

ŁAPUŃKA Iwona¹
PISZ Iwona²

Problem reprezentacji wiedzy w ocenie ryzyka projektów logistycznych wspomaganą systemem ekspertowym

WSTĘP

W działalności współczesnych przedsiębiorstw, jak i łańcuchów dostaw coraz częściej wyodrębnia się projekty realizowane w obszarze logistyki. Można zaliczyć do nich: (1) projekty, celem których jest rozwój produktów, (2) projekty badawcze, (3) projekty inwestycyjne, (4) projekty reorganizacyjne, (5) projekty zorganizowane na potrzeby zakupu, (6) projekty zorganizowane na potrzeby dystrybucji wyrobów gotowych. Realizowane lub koordynowane przez działy logistyki w ramach jednego przedsiębiorstwa, pomiędzy bezpośrednimi ogniwami łańcucha dostaw – dostawcą i odbiorcą, a także w całym łańcuchu dostaw (na skalę krajową lub międzynarodową) określane są mianem projektów logistycznych [4, 9, 13].

Projekt logistyczny definiuje się 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 [6]. Zmiana zagospodarowania magazynu, usprawnienie procesów logistycznych, otwarcie nowego magazynu, wdrożenie systemu IT, outsourcing – to najczęściej spotykane przykłady projektów logistycznych w Polsce [10].

Ze względu na innowacyjny charakter oraz wynikającą z tego trudność precyzyjnego określenia czasu i kosztów, immanentną cechą tego typu projektów jest wysoki stopień ryzyka i niepewności, który zmniejsza się w miarę postępów w jego realizacji [19].

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 danego projektu logistycznego niesie ze sobą różnego rodzaju szanse i zagrożenia, na które dane przedsiębiorstwo lub dany łańcuch dostaw powinien być przygotowany i potrafi je odpowiednio wykorzystać.

1. ISTOTA WIEDZY W PROJEKCIE LOGISTYCZNYM

Zarządzanie projektami jest dziedziną zarządzania zajmującą się zastosowaniem dostępnej wiedzy, umiejętności, narzędzi oraz technik w celu spełnienia potrzeb i oczekiwań zleceniodawców projektów. Zgodnie z tą definicją wiedzę projektową można traktować jako użyteczny zasób informacji umożliwiających realizację projektów logistycznych zgodnie z postawionymi im celami związanymi z czasem, kosztami i jakością rezultatów.

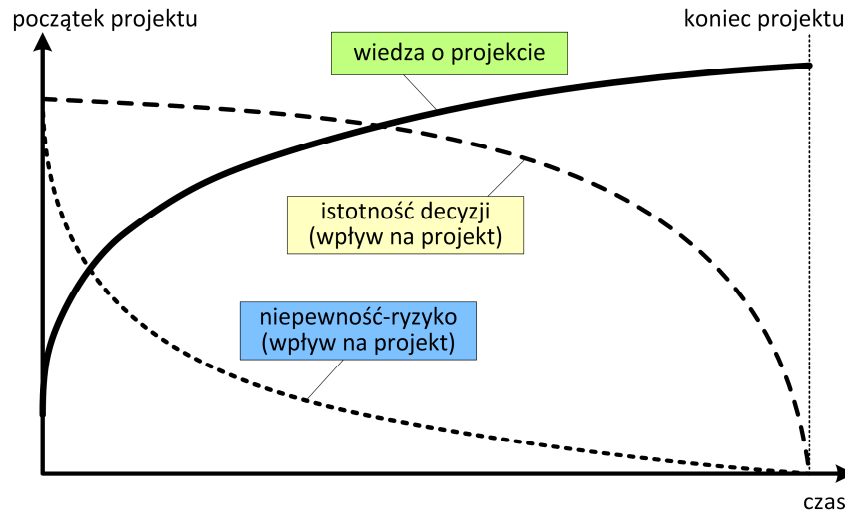
Z natury projektów wynika szczególna zależność, która nie jest wprost opisana przez standardy zarządzania projektami, jednak jest akcentowana w tle. Istotność decyzji i jej wpływ na projekt jest zasadniczo odwrotnie proporcjonalna do posiadanej wiedzy o projekcie zarówno na początku projektu, jak i jego etapie końcowym (por. rys. 1). Kuriozum stanowi fakt, iż to właśnie na początku projektu menedżerowie zmuszeni są podejmować najistotniejsze decyzje. Zatem konieczność

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

² Uniwersytet Opolski, Wydział Ekonomiczny, 45-058 Opole, ul. Ozimska 46a. Tel. +48 77 401-68-98, Fax: +48 77 401-68-98, ipisz@uni.opole.pl

podejmowania największej liczby kluczowych dla projektu decyzji występuje w momencie największego ryzyka.

Istnienie tej zależności ma wpływ na całą konstrukcję metod i procesów zarządzania projektami logistycznymi począwszy od baseline'owania, przez progresywne planowanie, etapowanie, zarządzanie ryzykiem po raporty poprojektowe [0].



Rys. 1. Istotność decyzji w porównaniu z wiedzą o projekcie [0]

Projekty logistyczne charakteryzuje wysoki poziom niepewności na początku realizacji. Wynika on z kluczowej cechy każdego projektu – dostarczania czegoś nowatorskiego, a więc obarczonego sporą dozą niewiedzy. Dlatego też projekt logistyczny realizowany jest progresywnie, metodą kolejnych przybliżeń. W związku z tak dużą liczbą niewiadomych, wszelkie początkowe 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.

