

## Modelowanie oceny ryzyka projektu logistycznego z zastosowaniem indukcyjnego systemu pozyskiwania wiedzy

### 1. WSTĘP

Projekty logistyczne są obecnie jednym z coraz częściej wyodrębnianych rodzajów projektów w działalności pojedynczych przedsiębiorstw lub łańcuchach dostaw. Kluczowym celem projektów logistycznych jest dostarczenie odpowiedniego produktu/usługi w ramach przyjętych ograniczeń projektowych. Ma on za zadanie spełniać potrzeby sponsora, a tym samym powinien zapewnić istotną przewagę biznesową klientom. Projekty logistyczne nadzorowane są przez działy logistyki. Mogą być realizowane w jednym przedsiębiorstwie lub pomiędzy przedsiębiorstwami – wzdłuż łańcuchów dostaw. Projekt logistyczny może być zdefiniowany jako czasowo wyodrębnione przedsięwzięcie, mające na celu dostarczenie w zaplanowanym czasie, na wyznaczone miejsce i po określonym koszcie właściwego dobra [9]. Wśród wielu kryteriów kwalifikacji projektów, w tym projektów logistycznych, najważniejsze są: czas i efekty ich realizacji, obszar funkcjonalny projektu, rodzaj działań i rezultatów, budżet, źródła finansowania, zakres przestrzenny, zakres przedmiotu, liczba uczestników [12]. Klasyfikację projektów logistycznych szerzej przedstawiono w [9], [12], [14], [16], [18], [20], [26].

Planowanie i realizacja projektów logistycznych obarczona jest pewnym stopniem ryzyka [4]. Ryzyko w projekcie występuje zwłaszcza dlatego, że projekt jest działaniem innowacyjnym, unikalnym, jednorazowym i niełatwo jest przewidzieć kierunek jego realizacji w sytuacjach niepewnych [13], [19], [20]. W każdym z elementów otoczenia bliższego lub dalszego projektów mogą nastąpić nieoczekiwane zmiany, które wpłyną bezpośrednio lub pośrednio w większym lub mniejszym stopniu na dany projekt logistyczny. 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 [3], [7]. Ważną rolę odgrywają także prawdopodobieństwo, zakres i sposób oddziaływania czynników wewnętrznych, jak i zewnętrznych na projekt [2], [4], [6], [19]. Nie da się całkowicie wyeliminować ryzyka. Można je jedynie zmniejszyć do minimum poprzez odpowiednie działania, tj. wprowadzenie do przedsiębiorstwa zasad, metod, mechanizmów zarządzania ryzykiem projektów [5], [6], [8], [10], [11], [19], [24].

### 2. ZARZĄDZANIE RYZYKIEM W PROJEKCIE LOGISTYCZNYM

Zarządzanie projektami logistycznymi i wynikające stąd podejście projektowe jest stosunkowo nową koncepcją zarządzania przedsiębiorstwem, jak również łańcuchami dostaw [9]. Celem podniesienia poziomu obsługi klienta, zwiększenia efektywności gospodarowania w obszarze zaopatrzenia, transportu, magazynowania, produkcji, dystrybucji wprowadza się i realizuje nowe, złożone kompleksy zadań zwane projektami logistycznymi.

Projekt logistyczny należy rozumieć również jako jednorazowe, ograniczone czasowo i budżetowo przedsięwzięcie (zadanie), którego realizacja służy poprawie sprawności i efektywności przepływów produktów oraz towarzyszących im informacji w przedsiębiorstwach, łańcuchach dostaw lub w układach przestrzennych [12]. Przykłady projektów realizowanych w ramach zarządzania logistycznym łańcuchem dostaw, mogą być następujące: lokalizacja produkcji, budowa magazynów, wdrożenie systemu WMS, wybór systemu magazynowania, wybór środków transportu, optymalizacji tras transportowych, zarządzanie zapasami, wdrożenie systemu ERP, wybór nowego dostawcy.

<sup>1</sup> Politechnika Opolska, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, 45-370 Opole, ul. Ozimska 75. Tel. +48 77 449-88-50, i.lapunka@po.opole.pl

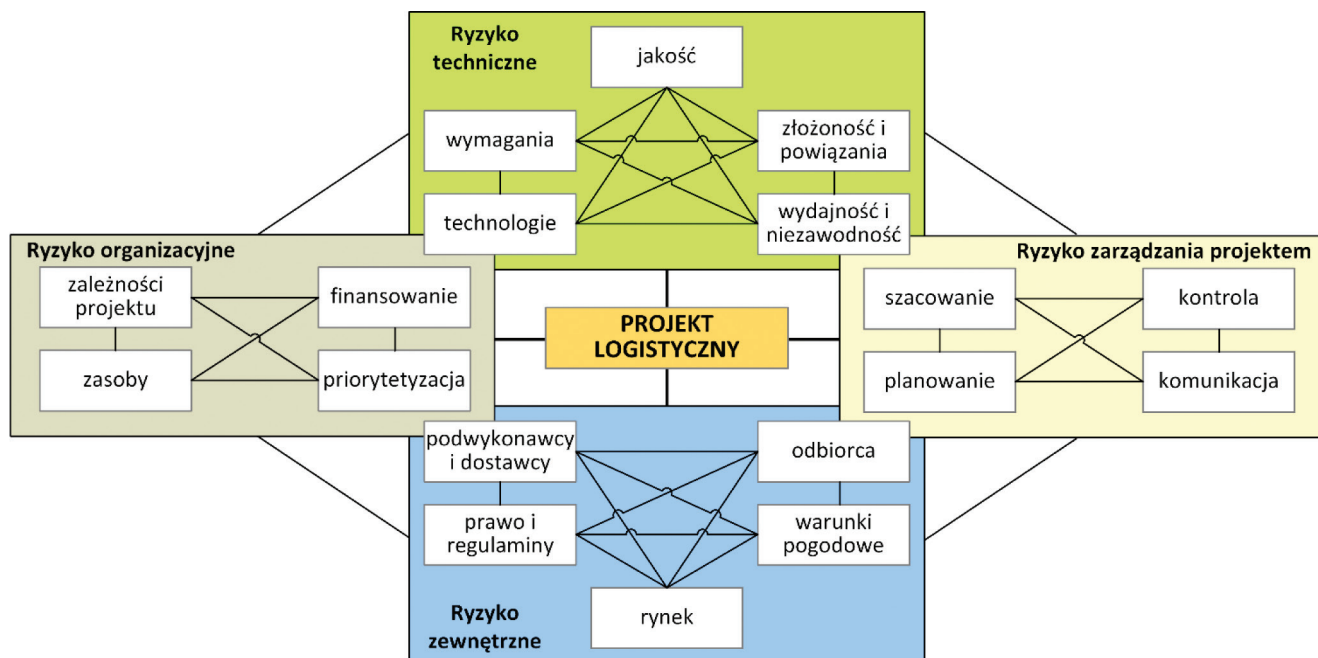
<sup>2</sup> Uniwersytet Opolski, Wydział Ekonomiczny, 45-058 Opole, ul. Ozimska 46a. Tel. +48 77 401-68-98, Fax: +48 77 401-68-98, iwonapisz@op.pl

