

EKSPERCKA OCENA RYZYKA INNOWACJI Z WYKORZYSTANIEM ROZMYTEGO SYSTEMU WNIOSKUJĄCEGO

Anna M. DEPTUŁA, Katarzyna RUDNIK

Streszczenie: W artykule przedstawiono wykorzystanie rozmytego systemu wnioskującego do oceny ryzyka innowacji technicznej. Opracowane narzędzie pozwala na szczegółową ocenę czynników ryzyka innowacji w oparciu o trzy parametry: prawdopodobieństwo P , wykrywalność W oraz znaczenie zagrożenia S . W trakcie budowy bazy wiedzy systemu rozmytego można określić preferencję ważności wybranego parametru P , W lub S . Jest to zaleta proponowanego rozwiązania w porównaniu z tradycyjną oceną ryzyka wynikającą z zastosowania iloczynu parametrów: P , W i S . Artykuł przedstawia przykład oceny wybranej innowacji produktowej.

Słowa kluczowe: innowacje, ryzyko, ocena ryzyka, ocena wielokryterialna, logika rozmyta.

1. Wstęp

Wdrażanie innowacji to proces decyzyjny, który ma zawsze ściśle określony cel. Podejmowanie decyzji w przedsiębiorstwie realizowane jest przez ekspertów, którzy analizując stan obecny wybierają jedno z możliwych rozwiązań [1, 2]. W ogólnym rozumieniu decyzje zawężają się do dokonania pewnego aktu wyboru. Należy mieć świadomość, iż jest to działanie, które wymaga przeprowadzenia wielu operacji myślowych, związanych z wartościowaniem wyników, szacowaniem prawdopodobieństwa ich uzyskania, porównaniem użyteczności itp. To inaczej poszukiwanie właściwej drogi w rozwiązaniu pewnego problemu [3]. Inwestycje dotyczące innowacji podejmowane są głównie w warunkach ryzyka, a realizacja projektów innowacyjnych związana jest z koniecznością analizy potencjalnych zagrożeń. Wydaje się, iż osiągnięcie najlepszego rezultatu zarówno w aspekcie technicznym, jak i ekonomicznym jest praktycznie niemożliwe. Podejmowanie decyzji optymalnych jest w tym względzie mocno ograniczone. Możemy mówić raczej o decyzjach zadawalających, czyli takich, które wiążą się z satysfakcjonującym stanem rzeczy. Może on dotyczyć maksymalnego poziomu ryzyka, jaki dopuszczalny jest w przypadku danego rozwiązania innowacyjnego oraz dążenia do wyboru wariantu, który będzie posiadał minimalną wartość ryzyka. Teoria oceny ryzyka jest bardzo rozbudowaną dziedziną nauki, a samo przeprowadzenie oceny zadaniem trudnym i złożonym. W praktyce liczą się rozwiązania proste i skuteczne, dlatego też dużą wagę przywiązuje się do metod i technik łatwych i szybkich w użyciu [1, 2, 4]. Tym bardziej, iż w przedsiębiorstwach produkcyjnych punkt ciężkości analiz dotyczy w pierwszej kolejności kwestii technicznych, a tłem podejmowanych decyzji są uwarunkowania ekonomiczne przedsiębiorstwa i samej innowacji.

Obok samej metody oceny ryzyka kluczową rolę w procesie decyzyjnym pełnią eksperci. Dążenie do wyeliminowania subiektywizmu w podejmowanych decyzjach prowadzi do stosowania różnych technik i narzędzi, mających na celu zobiektywizowanie

podejmowanych decyzji. Jednym z nich jest zastosowanie logiki rozmytej. Logika rozmyta pozwala na odejście od ściśle punktowych ocen wyrażających subiektywne opinie dotyczące ryzyka i umożliwia opis lingwistyczny w postaci wyrażen słownych. Ma to głównie znaczenie w przypadku opisu zależności, które trudno zapisać ścisłym modelem matematycznym, jak również w sytuacjach obarczonych niepewnością. Wówczas eksperci mogą stosować symbolikę wykorzystującą logikę rozmytą wraz z regułami warunkowymi do słownego opisu zależności, co znacznie ułatwia budowę bazy wiedzy i umożliwia wnioskowanie w oparciu o słowny opis ekspertów.

