasowego



Źródło: opracowanie własne.

szczególnej grup (kategorii) ryzyka:  $R_p$ ,  $R_o$ ,  $R_v$ ,  $R_f$ ,  $R_c$ ,  $R_{zp}$ ,  $R_{zl}$ ,  $R_{zt}$ ,  $R_j$ . Przykładowo Rozmyty System Wnioskujący  $R_c$  umożliwił wyznaczenie poziomu ryzyka czasowego. Rysunek 4 przedstawia mechanizm wnioskowania zaimplementowany w systemie umożliwiającym wyznaczenie poziomu ryzyka dla kategorii  $R_c$ .

Każdy ze zbudowanych systemów jest typu MISO (ang. *Multiple Input Single Output*), co oznacza, że ma wiele wejść ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) i pojedyncze wyjście  $y_1$ . Pierwszym krokiem w budowie wieloetapowego podejścia do analizy ryzyka projektu z wykorzystaniem rozmytych systemów wnioskujących było określenie przez eksperta zmiennych lingwistycznych oraz wartości odpowiadających tym zmiennym. Wartości te stanowią podstawę bazy danych lingwistycznych. Baza wiedzy składa się z dwóch głównych elementów, tj. bazy danych lingwistycznych oraz bazy reguł, które zawierają wiedzę dziedzinową istotną dla danego zagadnienia. Zależności przyczynowo-skutkowe wejść i wyjść, które prowadzą do wnioskowania o odpowiedzi systemu, są zapisane w postaci reguł (Elbrahimjad, Mosavi, Seyrafiannpour, 2010, s. 575–586). Regułowe systemy wnioskujące wnioskują na podstawie odpowiednich zbiorów rozmytych. Tego typu systemy otrzymują dane i generują wyniki w postaci wartości liczbowych. Wnioskowanie w rozmytych systemach wnioskujących odbywa się na podstawie danych reguł. Przykładowa reguła zaimplementowana w Rozmytym Systemie Wnioskującym jest następującej postaci:

**JEŻELI** (Wpływ czynnika RF1 jest W)  
**I** (Prawdopodobieństwo wystąpienia czynnika jest S)  
**TO** (Poziom ryzyka źródła ryzyka jest W)

Wejścia systemów stanowią odpowiednie zmienne lingwistyczne, tj. prawdopodobieństwo wystąpienia danego czynnika ryzyka  $RF_{probability}$  {Niski (N), Średni (S), Wysoki (W)} oraz jego wpływ  $RF_{impact}$  {Bardzo Niski (BN), Niski (N), Średni (S), Wysoki (W), Bardzo Wysoki (BW)}. Zbiory rozmyte przyporządkowane tym wartościom zostały zdefiniowane z wykorzystaniem intuicyjnych funkcji przynależności: funkcje trójkątne i trapezowe. Wyjście systemu stanowi poziom ryzyka danej kategorii. Dla oceny poziomu ryzyka danego źródła ryzyka projektu zastosowano również funkcje trójkątne i trapezowe w celu określenia wartości lingwistycznych: Niski (N), Średni (S), Wysoki (W). Przykładowo w Rozmytym Systemie Wnioskującym  $R_{zt}$  jest czternaście wejść i jedno wyjście (tab. 2). Punktowa ocena danego źródła ryzyka projektu rozpatrywana jest w skali [0–1] i stanowi wyjściową zmienną systemu oceniającego.

Blok wnioskowania poszczególnych systemów korzysta z bazy wiedzy oraz zaimplementowanych metod w celu rozwiązania założonego problemu. Blok wyostżenia na podstawie wynikowej funkcji przynależności wyjścia oblicza ostrą (nierozmytą) wartość końcową modelu, która stanowi odpowiedź poszczególnych dedykowanych systemów