Zarządzanie projektem logistycznym to planowanie, organizowanie, kierowanie i kontrola zasobów przedsiębiorstwa lub przedsiębiorstw w łańcuchu dostaw (pieniądze, siła robocza, sprzęt, urządzenia, materiały, informacje, technologie) dla osiągnięcia względnie krótkoterminowego celu, który został ustanowiony, aby zrealizować przyjęte założenia. To także koordynacja i współpraca z partnerami, którymi mogą być dostawcy, pośrednicy, zewnętrzni dostawcy usług i klienci [18].

Projekt logistyczny z natury rzeczy jako nowe, nietypowe przedsięwzięcie wymaga indywidualnego, właściwego podejścia. Umiejętność określenia niezbędnych do wykonania zadań, oszacowanie czasu, kosztu realizacji projektu, dobór wykonawców projektu, itp. są podstawowymi problemami wymagającymi rozwiązania podczas fazy planowania projektów logistycznych. Wielkości te definiowane są w warunkach niepewności. Stopień niepewności planowania podstawowych parametrów projektu logistycznego, tj. czasu, kosztu, zakresu maleje w miarę upływu czasu realizacji danego projektu logistycznego. Dużym ryzykiem obarczone są projekty nowe i niepowtarzalne, w szczególności projekty charakteryzujące się wysokim stopniem niepewności, złożoności oraz tempa. Specyfikacja przedsięwzięć, ich unikalność powodują, że ryzyko stanowi ich nieodłączną część. Poziom tej niepewności jest różny, zależy m.in. od rodzaju, zakresu, wielkości projektu logistycznego, sposobu prowadzenia. Osiągnięcie sukcesu w zarządzaniu projektami wymaga umiejętności panowania nad ryzykownymi zdarzeniami i warunkami działania, które wpływają negatywnie lub pozytywnie na cele danego projektu logistycznego. Realizacja projektów logistycznych niesie ze sobą różnego rodzaju szanse i zagrożenia, na które dane przedsiębiorstwo lub dany łańcuch dostaw powinien być przygotowany i potrafi je odpowiednio wykorzystać.

Zarządzanie ryzykiem projektów logistycznych oznacza podejmowanie decyzji oraz realizację działań prowadzących do osiągnięcia akceptowalnego poziomu ryzyka przez zespół projektowy.

Jednym ze znaczeń, które definiuje ryzyko i jego wpływ na zarządzanie projektami logistycznymi jest prawdopodobieństwo (możliwość) wystąpienia zdarzenia, które będzie niekorzystnie wpływać na osiągnięcie danego celu projektu. W projekcie logistycznym, negatywnie oddziałują zasadniczo następujące rodzaje ryzyka: techniczne, organizacyjne, zarządzania projektem oraz zewnętrzne (por. rys. 1).



Rys. 1. Główne czynniki ryzyka dla projektu logistycznego według struktury podziału ryzyk

Źródło: opracowanie własne na podstawie [1]

Realizacja każdego projektu logistycznego wiąże się z możliwością wystąpienia sytuacji trudnych, a czasem nawet niemożliwych do przewidzenia, których konsekwencje mogą mieć wpływ na opóźnienia w projek-

cie, wzrost jego kosztów czy też realizację przedsięwzięcia w innym zakresie i jakości niż było to ustalone. Zarządzanie ryzykiem koncentruje się na identyfikacji i kontroli zdarzeń, które mogą niekorzystnie wpłynąć na realizację projektu logistycznego, a jego głównym celem jest minimalizacja ryzyka niepowodzenia projektu [8], [25]. Proces zarządzania ryzykiem w projektach składa się z określonych etapów. Project Management Institute wyróżnia poszczególne etapy w ramach zarządzania ryzykiem [1]. W praktyce oznacza to, że zarządzanie ryzykiem jest procesem identyfikowania, analizowania, oceny różnego rodzaju ryzyka oraz monitorowania i kontroli zagrożeń, które mogą pozytywnie lub negatywnie oddziaływać na dany projekt. Proces zarządzania ryzykiem powinien stanowić integralną część zarządzania projektami, szczególnie w przypadku dużych, złożonych projektów logistycznych.

Znajomość ryzyka, jakie niesie realizacja danego projektu logistycznego jest krytycznym czynnikiem sukcesu projektu. Umiejętność przewidywania zagrożeń oraz wypracowany scenariusz w sytuacji zagrożenia jest kluczowym procesem związanym z zarządzaniem projektami logistycznymi.

Głównym celem zarządzania ryzykiem jest identyfikacja i ocena ryzyka w danym projekcie. Pierwszym krokiem w zarządzaniu ryzykiem projektu jest identyfikacja ryzyka. W tej fazie identyfikowane są wszystkie potencjalne źródła zagrożenia. Określone są potencjalne czynniki ryzyka, które mogą mieć określony wpływ na projekt logistyczny. W praktyce istnieje wiele technik identyfikacji ryzyka projektu. W celu określenia potencjalnych zagrożeń projektu stosuje się m.in. metodę burzy mózgów (ang. *brainstorming*), listy kontrolne (ang. *checklist*), ankiety i wywiady (ang. *questionnaires and interviews*), metodę delficką (ang. *Delphi group*), diagramy przyczynowo-skutkowe (ang. *cause-effect diagrams*) [15].