Celem artykułu jest propozycja zastosowania rozmytego systemu wnioskującego do szczegółowej oceny czynników ryzyka innowacji technicznej. W rozdziale drugim przedstawiono podstawy wykorzystania logiki rozmytej do budowy systemu wnioskującego z perspektywy oceny ryzyka innowacji. W trzeciej części zaproponowano rozmyty system wnioskujący do oceny czynników ryzyka innowacji. W rozdziale czwartym opisano podstawowe założenia wnioskowania oraz przykład przeprowadzonej oceny ryzyka z wykorzystaniem systemu. Całość podsumowana została w rozdziale piątym, w którym zaprezentowano wnioski wynikające z przeprowadzonej oceny ryzyka wybranej innowacji produktowej.

2. Zastosowanie logiki rozmytej do budowy rozmytych systemów wnioskujących

W przypadku rozwiązań innowacyjnych, gdzie wiele elementów związanych jest z obszarem niepewności, spotykamy się z trudnością wyrażenia poszczególnych ocen w postaci konkretnych wartości liczbowych. Wówczas, wykorzystując teorię zbiorów rozmytych mamy możliwość określania przybliżonych wielkości oraz ocen wyrażanych w postaci werbalnej [2].

W teorii zbiorów rozmytych, wprowadzonej przez Zadeha w 1965 roku [6], wykorzystuje się zbiory rozmyte A , w niepustej przestrzeni X , określone jako zbiór par:

$$A = \{(x, \mu_A(x)); x \in X\}, \quad (1)$$

gdzie μ_A stanowi funkcję charakterystyczną zwaną funkcją przynależności, taką że:

$$\mu_A: X \rightarrow [0, 1]. \quad (2)$$

Funkcja ta każdemu elementowi x w przestrzeni X przypisuje pewien stopień przynależności do zbioru rozmytego A . Można wymienić następujące przypadki:

- $\mu_A(x) = 1$, oznacza pełną przynależność elementu x do zbioru rozmytego A ,
- $\mu_A(x) = 0$, brak przynależności elementu x do zbioru rozmytego A ,
- $0 < \mu_A(x) < 1$, częściową przynależność elementu x do zbioru rozmytego A .

W przykładach zastosowań logiki rozmytej, kształt funkcji przynależności jest definiowany subiektywnie przez eksperta i wynika z kontekstu sytuacyjnego [7]. Najczęściej jednak w praktyce, stosowane są funkcje odcinkowo-liniowe (funkcję trójkątne bądź trapezowe), gdzie do ich zdefiniowania potrzebna jest minimalna liczba informacji (dane dotyczące punktów narożnych funkcji). Ma to szczególne znaczenie w przypadku zastosowań zbiorów rozmytych do modelowania zmiennych lingwistycznych związanych z opisem innowacji i ich ryzyka. Ograniczona wówczas ilość posiadanych informacji jest wystarczająca do budowy poszczególnych zbiorów rozmytych. Zmienną lingwistyczną nazywamy pięcio-elementowy zbiór [8]:

{nazwa zmiennej lingwistycznej x_{nazwa} ; zbiór wartości lingwistycznych $L(x)$; przestrzeń rozważań X ; zbiór reguł syntaktycznych G ; funkcja semantyczna M_x }. (3)

Przykładowo, w przypadku opisu ryzyka innowacji, możemy utworzyć zmienną lingwistyczną o nazwie „ryzyko innowacji”, która posiada zbiór wartości (opisów) lingwistycznych $L(x)=\{„bardzo małe”, „małe”, „przeciętne”, „duże”, „bardzo duże”\}$, zdefiniowanych w obszarze rozważań $X=[0, 1000]$. Wówczas, definicję przykładowej wartości lingwistycznej „duże” można zapisać w postaci funkcji trapezowej następująco:

$$\mu_{duże}(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x < 500 \text{ i } x > 1000 \\ \frac{x-500}{250} & \text{dla } 500 \leq x \leq 750 \\ \frac{1000-x}{250} & \text{dla } 750 \leq x \leq 1000 \end{cases} . \quad (4)$$