Tabela 2

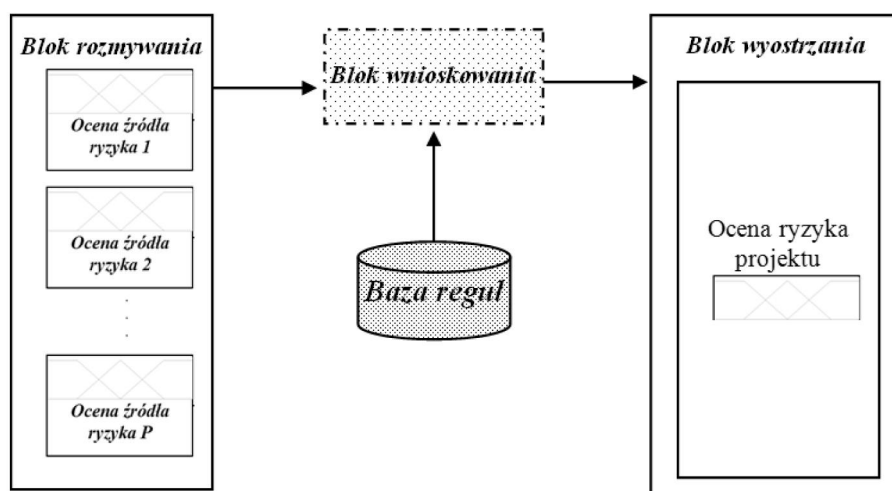
Zmienne wejściowe Rozmytego Systemu Wnioskującego  $R_{zt}$ 

Lp.	Zmienna wejściowa modelu ryzyka technicznego	Symbol zmiennej wejściowej modelu
1	prawdopodobieństwo ryzyka awarii sprzętu	RF21 <sub>probability</sub>
2	wpływ ryzyka awarii sprzętu	RF21 <sub>impact</sub>
3	prawdopodobieństwo ryzyka konieczności długotrwałej naprawy urządzeń technologicznych	RF22 <sub>probability</sub>
4	wpływ ryzyka konieczności długotrwałej naprawy urządzeń technologicznych	RF22 <sub>impact</sub>
5	prawdopodobieństwo ryzyka złego montażu rusztowań	RF23 <sub>probability</sub>
6	wpływ ryzyka złego montażu rusztowań	RF23 <sub>impact</sub>
7	prawdopodobieństwo ryzyka złego ułożenia rusztowań	RF24 <sub>probability</sub>
8	wpływ ryzyka złego ułożenia rusztowań	RF24 <sub>impact</sub>
9	prawdopodobieństwo ryzyka braku odpowiednich rusztowań	RF25 <sub>probability</sub>
10	wpływ ryzyka braku odpowiednich rusztowań	RF25 <sub>impact</sub>
11	prawdopodobieństwo ryzyka braku odpowiedniego sprzętu	RF26 <sub>probability</sub>
12	wpływ ryzyka braku odpowiedniego sprzętu	RF26 <sub>impact</sub>
13	prawdopodobieństwo ryzyka braku odpowiednich materiałów	RF27 <sub>probability</sub>
14	wpływ ryzyka braku odpowiednich materiałów	RF27 <sub>impact</sub>

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 5

Schemat budowy Rozmytego Systemu Wnioskującego ryzyka projektu



Źródło: opracowanie własne.

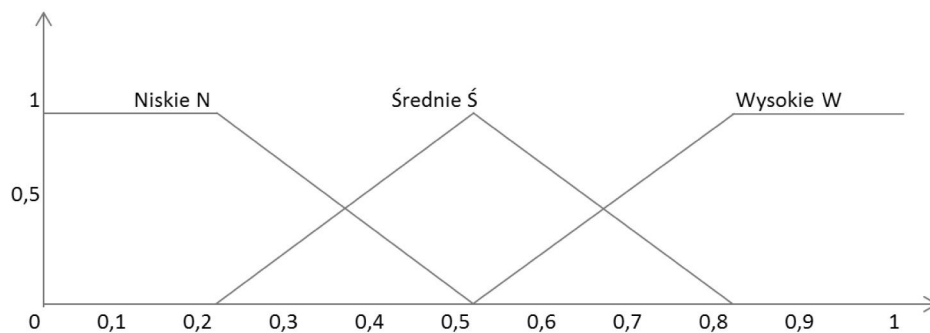
wnioskujących. Jako metodę wyostrzania przyjęto metodę środka ciężkości COG (ang. *Center Of Gravity*).