Ocena ryzyka to drugi etap zarządzania ryzykiem. Głównym celem oceny ryzyka jest pomiar wpływu zidentyfikowanych ryzyk na dany projekt logistyczny. W ocenie ryzyka projektu stosowane są następujące metody: drzewa zdarzeń (ang. *events tree analysis*), drzewa błędów (ang. *faults tree analysis*), symulacja Monte Carlo (ang. *Monte Carlo method*), planowanie scenariuszy (ang. *scenario planning*), analiza wrażliwości (ang. *sensitivity analysis*), ekonomiczna wartość bieżąca netto ENPV (ang. *Expected Net Present Value*), drzewa decyzyjne (ang. *decision tree*), metoda PERT (ang. *Program Evaluation and Review Technique*), teoria zbiorów rozmytych (ang. *fuzzy sets theory*) [4].

Mimo istnienia wielu metod, narzędzi do szacowania i oceny ryzyka projektów, w tym projektów logistycznych, podejmowanie decyzji w warunkach niepewności jest zadaniem trudnym. Do tej pory nie udało się opracować jednej uniwersalnej metody szacowania i oceny ryzyka.

### 3. PODEJŚCIE DO OCENY RYZYKA W PROJEKCIE LOGISTYCZNYM

Jednym z istotnych etapów zarządzania ryzykiem projektu logistycznego jest ocena ryzyka. W praktyce jest to proces złożony i dosyć skomplikowany ze względu na występujące warunki niepewności. Zasadniczą trudność stanowią nieprecyzyjne, niekompletne, niemożliwe do uzyskania oraz niewymierne informacje. W takich okolicznościach ocena ryzyka może być tylko orientacyjna, nie należy traktować jej w kategoriach dokładnych oszacowań. Niepewność jest związana z ryzykiem. W praktyce oznacza to, że im większa jest niepewność tym większe ryzyko. Jedną z głównych cech projektów logistycznych jest ich znaczny poziom ryzyka. Oznacza to, że zbyt wiele niepożądanych zdarzeń może spowodować opóźnienia projektu, nadmierne wydatki, niezadowalające rezultaty projektu, a nawet całkowitą jego porażkę. Głównym celem oceny ryzyka projektu logistycznego jest pomiar wpływu zidentyfikowanych zagrożeń dotyczących danego projektu. Ocena ryzyka projektu to proces priorytetyzacji zidentyfikowanych ryzyk w celu dalszej analizy, poprzez ocenę i agregację, na ogół, prawdopodobieństwa ich wystąpienia oraz wpływu. Zaproponowane rozwiązanie opiera się na metodzie oceny ryzyka projektu, przedstawionej w pracach [18], [19].

Jakość i wiarygodność procesu przeprowadzenia jakościowej analizy ryzyka wymaga, by różne poziomy prawdopodobieństwa ryzyka i jego wpływu zostały zdefiniowane. Ogólne definicje poziomów prawdopo-

dobieństwa i poziomów wpływu są dostosowane do indywidualnego projektu podczas procesu planowania zarządzania ryzykiem. W pierwszej kolejności identyfikowane są czynniki ryzyka dla każdej czynności w strukturze podziału pracy projektu (ang. *WBS – work breakdown structure*). Wszystkie czynniki, które mają wpływ na realizację projektu logistycznego są definiowane przez ekspertów na podstawie ich wiedzy i doświadczenia.

Przykładowe zdarzenia, które mogą mieć wpływ na realizację projektu logistycznego w danym horyzoncie czasu (przykłady czynników ryzyka wpływających na czas – jeden z głównych celów projektu) to m.in.:

- zmiana wymagań/zakresu w trakcie realizacji projektu, nieuwzględnienie istotnych elementów,
- błędne założenia bądź niezrozumienie wymagań projektu,
- błędne założenia konstrukcyjne, technologiczne, budowlane, planistyczne, techniczno-organizacyjne – na każdym etapie realizacji projektu logistycznego,
- opóźnienia w opracowaniu konstrukcji, technologii, planów, harmonogramów realizacji projektu,
- niewystarczająca ilość odlewów, odkuwek – długoterminowy brak głównych detali,
- błędy wykonania/montażu – konieczność naprawy lub ponownego wykonania szczegółów,
- opóźnienia w zamawianiu towarów powodowane opóźnieniami w opracowaniu konstrukcji, itp.,
- brak funduszy niezbędnych do regulowania bieżących płatności,
- opóźnienia w dostawach komponentów: z winy dostawcy, działów logistyki – na każdym etapie realizacji, ze względu na brak płatności wykonawcy w określonym czasie (np. brak zaliczki na początku umowy), z powodu zmian w projekcie, z przyczyn losowych,
- rozbieżności w dostawach materiałów/komponentów do zlecenia lub uszkodzenia komponentów,
- brak odpowiedniego personelu (niewystarczająco wyszkolony lub brak doświadczenia), absencja pracowników, brak zaangażowania/motywacji,
- niedostępność kluczowych pracowników podczas realizacji ważnych/pilnych zadań,
- problemy organizacyjne, problemy komunikacyjne w zespole,
- niedoszacowanie pracochłonności projektu logistycznego.

Ponieważ na każdą czynność może mieć wpływ wiele różnych zagrożeń, wszystkie potencjalne zagrożenia i ich źródła ze zidentyfikowanymi czynnikami należy dokładnie opisać i powiązać z właściwą czynnością w strukturze projektu. W celu oceny ryzyka projektu w pierwszej kolejności dokonuje się oceny ryzyka poszczególnych czynności. Określenie istotnych danych, czyli prawdopodobieństwa i wpływu czynników ryzyka, odbywa się zazwyczaj za pomocą pojęć lingwistycznych, które w dalszej kolejności przekształca się w liczby rozmyte przy pomocy funkcji transponujących. Prawdopodobieństwo ryzyka wskazuje na możliwość wystąpienia każdego ze wskazanych rodzajów ryzyka.

Ryzyko projektu obejmuje wszystkie rodzaje ryzyk, które mogą mieć wpływ na koszty, czas, zakres oraz jakość. Tabela 1 przedstawia przykład definicji negatywnych skutków, które mogą być wykorzystane do oceny wpływu ryzyka w odniesieniu do głównych celów projektu. Podobne tabele można ustalić, z pozytywnym wpływem. W tabeli uwzględniono względne i numeryczne (w tym przypadku, nieliniowe) podejścia.