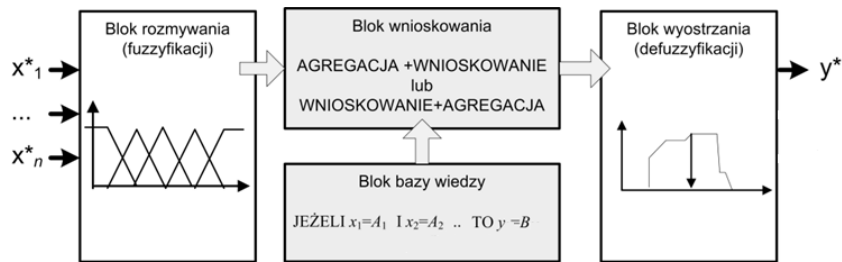
W przypadku ryzyka innowacji, wskazówkami dla reguł syntaktycznych, które umożliwiają utworzenie wszystkich wartości lingwistycznych w zbiorze $L(x)$, są opisy słowne, jakimi posługują się w praktyce eksperci, oceniający możliwość zastosowania danych innowacji i ich ryzyka. Przekaz słowny ekspertów dotyczący zakresów punkowych w obszarze rozważań, które mogą odzwierciedlać wartości lingwistyczne, pozwala na określenie funkcji semantycznej.

Własności zbiorów rozmytych umożliwiają budowę rozmytych systemów wnioskujących (zwanym także modelami rozmytymi [9]). Rozmyte systemy wnioskujące stanowią systemy z bazami wiedzy, w których wykorzystane jest podejście lingwistyczne do modelowania i wnioskowania (zwanego również modelowaniem i wnioskowaniem rozmytym). Są one także nazwane rozmytymi systemami ekspertowymi, jako połączenie systemów ekspertowych i zmiennych lingwistycznych [7]. Baza wiedzy jest więc podstawowym kryterium, jakie musi spełniać system ekspertowy. W ściśle określonej dziedzinie, jaką jest np. ocena ryzyka innowacji, zgromadzone i przetworzone informacje wraz z mechanizmem wnioskowania powinny pozwolić na heurystyczną ocenę ryzyka w stopniu porównywalnym do doświadczenia i wiedzy eksperta. System ekspertowy powinien pozwalać na przyśpieszenie podejmowanych decyzji i skracanie czasu przeszukiwania przestrzeni problemowej.

W literaturze dotyczącej systemów rozmytych [m.in. 7, 9, 11] wyróżnia się cztery podstawowe elementy struktury rozmytego systemu wnioskującego (rys. 1): blok rozmywania, blok wnioskowania, bazę wiedzy, blok wyostrzania. Baza wiedzy takiego systemu zawiera rozmyty model lingwistyczny (model Mamdaniego), pozwalający na odwzorowanie wejścia modelu na wyjście poprzez zbiór rozmytych reguł warunkowych w postaci:

$$\text{JEŻELI } x_1=A_1 \text{ I } x_2=A_2 \text{ I } \dots \text{ I } x_n=A_n \text{ TO } y = B, \quad (5)$$

gdzie x_1-x_n stanowią rozmyte zmienne wejściowe modelu, y – rozmytą zmienną wyjściową, A_1-A_n , B – wartości zmiennych lingwistycznych, które są utożsamiane ze zbiorami rozmytymi, odpowiednio dla wejść i dla wyjścia modelu. Szczegółowa postać modelu kształtuje się w zależności od zastosowania. Opis zmiennych lingwistycznych i wartości lingwistycznych proponowanego systemu do oceny czynników ryzyka innowacji zamieszczone zostały w rozdziale 3.