Celem wyznaczenia końcowej oceny ryzyka rozpatrywanego projektu konieczne było opracowanie dziesiątego Rozmytego Systemu Wnioskującego. Model obiektowy szacowania i oceny całościowej ryzyka projektu przedstawia rysunek 5. Opracowany system łączy informacje wyjściowe z kolejnych poprzednich systemów wnioskujących w jednym

systemie umożliwiającym wyznaczenia całkowitego poziomu ryzyka danego projektu. Wejścia danego systemu stanowią poszczególne oceny końcowe źródeł ryzyka projektu. Pojedyncze wyjście systemu stanowi ostra wartość poziomu ryzyka analizowanego projektu. Dla oceny końcowej projektu zastosowano, podobnie jak dla ryzyka danej kategorii, funkcje trójkątne i trapezowe w celu określenia wartości lingwistycznych: Niski (N), Średni (S), Wysoki (W) — (rys. 6).

Rysunek 6

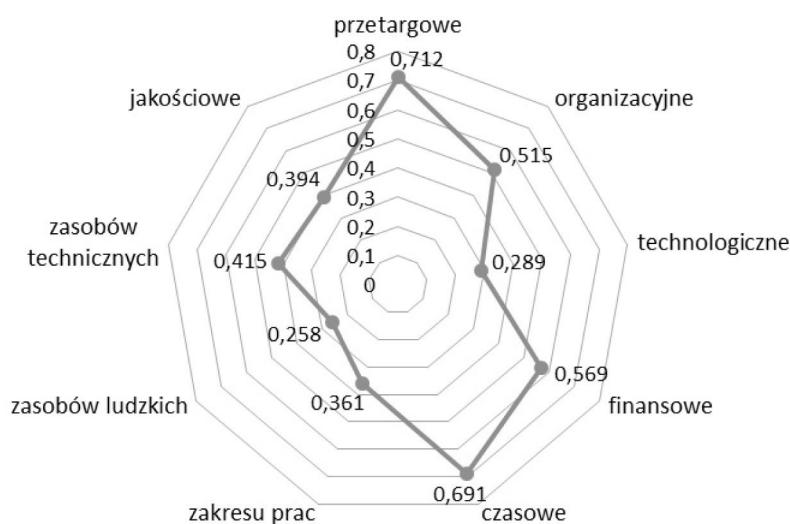
Przykład funkcji przynależności (trapezowych i trójkątnej) oceny poziomu ryzyka



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 7

Rozkład ryzyka w projekcie



Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 7 przedstawiono całościową ocenę poziomu ryzyka danego projektu z uwzględnieniem ryzyka poszczególnych kategorii ryzyka. Z analizy danych zawartych na rysunku wynika, że największym źródłem ryzyka projektu jest ryzyko przetargowe ( $R_p$ ). Stosunkowo nisko kształtuje się poziom ryzyka zasobów ludzkich ( $R_{zl}$ ). Przeprowadzona ocena wartości poszczególnych poziomów zagrożeń w projekcie dostarcza menedżerowi projektu istotnych informacji umożliwiających określenie oddziaływania na poszczególne zagrożenia, wskazując odpowiednie taktyki postępowania, radzenia sobie z zagrożeniami płynącymi z realizacji danego projektu. Dodatkowo ocena końcowa poziomu ryzyka rozpatrywanego projektu jest istotnym źródłem informacji dla decydentów. Z dokonanej oceny wynika, iż rozpatrywane przedsiębiorstwo podejmuje się