Z kolei wiedza na koniec projektu logistycznego, kiedy wszystkie pożądane i niepożądane zdarzenia miały już miejsce, jest pełna. Znane są faktyczne czasy zadań, wiadomo, ile projekt kosztował, wiadomo, czy klient jest zadowolony, znane są słabe i silne strony zespołu projektowego, etc. Zatem przez czas życia projektu logistycznego wiedza o nim rośnie od niemal zera do umownego poziomu 100%. Jednym z celów zarządzania jest przyśpieszenie przyrostu wiedzy o projekcie, aby w jak największym stopniu zmniejszyć obszar niepewności lub rozsądnie odłożyć ryzykowne decyzje w czasie. Czyli spowodować, aby krzywa uczenia się była jak najbardziej wypukła w górę (por. rys. 1).

Damm i Schindler [2] wyróżniają wiedzę o projektach, wiedzę w projektach oraz wiedzę z projektów. Ma to związek z procesem uczenia się zachodzącym podczas realizacji każdego projektu. Wiedzę i doświadczenie zdobyte w ten sposób można traktować jako przyrostowy kapitał intelektualny organizacji, a także jako jeden z istotnych czynników sukcesu projektu logistycznego.

Przedsiębiorstwa mogą i powinny uczyć się na projektach poprzez wykorzystywanie zgromadzonych zasobów wiedzy oraz stwarzanie pracownikom okazji do wyciągania wniosków z przeprowadzonych działań i ich efektów [5]. Warunkiem wykorzystania i zastosowania wiedzy jest jej zgromadzenie i udostępnienie wszystkim pracownikom.

Przepływy wiedzy pomiędzy poszczególnymi poziomami zarządzania wiedzą na temat projektów logistycznych istotnie obrazują zależności na linii tworzenie-gromadzenie-dostarczanie-wykorzystanie kapitału intelektualnego. Pomiedzy poziomem globalnym (światowy i ponadorganizacyjny), a poziomem lokalnym (organizacji, projektu i indywidualny) wymiana wiedzy polega na: (1) dostarczaniu kompendiów, standardów, publikacji, (2) transferze doświadczeń i elementów wiedzy z biznesu do nauki.

Wewnątrz lokalnych poziomów zarządzania wiedzą projektową to właśnie wiedza członków zespołów projektowych i ich kompetencje pozwalają na generowanie innowacyjnych rozwiązań oraz tworzenie wiedzy. Na poziomie projektu wiedza może być pozyskiwana z samego przedsiębiorstwa, które tworzy odpowiednie warunki do zarządzania wiedzą (szczególnie w zakresie jej generowania, kapitalizowania i udostępniania), jak również z poziomu indywidualnego – od zespołu projektowego.

Problem akwizycji wiedzy, jej strukturalizacji i przetwarzania jest w przypadku zarządzania projektami logistycznymi nowym, dotychczas nierozpoznanym zagadnieniem. Z kolei obraz wyłaniający się z raportu opracowanego przez Panel Polskich Menedżerów Logistyki [10] jednoznacznie wskazuje na poważne mankamenty w sferze zarządzania oraz brak wiedzy, jako źródło podstawowych problemów w tego typu projektach. Najpoważniejszymi barierami w skutecznej realizacji zmian w logistyce – według raportu – jest niezrozumienie założeń projektu przez resztę firmy (52%) oraz zmiana wymagań w trakcie projektu (50%). Polskie firmy zarządzane są często ad hoc, a logistyka w firmach zepchnięta jest do roli co najwyżej drugoplanowej.

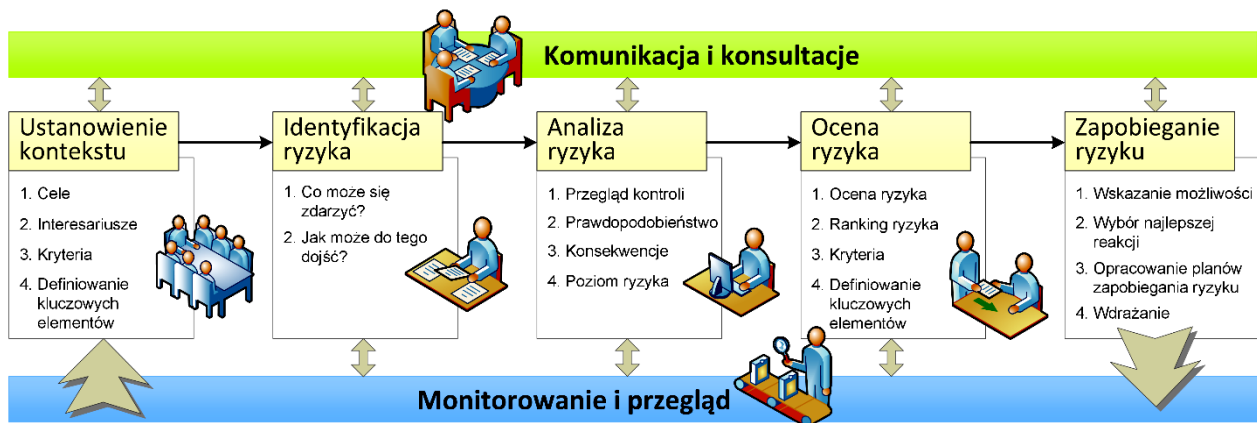
Można postawić hipotezę, iż kluczowym problemem realizacji projektów logistycznych jest niewłaściwe zarządzanie wiedzą projektową, przejawiające się niską efektywnością jej wykorzystania, a przede wszystkim słabą zdolnością przedsiębiorstw/łańcuchów dostaw do akumulacji wiedzy projektowej i utratą pamięci organizacyjnej. Zjawiska te skutkują niewielką skutecznością projektów, niską jakością rezultatów, niezadowoleniem zlecających projekty oraz nieefektywnym gospodarowaniem środkami przeznaczonymi na ich realizację.