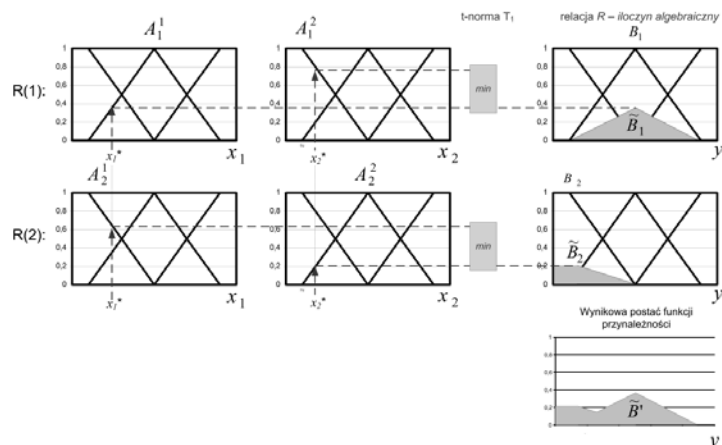


Rys. 1. Struktura rozmytego systemu wnioskującego

Procedury wnioskowania w oparciu o rozmyty model lingwistyczny stanowią sposób zamiany wartości wejściowych (najczęściej wartości liczbowych na wejściu: x_1^*, \dots, x_n^*) na rozmyty zbiór wyjściowy, który po wyostrzaniu daje w rezultacie numeryczną wartość liczbową na wyjściu systemu y^* . W przypadku oceny innowacji, wartość liczbową na wyjściu systemu określa ocenę danego czynnika ryzyka innowacji. Szczegółową teorię na temat wnioskowania zapoczątkował Zadeh w 1979. Wśród prac, które przedstawiają tą tematykę można także wymienić: [7, 9, 10, 11]. Istnieje wiele metod wnioskowania, jednak najczęściej wykorzystywane są procedury wnioskowania zgodne z uogólnioną regułą *modus ponendo ponens*. Przykład wnioskowania opartego na pojedynczych regułach dla uproszczonej bazy reguł:

$$\begin{aligned}
 R(1): & \text{ JEŻELI } x_1 = A_1^1 \text{ I } x_2 = A_2^1 \text{ TO } y = B_1, \\
 R(2): & \text{ JEŻELI } x_1 = A_2^1 \text{ I } x_2 = A_2^2 \text{ TO } y = B_2.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

został zamieszczony na rysunku 2. Taki typ wnioskowania będzie wykorzystany w analizowanym przypadku systemu. Blok wnioskowania realizuje najpierw wnioskowanie na pojedynczych regułach z wykorzystaniem właściwego operatora jako spójnika logicznego I (t-normy T_1 : minimum, iloczynu algebraicznego itp.) oraz relacji rozmytej (t-normy T_2 : minimum, iloczynu algebraiczny itp.), a następnie agreguje wynik w postaci rozmytego zbioru wyjściowego. Doboru operatorów wykonuje się na zasadzie dopasowania wyników wnioskowania do analizowanego przypadku zastosowania.



Rys. 2. Ilustracja do przykładu wnioskowania [7]

Wyjściowy zbiór rozmyty \widetilde{B}^T opisany na przestrzeni Y może zostać zamieniony na wartość liczbową y^* z wykorzystaniem wielu metod wyostrzania. Do najczęściej stosowanych należy metoda środka ciężkości COG:

$$y^* = \frac{\int_Y y \mu_{\widetilde{B}^T}(y) dy}{\int_Y \mu_{\widetilde{B}^T}(y) dy} \quad (7)$$

3. Propozycja rozmytego systemu wnioskującego do oceny czynników ryzyka innowacji

Jedną z częściej stosowanych metod oceny ryzyka, bez względu na szczegółowy podmiot analizy, jest metoda obliczająca wskaźnik ryzyka na podstawie iloczynu trzech poszczególnych parametrów:

- prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia P ,
- wykrywalność zagrożenia (ekspozycja na zagrożenie) W ,
- potencjalne skutki zagrożenia (straty, uciążliwość) S .