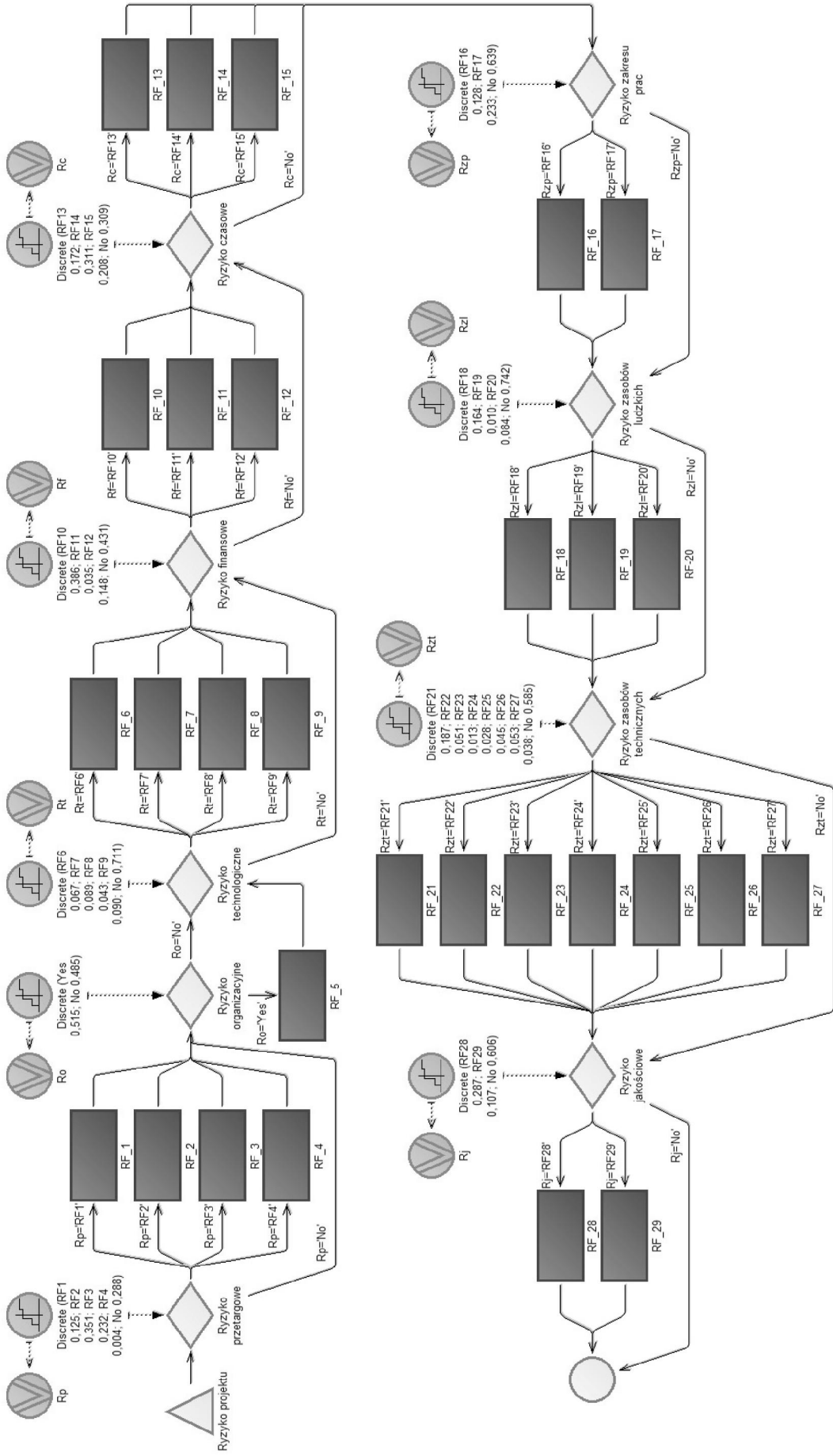
przedsięwzięcia o umiarkowanym stopniu ryzyka na poziomie 0,537. Oszacowany poziom ryzyka realizacji rozpatrywanego projektu jest w tym przypadku akceptowalny przez przedsiębiorstwo. Przyjęto bowiem, iż realizacja danego projektu będzie możliwa pod warunkiem, iż poziom ryzyka nie przekroczy wartości 0,65.