Tab. 1. Określenie poziomów wpływu ryzyka na główne cele projektu

| Zdefiniowane warunki dotyczące skali oddziaływania ryzyka na główne cele projektu<br>(przykłady przedstawiono wyłącznie dla negatywnych skutków) |   |  |   |   |  |
|--|---|--|---|---|--|
| Cel projektu   | Poziomy wpływ ryzyka w ujęciu relatywnym lub numerycznym (jakościowym lub ilościowym) |  |   |   |  |
|  | Bardzo niski (0,05)   | Niski (0,10)                                 | Średni (0,20)                           | Wysoki (0,40)                                       | Bardzo wysoki (0,80)                     |
| Koszt  | Nieznaczny wzrost kosztu  | < 10% wzrost kosztu                          | 10-20% wzrost kosztu                    | 20-40% wzrost kosztu                                | > 40% wzrost kosztu                      |
| Czas   | Nieznaczny wzrost czasu   | < 5% wzrost czasu                            | 5-10% wzrost czasu                      | 10-20% wzrost czasu                                 | > 20% wzrost czasu                       |
| Zakres   | Ledwo zauważalne zmniejszenie zakresu   | Dotyczy mniej istotnych obszarów zakresu     | Dotyczy głównych obszarów zakresu       | Zmniejszenie zakresu niedopuszczalne przez sponsora | Efekt końcowy projektu jest beзуżyteczny |
| Jakość   | Ledwo zauważalne obniżenie jakości  | Dotyczy tylko bardzo wymagających zastosowań | Obniżenie jakości wymaga zgody sponsora | Obniżenie jakości niedopuszczalne przez sponsora    | Efekt końcowy projektu jest beзуżyteczny |

*Zródło: opracowanie własne na podstawie [1]*

Dla każdej czynności projektu logistycznego, jak i całego projektu szacowany jest poziom ryzyka. Poziom ryzyka zdeterminowany jest wartościami prawdopodobieństwa ryzyka i poziomem jego wpływu. Określa się go w pięciostopniowej skali: bardzo niskie ryzyko, niskie ryzyko, średnie ryzyko, wysokie ryzyko i bardzo wysokie ryzyko.

#### 4. INDUKCJA DRZEW DECYZYJNYCH JAKO METODA POZYSKIWANIA WIEDZY DLA PROBLEMU OCENY RYZYKA PROJEKTÓW LOGISTYCZNYCH

Dynamiczny rozwój inżynierii wiedzy daje ogromne możliwości w konstruowaniu informatycznych systemów zastępujących ludzi-ekspertów w danej dziedzinie. Wzrastająca złożoność podejmowanych decyzji i problemów do rozwiązania we współczesnym świecie wymaga stosowania coraz bardziej inteligentnych systemów komputerowych, wykorzystujących przy tym coraz większą moc obliczeniową do przetwarzania informacji zawartych w bazach danych. Umożliwia to budowę baz wiedzy, które mogą przechowywać ogromne ilości reguł i faktów. Aspekty budowy i korzyści wynikające z wykorzystania inteligentnego systemu wspomagającego podejmowanie decyzji, zauważane są w największym stopniu przez naukowców w dyscyplinach nauki, takich jak: automatyka, matematyka, inżynieria przemysłowa, filozofia, pedagogika, psychologia. Niemniej jednak, coraz częściej rozważania na ten temat prowadzone są w gronie ludzi nauki, będących przedstawicielami inżynierii produkcji, jak również nauk o zarządzaniu, w tym logistyki.

Wspomaganie oceny ryzyka w projektach logistycznych indukcyjnym systemem pozyskiwania wiedzy, w oparciu o indukcję drzew decyzyjnych, jest oryginalnym ujęciem tego problemu. Sam proces pozyskiwania wiedzy jest bardzo istotny ze względu na konieczność budowy bazy wiedzy, którą należy zweryfikować pod względem jej zupełności, niesprzeczności i wyeliminowania nadmiaru informacji zawartych w bazie. Indukcja systemu pozyskiwania wiedzy bazuje na indukcji drzew decyzyjnych Quinlana [23]. Drzewo decyzyjne to struktura drzewiasta, której każdy węzeł odpowiada wynikowi testu dla wartości jednego atrybutu, z kolei każdy liść zawiera decyzję. Budowanie drzew decyzyjnych wykonywane jest poprzez rekurencyjny podział zbioru danych do momentu, aż każdy podzbiór będzie zawierał elementy jednej klasy decyzji. Wierzchołek drzewa nazywany jest korzeniem, a każdy kolejny węzeł w drzewie jest odpowiedzialny za pewien test wartości atrybutu. Przeprowadzenie testu wskazuje na krawędź drzewa do kolejnego węzła. Na końcu drzewa decyzyjnego znajdują się liście zawierające decyzje.

Utworzone w ten sposób drzewo decyzyjne można nazwać modelem wiedzy, który objaśnia struktury wiedzy ukrytej w zbiorze danych. Zbiór ten nazywa się zbiorem uczącym. Z kolei jakość otrzymanego drzewa

decyzyjnego testuje się poprzez analizę przypadków zawartych w zbiorze testującym. Indukcję drzew decyzyjnych stosuje się głównie do klasyfikacji obiektów, a wygenerowana wiedza wspomaga podjęcie decyzji. Głównym problemem przy budowie drzewa decyzyjnego jest określenie kryterium, które umożliwi wybór atrybutu, będącego korzeniem drzewa. Do tego celu stosuje się tzw. entropię [21], [22]:

$$Entropy(S) = - \sum_{i=1}^{|S|} \frac{|S_i|}{|S|} \cdot \log_2 \left( \frac{|S_i|}{|S|} \right) \quad (1)$$

gdzie:

- $|S_i|$  - liczba przykładów opisujących  $i$ -ty obiekt,
- $|S|$  - liczba przykładów w zbiorze uczącym  $S$ .