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.

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

2. PODEJŚCIE DO OCENY RYZYKA PROJEKTU LOGISTYCZNEGO

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 [3, 18]. Proces zarządzania ryzykiem w projektach składa się z określonych etapów (por. rys. 2). 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.



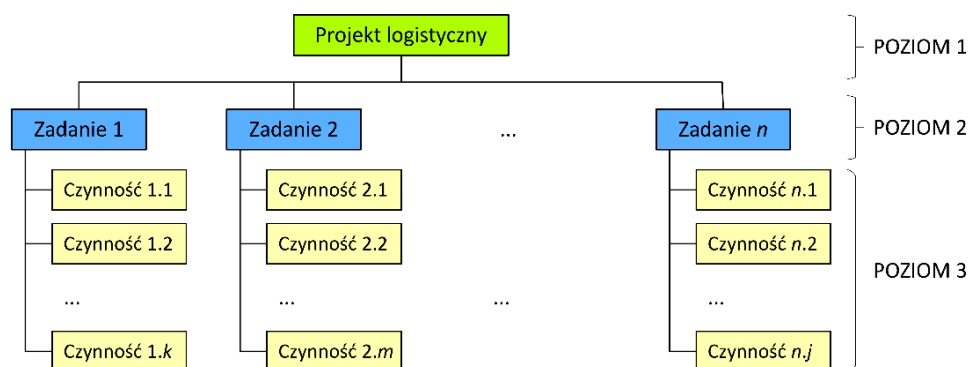
Rys. 2. Proces zarządzania ryzykiem projektów, źródło: opracowanie własne

Jednym z istotnych etapów zarządzania ryzykiem projektu logistycznego jest ocena ryzyka. W praktyce jest to proces złożony i dość 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 szacunków [8].

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, niezadowolające 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.

Proponowane podejście do oceny ryzyka projektu logistycznego składa się z kilku etapów [11, 12]. W pierwszym, na podstawie struktury podziału pracy SPP (ang. *WBS – Work Breakdown Structure*) identyfikuje się czynniki ryzyka dla każdej czynności ujętej w strukturze projektu. Struktura podziału pracy to zorientowane na rezultat zgrupowanie elementów projektu, które definiuje i porządkuje całkowity jego zakres w celu efektywnego planowania i całościowej kontroli projektu. SPP jest znana także jako struktura podziału projektu (ang. *PBS – Project Breakdown Structure*) (rys. 3). Hierarchiczna struktura definiuje zadania, które mogą być zrealizowane niezależnie od innych zadań, ułatwiając tym samym alokację zasobów, przydział obowiązków oraz pomiar i kontrolę projektu.



Rys. 3. Struktura podziału prac projektu logistycznego (WBS), źródło: opracowanie własne

W drugim etapie wszystkie czynniki, które mają wpływ na realizację projektu logistycznego są definiowane przez ekspertów na podstawie ich wiedzy i doświadczenia. Ponieważ na każde zadanie/czynność może mieć wpływ wiele różnych zagrożeń, wszystkie potencjalne ryzyka (R) i ich źródła (RS) ze zidentyfikowanymi czynnikami (RF) należy dokładnie opisać i powiązać z właściwym

zadaniem lub czynnością w SPP. W celu oceny ryzyka projektu w pierwszej kolejności dokonuje się oceny ryzyka poszczególnych czynności oraz zadań. Szacunkowe określenie istotnych danych, czyli prawdopodobieństwa wystąpienia (RP) i wpływu (RI) czynników ryzyka, odbywa się zazwyczaj za pomocą pojęć lingwistycznych, które w dalszej kolejności przekształca się w liczby rozmyte. Prawdopodobieństwo ryzyka wskazuje na możliwość wystąpienia każdego ze wskazanych rodzajów ryzyka. Prawdopodobieństwo wystąpienia, podobnie jak wpływ poszczególnych czynników ryzyka są definiowane na podstawie przyjętej pięciostopniowej skali i określają ich poziom: bardzo niski $\in(0; 0,1)$, niski $\in(0,1; 0,2)$, średni $\in(0,2; 0,4)$, wysoki $\in(0,4; 0,8)$, bardzo wysoki $\in(0,8; 1)$.

Ryzyko projektu (RL of P) obejmuje wszystkie potencjalne ryzyka, które mogą oddziaływać na cele projektu, tj. 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.