## Modelowanie ryzyka projektu w środowisku ADONIS

Na podstawie oszacowanego poziomu ryzyka rozpatrywanego projektu zbudowano model ryzyka, który posłużył do przeprowadzenia symulacji wpływu czynników ryzyka na planowany czas i koszt realizacji projektu. Do opracowania modelu ryzyka



Modelowanie ryzyka projektu z wykorzystaniem środowiska ADONIS



Źródło: opracowanie własne.

projektu i przeprowadzenia jego symulacji wykorzystano system ADONIS, wspierający zarządzanie procesami biznesowymi przedsiębiorstwa w oparciu o standardy BPMN i BPMS. Notacja modelowania procesów biznesowych BPMN (ang. *Business Process Model and Notation*) to powszechny standard łączący dokumentację przepływu procesu biznesowego ze zróżnicowanymi wizualnymi technikami dokumentacji interakcji oraz rozbudowaną semantyką zdarzeń. Z kolei paradygmat zarządzania procesami biznesowymi BPMS (ang. *Business Process Management System*) to własnościowy zestaw uniwersalnych technik modelowania na potrzeby mapowania i specyfikacji procesów oraz komplementarnych obiektów biznesowych. Jest to autorskie rozwiązanie producenta systemu ADONIS — firmy BOC Information Technologies Consulting (BOC ITC). Podstawowym elementem kompleksowej definicji procesu biznesowego w notacji BPMS jest model procesu biznesowego, który obrazuje początek procesu, czynności, punkty decyzyjne, przepływy równoległe i możliwe zakończenia przepływu pracy (Gawin, Marcinkowski, 2013).

Model procesu biznesowego oraz wbudowane w systemie ADONIS obiekty i moduły posłużyły do modelowania i symulacji ryzyka projektu. Model wejściowy ryzyka zaprezentowano na rysunku 8.

Zidentyfikowane grupy ryzyk przedstawiono w postaci punktów decyzyjnych, którym przypisano odpowiednie zmienne wraz ze skwantyfikowanym poziomem ryzyka jako wartości tych zmiennych. W ten sposób zbadano następstwa szeregu potencjalnych zdarzeń, które mogą występować z określoną częstotliwością, definiowaną za pomocą prawdopodobieństw dyskretnych czy też odpowiednio dobranych rozkładów losowych (normalnego, eksponentnego lub jednostajnego).

W celu przeprowadzenia symulacji wykorzystano moduł analizy ścieżki, który umożliwia symulację procesów bez uwzględniania środowiska pracy (struktury organizacyjnej). Dzięki tego typu symulacjom można znaleźć odpowiedzi na pytania:

- 1) ile kosztuje najbardziej prawdopodobny przebieg procesu,
- 2) jaka ścieżka trwa najdłużej,
- 3) optymalizacja jakiego fragmentu procesu pozwoli uzyskać najlepsze rezultaty.

W przypadku modelu ryzyka podstawową korzyść stanowi możliwość szybkiego oszacowania poziomu ryzyka wraz z czasowo-kosztowym skutkiem jego materializacji.

Dla potrzeb symulacji czynników ryzyka w środowisku ADONIS niezbędne jest wprowadzenie odpowiednich danych wejściowych, tzn. czasów i kosztów towarzyszących ewentualnym skutkom materializacji ryzyka oraz jego poziomów dla zidentyfikowanych czynników ryzyka (ewentualnie prawdopodobieństw, bądź też częstości ich wystąpienia w danym projek-

cie). Przeprowadzenie takiej symulacji może zbudować obraz ogólnego poziomu ryzyka projektu dla odpowiednio dobranych i zmierzonych czynników ryzyka w odniesieniu do szacowania wpływu ryzyka na harmonogram i budżet.