Oczekiwana wartość informacji po podziale zbioru przykładów  $S$  na podzbiory, dla których atrybut  $A$  przyjmuje wartość, przedstawiona jest zależnością:

$$Gain(S, A) = Entropy(S) - \sum_{v \in A} \frac{|S_v|}{|S|} \cdot Entropy(S_v) \quad (2)$$

gdzie:

- $v$  wszystkich możliwych wartości atrybutu  $A$ ,
- $S_v$  - podzbiór zbioru  $S$ , dla którego atrybut  $A$  przyjmuje wartość,
- $|S_v|$  - liczba przykładów w zbiorze,
- $|S|$  - liczba przykładów w zbiorze uczącym  $S$ .

## 5. IMPLEMENTACJA PRZYKŁADU W SYSTEMIE DETREEX

Do przeprowadzenia analizy danych opracowanych na potrzeby szacowania ryzyka wybranego projektu logistycznego zastosowano komputerowy indukcyjny system pozyskiwania wiedzy DeTreex. DeTreex jest systemem, który wspomaga proces pozyskiwania wiedzy, dzięki zaimplementowanej indukcyjnej metodzie „uczenia maszynowego”. System umożliwia również zapisanie drzew decyzyjnych w postaci reguł, które mogą być wykorzystane w bazie wiedzy systemów ekspertowych.

W celu wygenerowania drzewa decyzyjnego należy zbiór z przykładami uczącymi zapisać w pliku uczącym. Natomiast do testowania poprawności klasyfikacji tego drzewa przygotowany został plik ze zbiorem przykładów testujących. Formaty obydwu plików są identyczne, różnią się jedynie rozszerzeniem: plik uczący (\*.lrm), plik testowy (\*.tst).

W przykładzie zdefiniowano następujące obszary problemu, czyli atrybuty, takie jak: krytyczne lub niekrytyczne czynności, prawdopodobieństwo ryzyka i wpływ ryzyka oraz ich wartości, które określają poziom ryzyka (tab. 2). Ze względu na znaczny rozmiar analizowanego problemu, rozważany przykład dla oceny ryzyka projektu logistycznego przedstawiono tylko w ujęciu kryterium czasowego.

Tab. 2. Określenie obszaru problemu – atrybuty i ich wartości

| Określenie obszaru problemowego i jego klasyfikacja do oceny poziomu ryzyka dla czynności projektu<br>(Atrybuty i ich wartości determinujące poziom ryzyka w aspekcie kryterium czasowego) |   |                                  |                                 |                       |
|--|---|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| Czynność krytyczna   | Czynność niekrytyczna                     | Prawdopodobieństwo ryzyka        | Wpływ ryzyka                    | Poziom ryzyka         |
| Nieznaczny wzrost czasu  | Nieznaczny wzrost czasu                   | Bardzo niskie $\hat{I}(0; 0,1)$  | Bardzo niski $\hat{I}(0; 0,1)$  | Bardzo niskie ryzyko  |
|  | Wzrost czasu w granicach rezerwy          |                                  |                                 |                       |
| < 5% wzrost czasu  | < 5% wzrost czasu ponad granicę rezerwy   | Niskie $\hat{I}(0,1; 0,2)$       | Niski $\hat{I}(0,1; 0,2)$       | Niskie ryzyko         |
| 5-10% wzrost czasu   | 5-10% wzrost czasu ponad granicę rezerwy  | Średnie $\hat{I}(0,2; 0,4)$      | Średni $\hat{I}(0,2; 0,4)$      | Średnie ryzyko        |
| 10-20% wzrost czasu  | 10-20% wzrost czasu ponad granicę rezerwy | Wysokie $\hat{I}(0,4; 0,8)$      | Wysoki $\hat{I}(0,4; 0,8)$      | Wysokie ryzyko        |
| > 20% wzrost czasu   | > 20% wzrost czasu ponad granicę rezerwy  | Bardzo wysokie $\hat{I}(0,8; 1)$ | Bardzo wysoki $\hat{I}(0,8; 1)$ | Bardzo wysokie ryzyko |

Źródło: opracowanie własne

Do wygenerowania drzewa decyzyjnego konieczne jest zapisanie zbioru przykładów w pliku uczącym (\*.lm). Plik ten może być przygotowany w edytorze tekstu lub arkuszu kalkulacyjnym. Natomiast w celu sprawdzenia poprawności klasyfikacji tego drzewa przygotowano plik testowy (\*.tst) ze zbiorem przykładów. Zdefiniowano cztery podstawowe atrybuty, stanowiące podstawę analizy ryzyka w ujęciu czasowym dla projektu logistycznego. Są to: (1) czynność krytyczna – *critical\_activity*, (2) wzrost czasu – *time\_increase*, (3) prawdopodobieństwo ryzyka – *risk\_probability*, (4) wpływ ryzyka – *risk\_impact*.

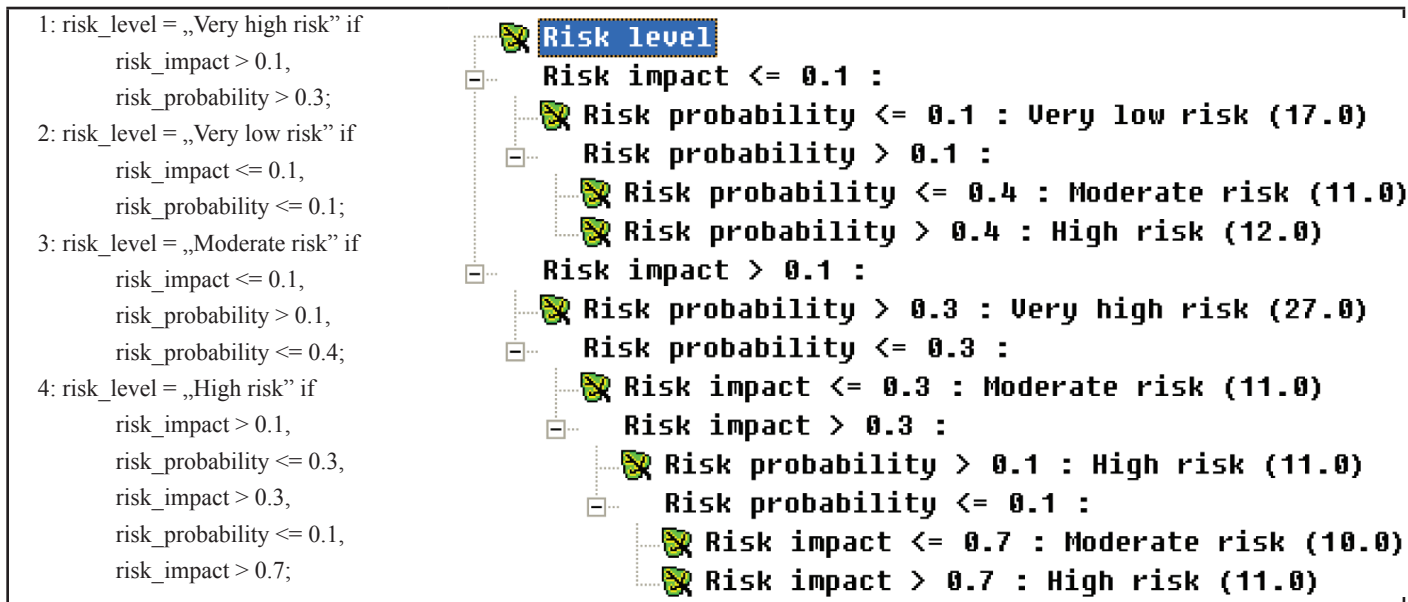
Fragment danych historycznych, które zgromadzono na podstawie oszacowanego przez ekspertów poziomu ryzyka dla poszczególnych czynności projektu logistycznego został przedstawiony w tabeli 3.