Trzeci etap to przekształcenie lingwistycznych parametrów ryzyka w podzbiory rozmyte oraz określenie odpowiednich funkcji przynależności dla każdej ze zmiennych wejściowych i wyjściowych. Parametry ryzyka, wyrażone są przez trójkątne i trapezowe liczby odwzorowane na zbiorze $\langle 0, 1 \rangle$.

Tab. 1. Określenie poziomów wpływu ryzyka na główne cele projektu, źródło: opr. własne na podstawie [1]

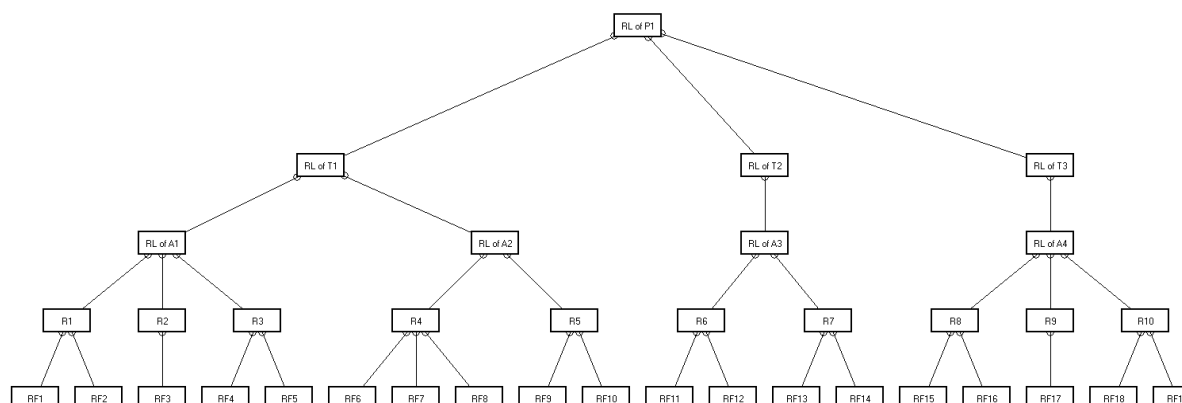
Zdefiniowane warunki dotyczące skali oddziaływania ryzyka na główne cele projektu (przykłady przedstawiono wyłącznie dla negatywnych skutków)					
Cel projektu	Poziomy wpływu ryzyka w ujęciu relatywnym lub numerycznym (jakościowym lub ilościowym)				
	Bardzo niski (0,05)	Niski (0,10)	Średni (0,20)	Wysoki (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

W podejściu tym dąży się do sformułowania pewnych prawideł rządzących relacjami pomiędzy prawdopodobieństwem ryzyka (RP) i jego wpływem (RI) na poziom ryzyka projektu logistycznego (RL of P). Do opracowania skutecznych reguł decyzyjnych niezbędne są doświadczenie i wiedza ekspertów. Reguły IF-THEN stanowią podstawę bazy wiedzy w architekturze proponowanego systemu ekspertowego. Dla każdej czynności/zadania projektu logistycznego, jak i całego projektu szacowany jest poziom ryzyka (RL). Poziom ryzyka zdeterminowany jest wartościami prawdopodobieństwa ryzyka i poziomem jego wpływu. Określa się go w pięciostopniowej skali: bardzo niskie ryzyko (VL), niskie ryzyko (L), średnie ryzyko (M), wysokie ryzyko (H) i bardzo wysokie ryzyko (VH), za pomocą zestawu reguł IF-THEN, np.:

$$\begin{aligned}
 & \text{IF } (RI \text{ is } VH) \text{ AND } (RP \text{ is } L) \text{ THEN } RL \text{ is } H, \\
 & \text{IF } (RI \text{ is } M) \text{ AND } (RP \text{ is } L) \text{ THEN } RL \text{ is } M, \\
 & \text{IF } (RI \text{ is } VL) \text{ AND } (RP \text{ is } L) \text{ THEN } RL \text{ is } L.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Ogólne definicje poziomów prawdopodobieństwa i poziomów wpływu są dostosowane do indywidualnego projektu podczas procesu planowania zarządzania ryzykiem (por. rys. 4). Wszystkie czynniki, które mają wpływ na realizację projektu logistycznego są definiowane przez ekspertów na podstawie ich wiedzy i doświadczenia. Stąd m.in. wynika potrzeba akwizycji wiedzy, jej

strukturalizacji i właściwego przetwarzania podczas całego procesu zarządzania projektem logistycznym.