Dla zadanej liczby iteracji (w analizowanym przypadku 1000 symulacji) dokonano odpowiedniej liczby losowań potencjalnych ryzyk oraz pogrupowano uzyskane wyniki. Wygenerowane w ten sposób scenariusze we właściwy sposób odzwierciedlają zregulowaną wartość czasów opóźnień w dniach oraz kosztów w tys. PLN powstałych w wyniku wystąpienia określonych czynników ryzyka dla danego scenariusza. Właściwa interpretacja uzyskanych wyników w postaci dystrybucyjności prawdopodobieństwa umożliwia wariantową ocenę ryzyka projektu i ułatwia podejmowanie decyzji ze względu na możliwość wystąpienia różnych zagrożeń dla przyjętych ram czasowo-kosztowych w danym projekcie (por. rys. 9 i rys.10).

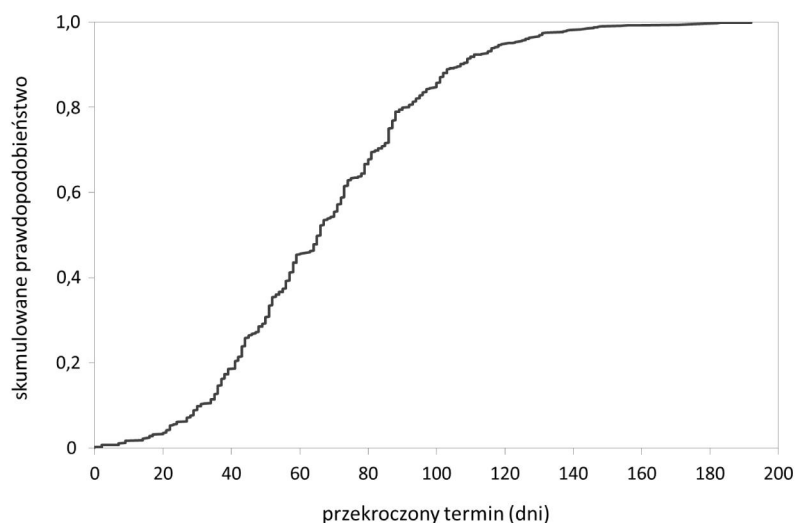
Na rysunku 9 oś odciętych (OX) odpowiada liczbie dni, o jaką może zostać przekroczony termin dyrektywny projektu (jest to szacowane opóźnienie w stosunku do harmonogramu). Rysunek 10 obrazuje analogiczną zależność skumulowanego prawdopodobieństwa w stosunku do przekroczenia kosztów planowanych na realizację danego projektu. Z kolei oś rzędnych (OY) w obydwu przypadkach przedstawia liczebność populacji scenariuszy (1000), liczoną jako prawdopodobieństwo zaistnienia wszystkich możliwych sytuacji. Najkorzystniejszy scenariusz zakłada, że nie wystąpi żadne opóźnienie w projekcie, przy czym poziom pewności takiej sytuacji wynosi zaledwie 0,002, czyli 0,2%. Najbardziej niekorzystny przypadek zakłada opóźnienie na poziomie 192 dni w stosunku do przyjętego harmonogramu, przy prawdopodobieństwie wynoszącym zaledwie 0,001 (por. rys. 9).

Prawdopodobieństwo, że przekroczenie kosztów planowanych na realizację danego projektu nie będzie miało w ogóle miejsca, sięga wartości 0,171 (por. rys. 10). Przy poziomie 0,35 należałoby zarezerwować w budżecie 5, 000 PLN na niwelację skutków materializacji ryzyka, ale dla poziomu pewności 0,433 potrzeba już 100 000 PLN. Łączna kwota 165 000 PLN daje aż 99% pewności, że nie wystąpią problemy z pokryciem ewentualnych kosztów, będących skutkiem wystąpienia niekorzystnych zdarzeń. Zaledwie 1% szacowanych na ten cel kosztów przekracza tę kwotę. Co ciekawe, kwota ta stanowi tylko 1,33% całkowitych kosztów realizacji danego projektu.