Tą metodę obliczeń stosuje się do oceny wyrobów, stanowisk (maszyn i urządzeń) i procesów pracy, zarówno w sensie bezpieczeństwa i higieny pracy, bezpieczeństwa konstrukcyjnego, efektywności realizacji procesów, jak również bezpieczeństwa związanego z kształtowaniem ekologicznych cech wyrobów i procesów. Metoda ta jest podstawą wyliczania wskaźnika RPN (Risk Priority Number) wykorzystywanego podczas przeprowadzania FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). Mimo prostoty wspomnianej metody w literaturze znajdziemy również jej przeciwników [12, 13, 14]. Do głównych wad rozwiązania należą [14]:

- różne kombinacje wartości wskaźników P , W , S mogą dawać w rzeczywistości tą samą wartość wskaźnika ryzyka, choć ukryte ryzyko może być w rzeczywistości odmienne;
- względne znaczenie parametrów P , W , S nie jest brane pod uwagę, a zatem te trzy czynniki są uważane za równo ważne, co z praktycznego punktu widzenia nie ma zastosowania;
- istnieją trudności w oszacowaniu dokładnych wartości wymienionych wskaźników P , W , S .

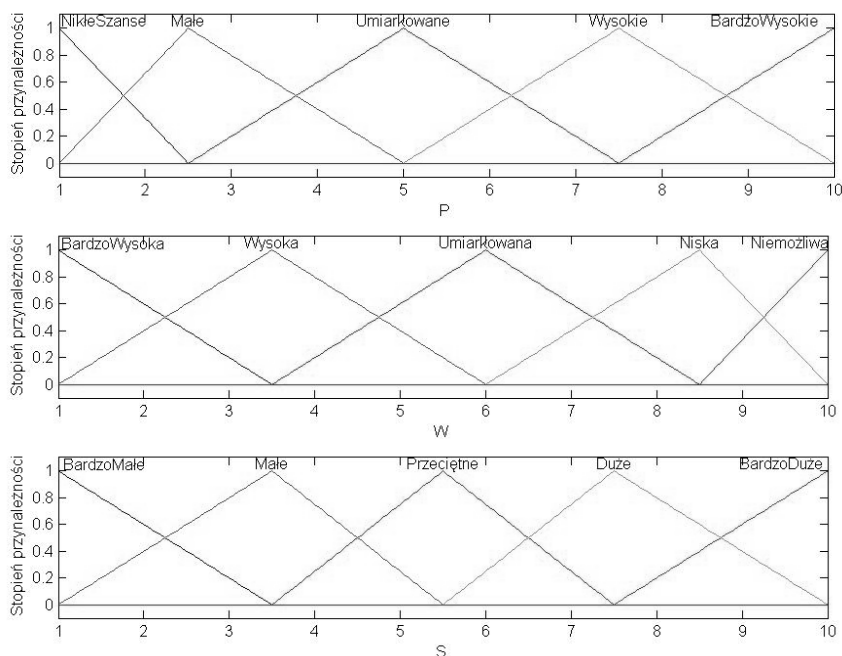
W przypadku oceny ryzyka innowacji, skutek zagrożenia ma największy wpływ na kształtowanie się całościowej oceny ryzyka związanej z wprowadzeniem danej innowacji. Nie da się tego założenia uwzględnić obliczając ryzyko jako iloczyn parametrów P , W , S . W artykule proponuje się strukturę rozmytego systemu wnioskującego, który pozwoli na określenie wartości poszczególnych czynników ryzyka dla innowacji, w oparciu o wartości trzech wymienionych parametrów P , W , S , które w systemie stanowią zmienne lingwistyczne na wejściu (w obszarze rozważań [1,10]). Zastosowanie specjalnie przygotowanej bazy wiedzy, w oparciu o wiedzę i doświadczenie ekspertów z dziedziny innowacji, pozwoli na ocenę czynnika ryzyka z uwzględnieniem ważności odpowiedniego parametru. Po analizie opisów słownych, używanych w kontekście analizy ryzyka innowacji, ustalono szereg wartości lingwistycznych opisujących prawdopodobieństwo wystąpienia ryzyka („Nikłe szanse”, „Małe”, „Umiarkowane”, „Wysokie”, „Bardzo wysokie”), wykrywalności zagrożenia („Niemożliwa”, „Niska”, „Umiarkowana”, „Wysoka”, „Bardzo wysoka”) oraz potencjalne skutki zagrożenia („Bardzo małe”, „Małe”, „Przeciętne”, „Duże”, „Bardzo duże”). Definicje zbiorów rozmytych, utożsamianych z