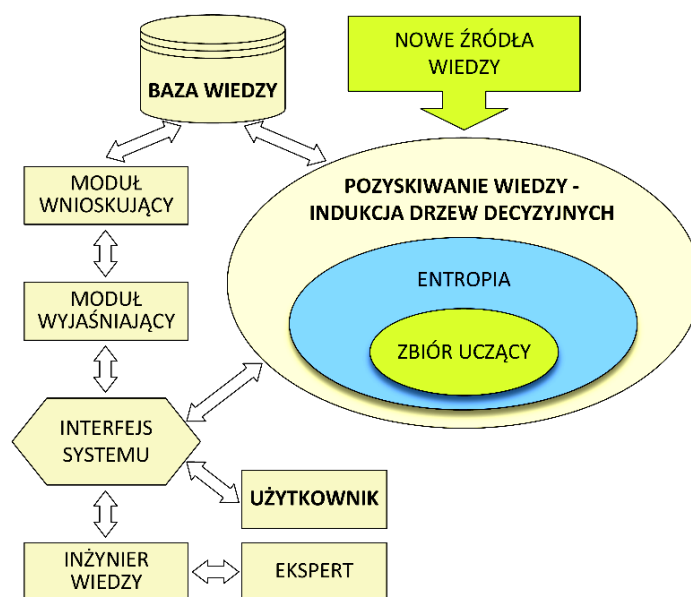
Rys. 4. Hierarchiczna struktura oceny ryzyka projektu logistycznego [12]

3. KONCEPCJA SYSTEMU EKSPERTOWEGO WSPOMAGAJĄCEGO OCENĘ RYZYKA W PROJEKTACH LOGISTYCZNYCH

Dynamiczny rozwój inżynierii wiedzy daje ogromne możliwości w konstruowaniu informatycznych systemów zastępujących ludzi-ekspertów w danej dziedzinie. Systemy tego typu określa się mianem systemów ekspertowych (ang. *expert system*), wśród których wyróżnia się: (1) systemy doradcze, które wspomagają podjęcie decyzji, (2) systemy sterujące, podejmujące decyzję oraz (3) systemy krytykujące, których zasadniczą rolą jest analiza i interpretacja rozwiązania.

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.

Koncepcja systemu ekspertowego wspomagającego ocenę ryzyka w projektach logistycznych bazuje na wykorzystaniu indukcyjnego systemu pozyskiwania wiedzy, w oparciu o indukcję drzew decyzyjnych autorstwa Quinlana [16]. Sam proces pozyskiwania (akwizycji) 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. Koncepcja systemu ekspertowego z wykorzystaniem metody pozyskiwania wiedzy (indukcji drzew decyzyjnych) przedstawiona została na rysunku 5.



Rys. 5. Architektura systemu ekspertowego z zastosowaniem metody indukcji drzewa decyzyjnego, źródło: opracowanie własne na podstawie [17]

Proces konstruowania systemu ekspertowego należy do szeroko pojętych zagadnień inżynierii wiedzy. Dotyczy to zarówno metodologii, jak i narzędzi wykorzystywanych do budowy systemów ekspertowych. Inżynieria wiedzy realizuje procesy: (1) pozyskiwania wiedzy od ekspertów w danej dziedzinie i strukturalizacji jej zapisu, (2) wyboru właściwych metod wnioskowania dla określonych problemów i wyjaśniania rozwiązania, (3) budowy odpowiednich modułów umożliwiających komunikację między systemem a użytkownikiem.

Podstawowymi założeniami w proponowanej koncepcji systemu ekspertowego są możliwości:

- analizowania problemu na podstawie reguł,
- wyboru niezbędnych faktów zapisanych w bazie wiedzy do analizy problemu,
- wyjaśniania użytkownikowi sposobu analizy danego problemu.

3.1. Charakterystyka modułów systemu

Baza wiedzy w systemie ekspertowym zawiera informacje i całą wiedzę niezbędną do rozwiązania określonego problemu zdefiniowanego przez użytkownika. Są to reguły i fakty zapisane w bazie w określonym języku reprezentacji wiedzy. Fakty w bazie wiedzy określają związki między pewnymi obiektami i mogą charakteryzować się różnymi cechami. Reguły natomiast występują w większości systemów ekspertowych i mają postać:

IF *warunek* THEN *konkluzja*. (2)

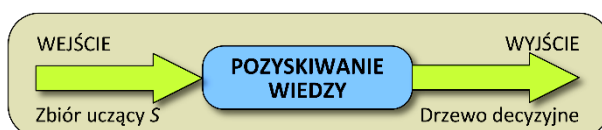
Niezwykle istotną kwestią każdego systemu ekspertowego jest implementacja jak najszerszej wiedzy, gdyż jakość systemu w zdecydowanie większej mierze zależy od wiedzy jaką zawiera system (baza wiedzy), a nie od procesu wnioskowania systemu ekspertowego. Pozyskiwana wiedza musi być odpowiednio ustrukturalizowana, a następnie przetwarzana w systemie dla osiągnięcia założonego celu.

Ważnym elementem całego systemu jest również moduł wnioskujący. Pozwala on na podstawie wiedzy zgromadzonej w bazie wiedzy rozwiązać problem stosując zaimplementowane w sobie procedury wnioskowania. W procesie wnioskowania sprawdzane są przesłanki reguł i podejmowane są akcje związane z konkluzjami. Wnioskowanie jest bardzo często wykonywane w systemach ekspertowych z zachowaniem zasad logiki formalnej (*modus ponens*).

$$\frac{(P \Rightarrow Q), P}{Q} \quad (3)$$

W systemie należy także zaimplementować tzw. moduł objaśniający. Moduł nie tylko ma za zadanie przedstawiać wynik wnioskowania, ale również powinien obrazować cały proces wnioskowania do momentu wyciągnięcia przez system konkluzji. Pozwoli to uwiarygodnić poprawność działania systemu, a także wskaże ewentualną potrzebę skorygowania zawartości bazy wiedzy.