Tab. 3. Fragment danych historycznych do określania poziomu ryzyka w pliku uczącym (\*.lm)

| Lp. | Czynność krytyczna | Wzrost czasu                 | Prawdopodobieństwo ryzyka | Wpływ ryzyka | Poziom ryzyka  |
|-----|--------------------|------------------------------|---------------------------|--------------|----------------|
| 1   | Tak                | Nieznaczny                   | 0,9                       | 0,2          | Wysokie        |
| 2   | Tak                | < 5%                         | 0,05                      | 0,6          | Średnie        |
| 3   | Tak                | 5-10%                        | 0,9                       | 0,5          | Bardzo wysokie |
| 4   | Tak                | 10-20%                       | 0,05                      | 0,05         | Bardzo niskie  |
| 5   | Tak                | 10-20%                       | 0,3                       | 0,05         | Niskie         |
| 6   | Tak                | > 20%                        | 0,3                       | 0,5          | Wysokie        |
| 7   | Tak                | > 20%                        | 0,9                       | 0,8          | Bardzo wysokie |
| 8   | Nie                | W granicach rezerwy          | 0,6w                      | 0,05         | Średnie        |
| 9   | Nie                | < 5% ponad granicę rezerwy   | 0,05                      | 0,05         | Bardzo niskie  |
| 10  | Nie                | 5-10% ponad granicę rezerwy  | 0,1                       | 0,7          | Wysokie        |
| ... | Nie                | 10-20% ponad granicę rezerwy | 0,2                       | 0,5          | Wysokie        |
| 110 | Nie                | > 20% ponad granicę rezerwy  | 0,05                      | 0,1          | Bardzo niskie  |

Źródło: opracowanie własne

Doświadczenie i wiedza eksperta są niezbędne do opracowania reguł IF-THEN. W celu określenia poziomu ryzyka projektu logistycznego wykorzystuje się zbiór reguł zapisanych w bazie wiedzy. Na rysunku 2 przedstawiono wybrane przykłady zapisu reguł w systemie DeTreex.



Rys. 2. Przykład reguł dla oceny poziomu ryzyka czynności projektu w aspekcie kryterium czasowego

Źródło: opracowanie własne

Aby wybrać atrybut, od którego rozpoczyna się budowę drzewa obliczono wartości entropii dla całego zbioru uczącego, zgodnie z zależnościami (1) i (2).

$$Entropy(S) = 2,163 \tag{3}$$

|                                       |                                      |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| $Gain(S, critical\_activity) = 0,013$ | $Gain(S, risk\_probability) = 0,067$ |
| $Gain(S, time\_increase) = 0,135$     | $Gain(S, risk\_impact) = 0,214$      |

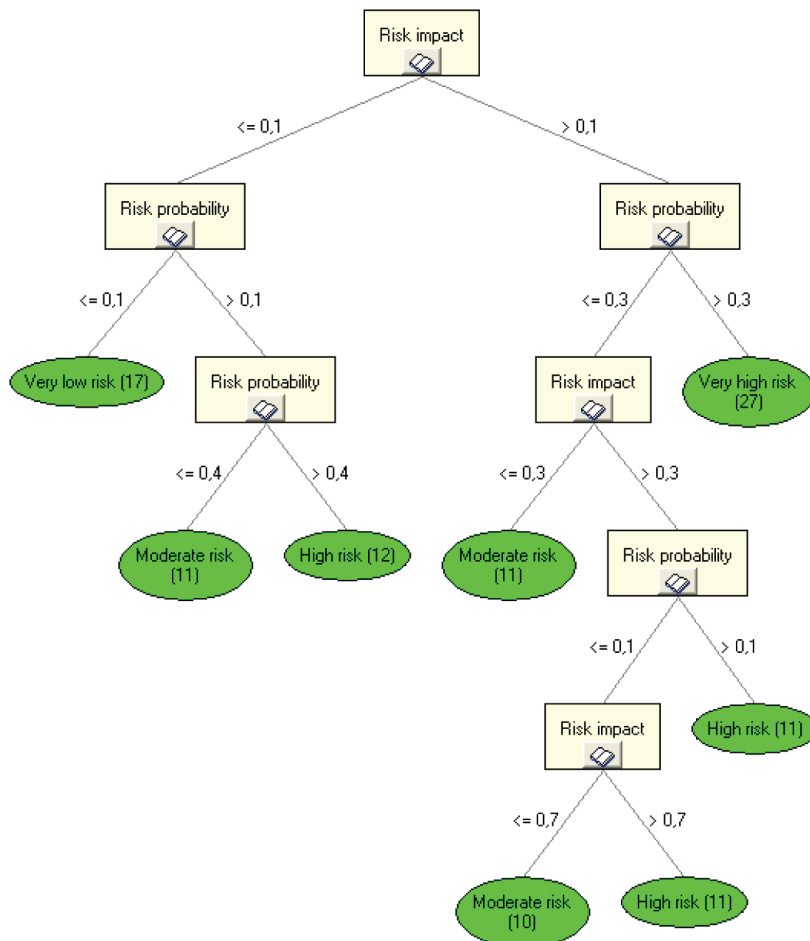
(4)

Zgodnie z uzyskanymi wynikami, budowa drzewa zaczyna się od atrybutu *risk\_impact*, który jest określany korzeniem drzewa i zapewnia maksymalizację wzrostu informacji w węźle.