wartościami lingwistycznymi zmiennych lingwistycznych P , W , S , zostały zamieszczone na rysunku 3. Wyjście systemu stanowi zmienna lingwistyczna R , wyrażająca ocenę czynnika ryzyka innowacji i określona za pomocą pięciu wartości lingwistycznych dotyczących danego ryzyka („Bardzo małe”, „Małe”, „Przeciętne”, „Duże”, „Bardzo duże”) (rys. 4).

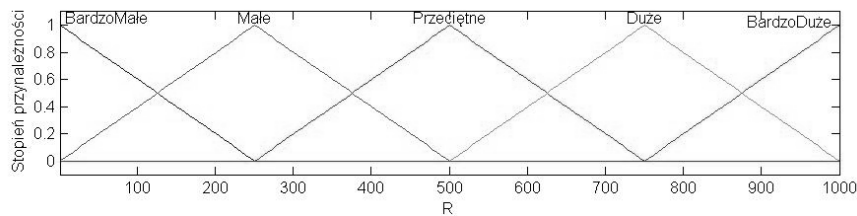
Opis słowny użytych zmiennych wejściowych i wyjściowej ułatwił budowę bazy reguł poprzez określenie złożonych z trzech przesłanek reguł warunkowych w postaci IF-THEN, na przykład:

JEŻELI P =”Wysokie” I W =”Umiarkowana” I S =”Duże” TO R =”Duże”.

Pełną bazę reguł (125 reguł) dla systemu oceniającego ryzyko innowacji przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 3. Definicje zbiorów rozmytych dotyczących wartości lingwistycznych dla zmiennych wejściowych systemu oceniającego ryzyko innowacji



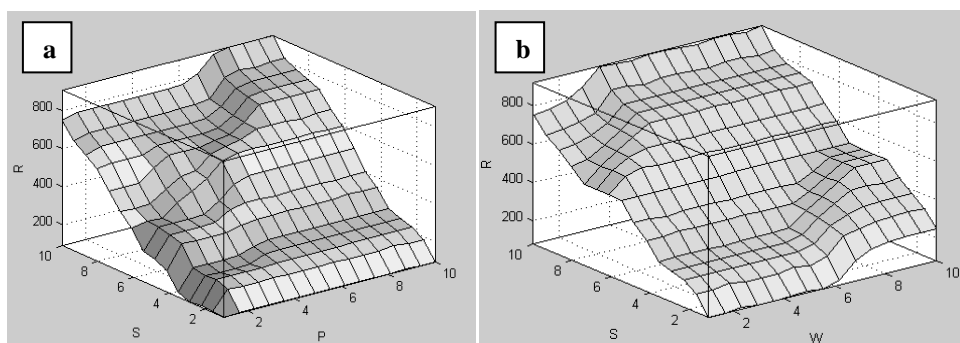
Rys. 4. Definicje zbiorów rozmytych dotyczących wartości lingwistycznych dla zmiennej wyjściowej opisującej dany czynnik ryzyka innowacji

Tab. 1. Baza reguł dla rozmytego systemu wnioskującego, oceniającego czynniki ryzyka innowacji