Moduł akwizycji wiedzy jest z kolei odpowiedzialny za proces pozyskiwania i aktualizacji wiedzy zapisywanej w bazie wiedzy. W module tym implementuje się procedury wspomagające nabywanie nowej wiedzy (por. rys. 6).



Rys. 6. Idea działania modułu akwizycji wiedzy, źródło: opracowanie własne na podstawie [17]

3.2. Indukcyjny system pozyskiwania wiedzy

Indukcja systemu pozyskiwania wiedzy bazuje na indukcji drzew decyzyjnych Quinlana [16]. 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 jakoś otrzymanego drzewa decyzyjnego testuje się poprzez analizę przypadków zawartych w zbiorze testującym. Indukcję drzew decyzyjnych stosuje się głównie do klasyfikacji obiektów, a wygenerowana wiedza, poprzez działanie systemu ekspertowego, 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 [14, 15]:

$$Entropy(S) = - \sum_{i=1}^{|S|} \frac{|S_i|}{|S|} \cdot \log_2 \left(\frac{|S_i|}{|S|} \right) \quad (4)$$

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 S_v , dla których atrybut A przyjmuje wartość v , przedstawiona jest zależnością:

$$Gain(S, A) = Entropy(S) - \sum_{v \in A} \frac{|S_v|}{|S|} \cdot Entropy(S_v) \quad (5)$$

gdzie:

- \square wszystkich możliwych wartości atrybutu A ,
- S_\square - podzbiór zbioru S , dla którego atrybut A przyjmuje wartość \square ,
- $|S_\square|$ - liczba przykładów w zbiorze $|S_\square|$,

$|S|$ - liczba przykładów w zbiorze uczącym S .

4. PARADYGMAT UCZENIA MASZYNOWEGO W OCENIE RYZYKA PROJEKTÓW LOGISTYCZNYCH

Uczenie maszynowe to wnioskowanie o nieznanym zależnościach pomiędzy danymi wejściowymi (zmienne niezależne, cechy, predyktory) a wyjściowymi (zmienne zależne, odpowiedź). Zależność pomiędzy wejściem (WE) i wyjściem (WY) nie zawsze może być przedstawiona w formie analitycznej funkcji lub innej relacji typu *explicite*. Często przyjmuje formę tzw. czarnej skrzynki, działającej według określonego algorytmu uzyskanego z uczenia. W przypadku danych, dla których nie istnieje WY jest to wnioskowanie o prawdopodobieństwie równoczesnego wystąpienia pewnego zespołu cech.

Drzewa decyzyjne to jedna z najczęściej stosowanych metod w uczeniu z nadzorem (ang. *supervised learning*), gdzie istnieje pewien zbiór danych, tzw. zbiór uczący, w którym znana jest zmienna wejściowa i wynikająca z niej zmienna wyjściowa. Na tej podstawie poszukuje się ukrytych relacji, które łączą WE z WY i przewiduje WY dla nowych danych (spoza zbioru uczącego). Proponowany model to metoda znajdowania tych relacji (na podstawie odpowiednio dużego zbioru uczącego) – metoda uczenia maszynowego dla problemu oceny ryzyka projektów logistycznych (rys. 7).



Rys. 7. Model wnioskowania dla problemu oceny ryzyka projektów logistycznych, źródło: opracowanie własne

Do przeprowadzenia analizy danych opracowanych na potrzeby szacowania ryzyka projektu logistycznego zastosowano indukcyjną metodę uczenia maszynowego. Umożliwia ona zapis drzew decyzyjnych w postaci reguł, które mogą zostać wykorzystane do tworzenia bazy wiedzy w proponowanym systemie ekspertowym.

Ze względu na znaczny rozmiar analizowanego problemu, przedstawiony przykład dla oceny ryzyka projektu logistycznego rozważano tylko pod kątem kryterium czasowego. W przykładzie zdefiniowano następujące obszary problemu (atrybuty): krytyczne lub niekrytyczne czynności, prawdopodobieństwo ryzyka, wpływ ryzyka i ich wartości, które określają poziom ryzyka.