Rysunek 3 przedstawia drzewo decyzyjne zbudowane na podstawie 110 historycznych ocen ryzyka dla czynności projektów logistycznych i przedstawia uproszczone relacje między prawdopodobieństwem ryzyka (*Risk probability*), jego wpływem (*Risk impact*) oraz poziomem ryzyka, gdzie  $Risk\_level \in \{Very\ low\ risk, Low\ risk, Moderate\ risk, High\ risk, Very\ high\ risk\}$ . W rezultacie końcowym otrzymano drzewo z 8 liśćmi zapisane w postaci zasad reprezentacji wiedzy.

Indukcja drzew decyzyjnych jest stosowana głównie do klasyfikowania obiektów (problemów), a wiedza generowana przez metody indukcyjne, docelowo za pośrednictwem systemu eksperckiego, wspomaga proces podejmowania decyzji. Zestaw reguł jest znacznie mniejsza niż zestaw danych, na podstawie których reguły te zostały utworzone. Reguły stanowią uogólnienie danych, tak aby możliwym było sklasyfikowanie nowych przypadków. Powstałe zbiory przepisów mogą być stosowane do budowy bazy wiedzy systemu eksperckiego, który mógłby skutecznie wspomagać ocenę ryzyka projektów logistycznych.





**Rys. 3.** Drzewo decyzyjne dla oceny poziomu ryzyka czynności projektu w aspekcie kryterium czasowego

Źródło: opracowanie własne

Proponowane podejście stanowi wsparcie dla kierowników projektów w zakresie podejmowania decyzji w warunkach niepewności celem spełnienia wymogów operacyjnych i osiągnięcia sukcesu projektu. Ze względu na fakt, iż ocena ryzyka projektów logistycznych ma znaczenie dla wszystkich interesariuszy, modelowanie oceny ryzyka projektu logistycznego jest szczególnie istotne z punktu widzenia:

- członków zespołu projektowego, ponieważ pomaga zidentyfikować zdarzenia zagrażające planowanej realizacji projektu i oferuje sposoby ich skutecznego monitorowania,
- użytkowników końcowych, ponieważ przyczynia się do zaspokajania ich potrzeb i osiągnięcia właściwego stosunku wartości do ceny w odniesieniu do zaangażowanych środków i zasobów,
- dostawców i kontrahentów, ponieważ rozsądne podejście do ryzyka w projektach logistycznych prowadzi do lepszego planowania i poprawy wyników zarówno dla sprzedających, jak i kupujących,
- instytucji finansowych, które oferują kredyt jako źródło finansowania projektów adekwatnie do ryzyka,
- ubezpieczycieli, którzy wymagają zabezpieczeń, że ryzyko niepowodzenia jest znane, monitorowane i odpowiednio zarządzane w ramach projektu, tak aby nie finansować istniejących zagrożeń.

Istotnym elementem dalszych badań jest weryfikacja wiedzy uzyskanej na podstawie pliku testowego i przycinanie gałęzi drzewa decyzyjnego zgodnie z przyjętym parametrem. Parametr ten umożliwi wyznaczenie odpowiedniej klasyfikacji błędów przed i po przycięciu drzewa. Jeżeli poziom błędów klasyfikacji po przycięciu drzewa (lub węzła drzewa) jest większy niż poziom błędów przed przycięciem drzewa (lub węzła) nie dokonuje się cięcia. Celem dalszych badań będzie minimalizacja błędów klasyfikacji dla wygenerowanego zestawu reguł w bazie wiedzy.

## 6. PODSUMOWANIE

Współczesne przedsiębiorstwa i łańcuchy dostaw funkcjonują w turbulentnym i niepewnym środowisku społeczno-gospodarczym. Wobec zachodzących w otoczeniu zmian, coraz większą uwagę praktyków i teoretyków przykuwają nowe koncepcje zarządzania, często w zintegrowanym wydaniu. Konsolidacja podejść do zarządzania projektami oraz zarządzania wiedzą jest według autorów artykułu odpowiedzią na wyzwania stawiane przed współczesnymi projektami logistycznymi.

Podejście projektowe jest obecnie nieodłącznym elementem realizacji większości projektów logistycznych. W tak realizowanym procesie zarządzania obserwuje się m.in. zespołowe podejście do zarządzania czasem projektu, a także proaktywne, skoncentrowane na przyszłości raportowanie stanu projektu. Jako, że projekty są rozwijane progresywnie – charakteryzuje je wysoki poziom niepewności na początku realizacji. Wynika on z dostarczania czegoś nowatorskiego, a więc obciążonego sporą dozą niewiedzy. W planowaniu i harmonogramowaniu projektów rozróżnia się trzy rodzaje niepewności: niepewność czasu trwania zadań, niepewność korelacji czasowej i niepewność zasobów. Skoro jest tak wiele niewiadomych na początku realizacji, to wszelkie szacunki i założenia mogą okazać się nieprawdziwe, np. zadanie zajmie nie jeden dzień a tydzień, produkt będzie kosztować dwa razy więcej, nowa technologia będzie znacznie wydajniejsza niż zakładano, a nowy dostawca okaże się nierzetelny.

Według raportu opracowanego przez Panel Polskich Menedżerów Logistyki [[16]] zaledwie nieco ponad 30% projektów logistycznych kończy się w założonym terminie. Praktyką staje się przekroczenie terminu dyrektywnego realizacji projektu logistycznego, przeważnie o ok. 20% w stosunku do pierwotnego harmonogramu.