Niewłaściwa ocena ryzyka prowadzi często do wzrostu kosztów i/lub opóźnienia harmonogramu projektu. Modelowanie i symulację ryzyka projektu w środowisku ADONIS można traktować jako metodę ilościowej oceny wpływu ryzyka na cele projektu, która umożliwia zdefiniowanie prawdopodobieństwa

Rysunek 9

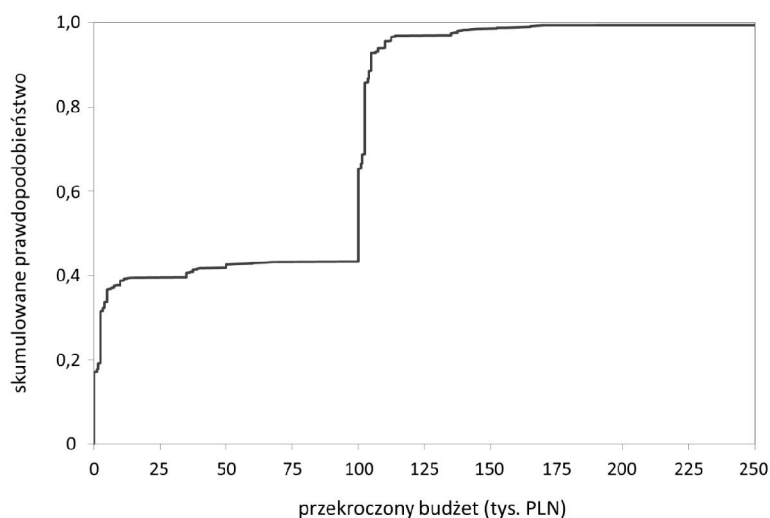
Wynik symulacji ryzyka projektu w odniesieniu do czasu



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 10

Wynik symulacji ryzyka projektu w odniesieniu do kosztu



Źródło: opracowanie własne.

dotrzymania określonego terminu projektu dla przyjętego profilu ryzyka i analogicznie w odniesieniu do budżetu przedsięwzięcia.

## Podsumowanie

Właściwa analiza ryzyka ma na celu określenie możliwych zagrożeń i/lub szans, prawdopodobieństwa ich wystąpienia oraz potencjalnych skutków w odniesieniu do jakości lub funkcji, kosztów oraz

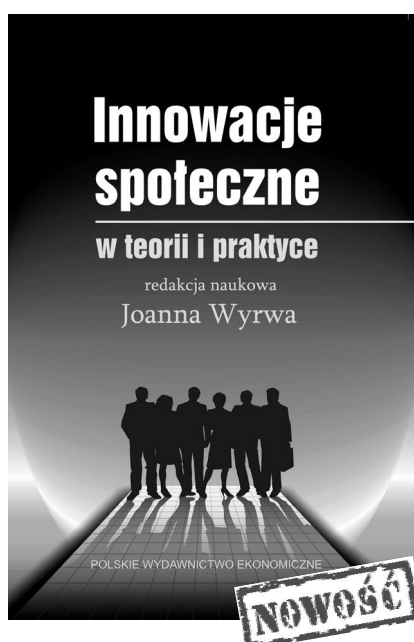
czasu realizacji rozpatrywanego projektu. Informacje pozyskane w procesie analizy ryzyka są istotne z punktu widzenia efektywności procesu zarządzania ryzykiem oraz sukcesu danego projektu. Zespół projektowy posiadający wiedzę o potencjalnych zagrożeniach i szansach jest w stanie lepiej przygotować się do przyszłych zmian, opracować, dobrać, a następnie obsłużyć dane ryzyka. Przedstawione podejście w skuteczny sposób kwantyfikuje zdefiniowane ryzyka projektu, prowadzi do ich agregacji w systemie MATLAB, jak również umożliwia w środowisku

ADONIS symulację wystąpienia różnych zagrożeń dla przyjętych ram czasowo-kosztowych w danym projekcie. Proponowane podejście integruje oba środowiska programistyczne, zwiększa dokładność procesu szacowania ryzyka projektu. Zastosowanie symulacji pozwala na analizę wpływu ryzyka na podstawowe cele projektu. W przedstawionym przykładzie pokazano wykorzystanie narzędzia ADONIS w celu oszacowania wpływu ryzyka na czas i koszt projektu. W pracy nie analizowano wpływu ryzyka na pozostałe cele projektu, tj. zakres, jakość.