Parametr P \ Parametr W	Niskie szanse					Małe					Przeciętne					Duże					Bardzo duże				
	Niskie szanse	Małe	Umiarkowane	Wysokie	Bardzo wysokie	Niskie szanse	Małe	Umiarkowane	Wysokie	Bardzo wysokie	Niskie szanse	Małe	Umiarkowane	Wysokie	Bardzo wysokie	Niskie szanse	Małe	Umiarkowane	Wysokie	Bardzo wysokie	Niskie szanse	Małe	Umiarkowane	Wysokie	Bardzo wysokie
Nieosiągalna	BM	M	M	M	M	M	P	P	P	P	P	P	P	D	D	D	D	D	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD
Niska	BM	BM	M	M	M	M	M	P	P	P	P	P	P	P	D	D	D	D	D	BD	BD	BD	BD	BD	BD
Umiarkowana	BM	BM	BM	BM	BM	M	M	M	P	P	P	P	P	P	P	P	D	D	D	D	BD	BD	BD	BD	BD
Wysoka	BM	BM	BM	BM	BM	BM	M	M	M	M	M	P	P	P	P	P	P	D	D	D	D	BD	BD	BD	BD
Bardzo wysoka	BM	BM	BM	BM	BM	BM	BM	M	M	M	M	M	P	P	P	P	P	P	D	D	D	D	D	BD	BD
Parametr S	Bardzo małe					Małe					Przeciętne					Duże					Bardzo duże				

Wartości lingwistyczne dla ryzyka innowacji (R): BM - Bardzo małe, M - Małe, P - Przeciętne, D - Duże, BD - Bardzo Duże

Wykorzystując utworzoną bazę reguł oraz mechanizm wnioskowania zgodny z uogólnioną regułą *modus ponendo ponens* opartą na pojedynczych regułach (patrz rysunek 2), dla faktów w postaci wartości liczbowych zmiennych wejściowych P , W , S , można obliczyć wartość liczbową odzwierciedlającą ocenę dla danego czynnika ryzyka związanego z innowacją. Podczas wnioskowania wykorzystano minimum jako operator dla spójnika logicznego I oraz relacji rozmytej, oraz maksimum dla operacji agregacji. Wartość liczbową na wyjściu otrzymano za pomocą metody środka ciężkości (7). Rysunek 5 przedstawia wykresy przykładowych zależności obliczonej oceny czynnika ryzyka od parametrów na wejściu systemu. Zależności jednoznacznie pokazują, iż ocena danego czynnika ryzyka innowacji jest uzależniona przede wszystkim od skutku zagrożenia. Pozostałe parametry (prawdopodobieństwo oraz wykrywalności) mają porównywalny, ale mniejszy wpływ na wartość analizowanego czynnika ryzyka.



Rys. 5. Przykłady zależności oceny czynnika ryzyka innowacji od wartości parametrów: a) S , P gdzie $W=2$; b) S , W gdzie $P=5$

Przykładowo, na rysunku 5a przedstawiono wyniki uzyskane na wyjściu systemu jako oceny danego czynnika ryzyka w zależności od wartości prawdopodobieństwa i potencjalnego skutku przy wykrywalności określonej na 2 punkty (bardzo wysokiej). Strome nachylenie płaszczyzny przy zwiększającej się wartości S wskazuje na duży wpływ tego parametru przy określaniu oceny czynnika ryzyka. W przypadku zwiększającej się wartości P wynik oceny wzrasta jedynie w ograniczonym zakresie.