Zdefiniowane przez Project Management Institute w PMBOK Guide [71] warunki dotyczące skali ryzyka dla osiągnięcia głównych celów projektu, wskazują jednoznacznie na kryterium czasowe, jako bardzo istotne z punktu widzenia sukcesu każdego projektu. Już możliwość wskazania czynników ryzyka, których wpływ może spowodować nieznaczne przekroczenie terminu realizacji określa się podczas szacowania ryzyka projektu na poziomie 0,05 w przedziale  $\langle 0, 1 \rangle$ . Traktowane wówczas jako bardzo niskie ryzyko niepowodzenia projektu, będzie stopniowo rosnąć, w zależności od kolejnych oszacowań. Możliwość przekroczenia czasu o niecałe 5% powoduje konieczność szacowania ryzyka na poziomie 0,1 (niskie), odpowiednio wzrost czasu o ok. 5-10% daje średnie ryzyko (0,2), 10-20% – wysokie ryzyko (0,4), powyżej 20% – bardzo wysokie ryzyko (0,8). Należy zauważyć, że dane te dotyczą tylko czynników ryzyka mających wpływ na terminowość realizacji projektu. Nie ujęto wskaźników dla pozostałych celów projektu, takich jak koszt, zakres, czy jakość, a w realnych warunkach następuje multiplikacja skali ryzyka ze względu na wszystkie możliwe czynniki.

**Streszczenie**

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie koncepcji oceny ryzyka projektów logistycznych z zastosowaniem indukcyjnego systemu pozyskiwania wiedzy DeTreex w oparciu o metodę indukcji drzew decyzyjnych Quinlana. Opracowane podejście może stanowić podstawę do budowy dedykowanego systemu ekspertowego wspomagającego proces oceny ryzyka projektów logistycznych realizowanych w przedsiębiorstwach produkcyjnych, usługowych, jak również w całym łańcuchu dostaw. Hipotetycznie zakłada się, że zebrana i ustrukturalizowana wiedza ekspertów na temat relacji pomiędzy prawdopodobieństwem wystąpienia ryzyka, jego wpływem na czynności w projekcie logistycznym oraz poziomem ryzyka dla każdej z nich może posłużyć do opracowania skutecznych reguł w bazie wiedzy.

**Modeling of logistics project risk assessment with the use of inductive knowledge acquisition system****Abstract**

The purpose of this paper is to present the approach to modeling of logistics project risk assessment with the use of the inductive knowledge acquisition system DeTreex, supporting the risk management in logistics projects carried out in the enterprises and

throughout supply chain. The proposed approach is based on the use of a very effective method of acquiring knowledge using the induction of decision trees developed by Quinlan. It is envisaged that the collected and structured knowledge of experts could also be used to build the expert system dedicated to issues of risk assessment logistics project. The relations between the probability of risk, risks impact and the risk level are performed by experts. The experience and expert's knowledge is used for development of IF-THEN rules. In order to determine risk level the set of rules is performed.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] A Guide to the Project Management Body of Knowledge. PMBOK Guide - 5th Edition. PMI, Newtown Square, PA, 2012.
- [2] Brandenburg H., Zarządzanie projektami. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [3] Cooper D.F., Grey S., Raymond, G., Walker P., Project risk management guidelines. Managing risk in large projects and complex procurements. John Wiley & Sons Ltd, Chichester 2005.
- [4] Elbrahimnejad S., Mosavi S.M., Seyrafiyanpour H., Risk identification and assessment for build-operate-transfer projects: A fuzzy multi attribute decision making model. *Experts Systems with Applications*, 37, 2010, 575-586.
- [5] Heerkens G.R., Jak zarządzać projektami. Wydawnictwo RM, Warszawa 2003.
- [6] Hillson D., Extending the risk process to manage opportunities. *International Journal of Project Management*, 20 (3), 2002, 235-240.
- [7] Jajuga K., Inwestycje. PWN, Warszawa 2006.
- [8] Jajuga K. (red.), Zarządzanie ryzykiem. PWN, Warszawa 2009.
- [9] Kasperek M., Planowanie i organizacja projektów logistycznych. UE w Katowicach, Katowice 2006.
- [10] Kerzner H., Advanced project management. Helion, Gliwice 2005.
- [11] Knight F.H., Uncertainty and profit. Cambridge, 1971.
- [12] Kisperska-Moroń D., Krzyżaniak S. (red.), Logistyka. ILiM, Poznań 2009.
- [13] Łapuńska I., Modelowanie rozmyte wielokryterialnej oceny harmonogramu realizacji projektu. *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, 11, 2011, 39-42.
- [14] Łapuńska I., Pisz I., Efektywne zarządzanie czasem w projektach logistycznych. *Logistyka*, 2, Logistyka - nauka (CD), 2014.
- [15] Mojtahedi S.M.H., Mousavi S.M., Makui A., Project risk identification and assessment simultaneously using multi-attribute group decision making technique. *Safety Science*, 48, 2010, 499-507.
- [16] Nowosielski S. (red.), Procesy i projekty logistyczne. UE we Wrocławiu, Wrocław 2008.
- [17] Panel Polskich Menedżerów Logistyki, Raport 2011. Projekty logistyczne – doświadczenia polskich przedsiębiorstw, 2011.
- [18] Pisz I., Applying fuzzy logic and soft logic to logistics projects modelling. [in:] M. Fertsch, K. Grzybowska, A. Stachowiak (eds.), Modeling of modern logistics enterprises. Monograph. Publishing House of Poznan University of Technology, Poznań 2009, 201-210.
- [19] Pisz I., Project risk assessment using Fuzzy Inference System. *Logistics and Transport*, 2 (13), 2011, 25-34.
- [20] Pisz I., Łapuńska I., Analiza zagrożeń płynących z podejmowania projektów logistycznych. *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, 10, 2012, 15-18.
- [21] Quinlan J.R., C4.5: Program for machine learning. Morgan Kaufmann, 1993.

- [22] Quinlan J.R., Improved use of continuous attributes in C4.5. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 4, 1996, 77–90.
- [23] Quinlan J.R., Induction of decision trees. *Machine Learning*, 1, 1986, 81-106.
- [24] Rusin A., Stolecka K., Oszacowanie ryzyka związanego z rurociągami transportującymi wodór. *Rynek Energii*, 3 (94), 2011, 87-93.
- [25] Tworek P., Ryzyko wykonawców przedsięwzięć inwestycyjnych. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice 2010.
- [26] Witkowski J., Rodawski B., Pojęcie i typologia projektów logistycznych. *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, 3, 2007, 2-6.