Oszacowanie ryzyka poszczególnych czynników ryzyka umożliwia przedsiębiorstwu opracowanie odpowiednich scenariuszy postępowania w przypadku pojawienia się ryzyka, opracowanie działań zmniejszających poziom ryzyka w ramach danego obszaru. Uzyskane wyniki analizy ilościowej ryzyka projektu pozwalają na podjęcie działań dostosowujących wielkość ponoszonego ryzyka do poziomu akceptowalnego przez dane przedsiębiorstwo.

## Literatura

- Błaszczyk, K., Pisz, I. (2010). Rozmyty system podejmowania decyzji w ocenie końcowej Projektu (112–121). W: R. Knosala (red.), *Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie*. Opole: Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją.
- Cooper, D.F., Grey, S., Raymond, G., Walker, P. (2005). *Project risk management guidelines. Managing risk in large projects and complex procurements*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Elbrahimnejad, S., Mosavi, S. M., Seyrafiandpour, H. (2010). Risk identification and assessment for build-operate-transfer projects: A fuzzy multi attribute decision making model. *Experts Systems with Applications*, 37, 575–586.
- Gawin, B., Marcinkowski, B. (2013). *Symulacja procesów biznesowych. Standardy BPMS i BPMN w praktyce*. Gliwice: Wydawnictwo Helion.
- Hillson, D. (2002). Extending the Risk Process to Manage Opportunities. *International Journal of Project Management*, 20 (3), 235–240.
- Jajuga, K. (red.). (2009). *Zarządzanie ryzykiem*. Warszawa: PWN.
- Kaczmarek, T.T. (2010). *Zarządzanie ryzykiem. Ujęcie interdyscyplinarne*. Warszawa: Difin.
- Łada, M., Kozarkiewicz, A. (2010). *Zarządzanie wartością projektów*. Warszawa: Wydawnictwo C. H. Beck.
- Łęski, J. (2008). *Systemy neuronowo-rozmyte*. Warszawa: WNT.
- Pawlak, M. (2006). *Zarządzanie projektami*. Warszawa: PWN.
- Piegat, A. (2003). *Modelowanie i sterowanie rozmyte*. Warszawa: EXIT.
- Raz, T., Shenhar, A.J., Dvir, D. (2002). Risk management, project success, and technological uncertainty (101–109). *R&D Management*, 32 (2).
- Rutkowski, L. *Metody i techniki sztucznej inteligencji*. Warszawa: WNT.
- Skalik, J. (red.). (2009). *Zarządzanie projektami*. Wrocław: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu.
- Sońta-Drączkowska, E. (2012). *Zarządzanie wieloma projektami*. Warszawa: PWE.
- Wysocki, R.K., McGary, R. (2005). *Efektywne zarządzanie projektami*. Gliwice: Wydawnictwo Helion.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Inform. Contr.*, 8, 338–353.



[www.pwe.com.pl](http://www.pwe.com.pl)

Innowacje społeczne rozumiane jako projektowanie i wdrażanie nowych, kreatywnych sposobów zaspokajania potrzeb społecznych nabierają coraz większego znaczenia, wiążą się bowiem zarówno z dążeniem do racjonalizacji wydatków socjalnych państwa, jak i chęcią ciągłego podnoszenia dobrostanu społeczeństwa. Autorzy skupili uwagę na współczesnych uwarunkowaniach i modelach procesów innowacyjnych, istocie innowacji społecznych i procesach ich tworzenia (m.in. z perspektywy rynku pracy), innowacjach społecznych dla osób mających 65 i więcej lat, upowszechnianiu innowacji społecznych oraz miejscu innowacji społecznych w rozwoju regionów. Pracę uzupełniają studia przypadków zaczerpnięte z praktyki państw europejskich.