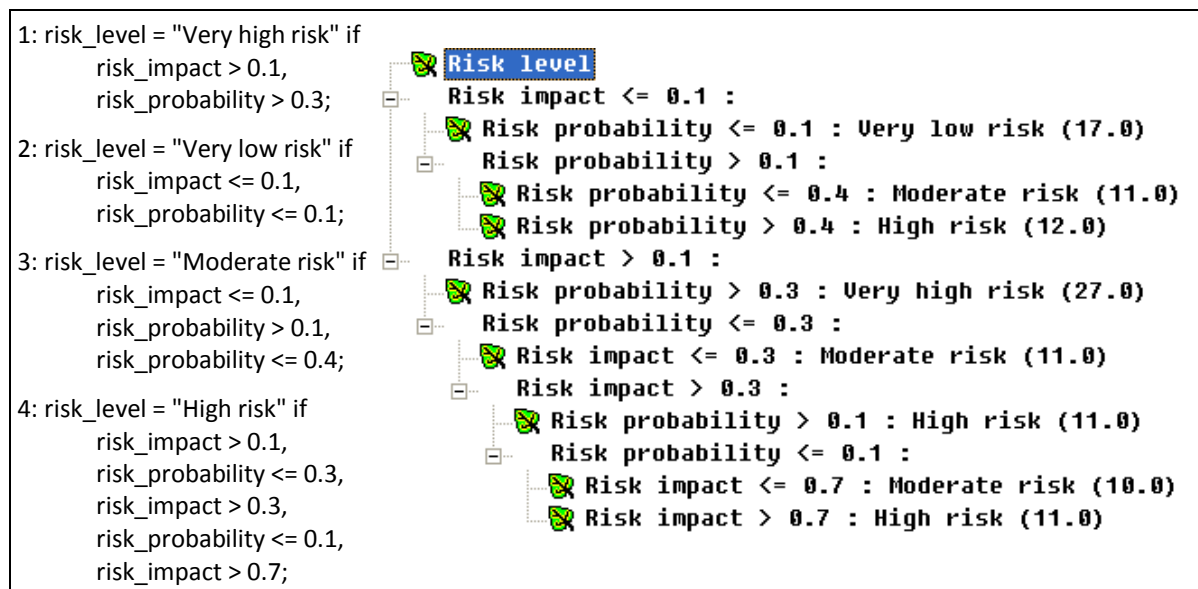
Na podstawie 110 historycznych ocen ryzyka dla czynności projektów logistycznych wygenerowano drzewo decyzyjne, które przedstawia uproszczone relacje między prawdopodobieństwem ryzyka (RP), jego wpływem (RI) oraz poziomem ryzyka $\in \{VL, L, M, H, VH\}$. Fragment danych historycznych, które zostały zgromadzone na podstawie oszacowanego przez ekspertów poziomu ryzyka dla poszczególnych czynności projektu logistycznego został przedstawiony w tabeli 2.

Tab. 2. Fragment danych historycznych do określania poziomu ryzyka w zbiorze uczącym, źródło: opr. własne

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	0,6	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
...
110	Nie	> 20% ponad granicę rezerwy	0,05	0,1	Bardzo niskie

W celu określenia poziomu ryzyka projektu logistycznego wykorzystuje się zbiór reguł zapisanych w bazie wiedzy. Na rysunku 8 przedstawiono wybrane przykłady zapisu reguł dla oceny poziomu ryzyka projektu logistycznego.



Rys. 8. Przykład reprezentacji wiedzy w ocenie poziomu ryzyka projektu logistycznego, źródło: opr. własne

Wartość entropii dla całego zbioru uczącego, obliczona zgodnie z zależnościami (4) i (5), wskazała na atrybut RI (wpływ ryzyka), który zapewnia maksymalizację wzrostu informacji w węzle i jest traktowany jako korzeń drzewa. W rezultacie końcowym otrzymano drzewo z 8 liśćmi zapisane w postaci określonych zasad reprezentacji wiedzy (por. rys. 8) [7].

Paradygmat uczenia maszynowego w ocenie ryzyka projektów logistycznych nie jest pozbawiony typowych problemów występujących w uczeniu maszynowym. Zagadnieniami, które wymagają szczególnej uwagi i dalszych badań są m.in.: (1) wybór optymalnej metody do wyznaczenia modelu, (2) właściwy dobór cech znaczących (atrybutów) w uczeniu – redukcja cech nadmiarowych, (3) właściwy dobór optymalnego i reprezentatywnego zbioru uczącego oraz (4) funkcja oceny akceptowalności wyniku (rozszerzenie indukcji drzew o zbiór testowy). Istotnym elementem aktualnie prowadzonych analiz jest weryfikacja wiedzy uzyskanej na podstawie zbioru testowego i przycinanie gałęzi drzewa decyzyjnego zgodnie z przyjętym parametrem. Parametr ten umożliwi wyznaczenie odpowiedniej klasyfikacji błędów przed i po przycięciu drzewa. Celem dalszych badań będzie minimalizacja błędów klasyfikacji dla wygenerowanego zestawu reguł w bazie wiedzy.

PODSUMOWANIE

Problem reprezentacji wiedzy jest istotnym zagadnieniem w koncepcji systemu ekspertowego, wspomagającej ocenę ryzyka projektów logistycznych. Definiowanie relacji pomiędzy czynnikami ryzyka, ich prawdopodobieństwem wystąpienia oraz wpływem na wejściu, a poziomem ryzyka projektu logistycznego na wyjściu z modelu wnioskowania jest podstawą opracowania skutecznych reguł w bazie wiedzy systemu ekspertowego.

Proponowane podejście może stanowić wsparcie dla menedżerów logistyki 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, regułowa reprezentacja wiedzy eksperckiej jest szczególnie istotna z punktu

widzenia: (1) członków zespołu projektowego, ponieważ pomaga zidentyfikować zdarzenia zagrażające planowanej realizacji projektu i oferuje sposoby ich skutecznego monitorowania, (2) użytkowników końcowych, ponieważ przyczynia się do zaspokajania ich potrzeb i osiągania właściwego stosunku wartości do ceny w odniesieniu do zaangażowanych środków i zasobów, (3) dostawców i kontrahentów, ponieważ rozsądne podejście do ryzyka w projektach logistycznych prowadzi do lepszego planowania i poprawy wyników zarówno dla sprzedających, jak i kupujących, (4) instytucji finansowych, które oferują kredyt jako źródło finansowania projektów adekwatnie do ryzyka, (5) ubezpieczycieli, którzy wymagają zabezpieczeń, że ryzyko niepowodzenia jest znane, monitorowane i odpowiednio zarządzane w ramach projektu, tak aby nie finansować istniejących zagrożeń.

Streszczenie

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie podejścia do oceny ryzyka projektów logistycznych w oparciu o indukcyjną metodę uczenia maszynowego. Problem akwizycji wiedzy, jej strukturalizacji i przetwarzania jest w przypadku zarządzania projektami logistycznymi nowym, dotychczas nierozpoznanym zagadnieniem. W proponowanym podejściu dąży się do sformułowania pewnych zasad w relacjach pomiędzy prawdopodobieństwem ryzyka i jego wpływem na poziom ryzyka projektu logistycznego. Do opracowania skutecznych reguł decyzyjnych niezbędne są doświadczenie i wiedza ekspertów. Reprezentacja parametrów ryzyka w postaci reguł IF-THEN stanowi podstawę bazy wiedzy w architekturze systemu ekspertowego, wspomagającego proces oceny ryzyka projektów logistycznych realizowanych w przedsiębiorstwach produkcyjnych, usługowych, jak również w całym łańcuchu dostaw.

The problem of knowledge representation in the risk assessment of logistics projects aided expert system

Abstract

The purpose of this paper is to present the approach to logistics project risk assessment with the use of the inductive supervised learning. In the case of logistics project management, the problem of knowledge acquisition, its structuralization and processing is a new, previously unrecognized issue. The proposed approach seeks to formulate certain principles in the relationship between the risk probability and its impact on the risk level of the logistics project. The experience and knowledge of experts are necessary to develop effective decision rules. Representation of risk parameters in the form of IF-THEN rules is the basis of the knowledge base of expert system architecture, supporting the risk assessment in logistics projects carried out in the enterprises and throughout supply chain.

BIBLIOGRAFIA

1. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge. PMBOK Guide - 5th Edition.* PMI, Newtown Square, PA, 2012.
2. Damm D., Schindler M., *Security issues of a knowledge medium for distributed project work.* International Journal of Project Management, 20, 2002, 30-47.
3. Jajuga K. (red.), *Zarządzanie ryzykiem.* PWN, Warszawa 2009.
4. Kasperek M., *Planowanie i organizacja projektów logistycznych.* UE w Katowicach, Katowice 2006.
5. Klincewicz K., *Cele zarządzania wiedzą.* [w:] Jemielniak D., Koźmiński A.K. (red.), *Zarządzanie wiedzą.* Wyd. Akademickie i Profesjonalne, Warszawa 2008, 77-114.
6. Kisperska-Moroń D., Krzyżaniak S. (red.), *Logistyka.* ILiM, Poznań 2009.
7. Łapuńka I., Pisz I., *Modelowanie oceny ryzyka projektu logistycznego z zastosowaniem indukcyjnego systemu pozyskiwania wiedzy.* Logistyka, 4, Logistyka - nauka (CD), 2014 (w druku).
8. 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.
9. Nowosielski S. (red.), *Procesy i projekty logistyczne.* UE we Wrocławiu, Wrocław 2008.

10. Panel Polskich Menedżerów Logistyki, Raport 2011. Projekty logistyczne – doświadczenia polskich przedsiębiorstw, 2011.
11. Pisz I., *Applying fuzzy logic and soft logic to logistics projects modelling*. [in:] Fertsch M., Grzybowska K., Stachowiak A. (eds.), Modeling of modern logistics enterprises. Monograph. Publishing House of Poznan University of Technology, Poznań 2009, 201-210.
12. Pisz I., *Project risk assessment using Fuzzy Inference System*. Logistics and Transport, 2 (13), 2011, 25-34.
13. Pisz I., Łapuńska I., *Analiza zagrożeń płynących z podejmowania projektów logistycznych*. Gospodarka Materiałowa i Logistyka, 10, 2012, 15-18.
14. Quinlan J.R., *C4.5: Program for machine learning*. Morgan Kaufmann, 1993.
15. Quinlan J.R., *Improved use of continuous attributes in C4.5*. Journal of Artificial Intelligence Research, 4, 1996, 77-90.
16. Quinlan J.R., *Induction of decision trees*. Machine Learning, 1, 1986, 81-106.
17. Serafin R., Łapuńska I., *The concept of project risk assessment with the use of inductive knowledge acquisition system*. Proceedings of the International Scientific Conference on MMK 2011, Hradec Králové, The Czech Republic, 2011, 1345-1354.
18. Tworek P., *Ryzyko wykonawców przedsięwzięć inwestycyjnych*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice 2010.
19. Witkowski J., Rodawski B., *Pojęcie i typologia projektów logistycznych*. Gospodarka Materiałowa i Logistyka, 3, 2007, 2-6.
20. Żmigrodzki M., *Wiedza w cyklu życia projektu, czyli o czym PMBOK nie wspomina*. 4pm.pl Project Management, <http://www.4pm.pl/artykuly/wiedza-w-cyklu-zycia-projektu-czyli-o-czym-pmbok-nie-wspomina> (15.11.2013).