4. Zastosowanie proponowanego systemu do oceny wybranej innowacji technicznej

4.1. Założenia

Prezentowany przykład został opracowany na podstawie założeń metody oceny ryzyka omówionej w pracy [5]. W metodzie tej w części pierwszej przeprowadza się ocenę ogólną zdolności przedsiębiorstwa do realizacji przedsięwzięcia innowacyjnego oraz w części drugiej ocenę specyficznych cech innowacji, gdzie wyróżnia się trzy sytuacje decyzyjne, które predysponują do zastosowania jednego z wybranych przypadków metody. **Pierwszy przypadek** zalecany jest do sytuacji, w której działalność przedsiębiorstwa nie jest typowa dla branży elektromaszynowej, a więc może istnieć obawa, że strony przedsiębiorstwa, przed niedostawieniem wiedzy eksperta do realiów danej jednostki. **Drugi przypadek** zalecany jest dla typowych przedsiębiorstw z przemysłu metalowego i maszynowego. Z powodzeniem może być stosowana również do powtórnych analiz projektów innowacyjnych, które z uwagi na możliwość wdrożenia tylko jednego rozwiązania w danym czasie, zostały odłożone na późniejszy czas. Jest to tzw. ocena z uwzględnieniem podobnych psychologicznych uwarunkowań decydentów. Z kolei **trzeci przypadek**, zalecany jest dla projektów, które mają być realizowane równolegle z rozpoczętymi już projektami innowacyjnymi, bądź uległy znacznym zmianom z uwagi na krytyczne nastawienie konstruktorów/pracowników przedsiębiorstwa. Jest to tzw. ocena z dodatkowym marginesem bezpieczeństwa [16]. Każdy z przypadków oceny ma charakter wielokryterialny i wykorzystuje się w nim wagi do oceny poszczególnych aspektów innowacji. W dotychczasowych zastosowaniach metody wskaźniki ryzyka dla poszczególnych czynników ryzyka obliczane były z zachowaniem takiego samego stopnia ważności P , W i S . Dopiero zidentyfikowanie danego zagrożenia, w ramach konkretnego kryterium, pozwalało wprowadzić pewną hierarchizację wyników, nie tylko z uwagi na wartości poszczególnych parametrów. Wadę tę likwidowano poprzez sporządzanie oprócz raportu ryzyka, czyli listy czynników ryzyka wraz z ich oceną, tzw. mapy ryzyka. Struktura macierzy poprzez zaprezentowanie na osi odciętej kartezjańskiego układu współrzędnych wartości S pozwalała bowiem na interpretację wyników ze względu na większe znaczenie skutków, jakie wywołują zidentyfikowane zagrożenia.

Z uwagi na prostą strukturę pierwszego etapu oceny ryzyka, nie istnieją przesłanki metodologiczne do zmiany procedur obliczeń tego etapu. W artykule zaproponowano modyfikację drugiego etapu obliczeń dotyczących oceny specyficznych cech innowacji. Mianowicie, do oceny ryzyka z uwagi na poszczególne zagrożenia, zastosowano rozmyty system wnioskujący, który szczegółowo opisano w rozdziale 3. Chcąc zachować pewną uniwersalność systemu wnioskującego, zdecydowano się na opracowanie takiej jego struktury, która pozwoli wyliczać ocenę ryzyka poszczególnych zagrożeń, a dopiero potem „ważyć” uzyskane wyniki. Szczegółową ocenę ryzyka otrzymuje się w oparciu o analizę trzech parametrów: P , W i S związanych z danym czynnikiem. W metodzie omówionej w pracy [5], ryzyko szczegółowe innowacji obliczane jest jako suma ważona iloczynów wspomnianych parametrów, co traktuje parametry równoważnie. Natomiast, zastosowanie opracowanego systemu pozwoli na wnioskowanie o wartości ryzyka z uwzględnieniem ważności dla wybranego parametru (w naszym przypadku dla S).

4.2. Szczegółowa ocena ryzyka innowacji produktowej

Ocenianym rozwiązaniem była innowacja produktowa, polegająca na wprowadzeniu do produkcji innowacyjnych zaworów hydraulicznych na skalę kraju. W czasie, gdy rozważano wdrożenie innowacji, równolegle firma była w trakcie realizacji innej innowacji, dlatego też do oceny tego rozwiązania wykorzystano przypadek trzeciej oceny. Przeprowadzając szczegółową ocenę ryzyka, określono zestaw 14 kryteriów szczegółowych związanych z wdrażaniem innowacyjnych zaworów hydraulicznych [15]. W ramach każdego kryterium określono zagrożenia związane z ryzykiem danego typu, łącznie zidentyfikowano 59 czynników ryzyka. Następnie określono wartości liczbowe parametrów *P*, *W*, *S* dla każdego czynnika ryzyka. Wartości parametrów dla pojedynczego czynnika stanowią wartości wejściowe do utworzonego systemu. Uruchamiając 59 razy proces wnioskowania w utworzonym systemie (parametry wnioskowania zostały opisane w rozdziale 3), otrzymujemy wartości ocen innowacji dla każdego z czynników ryzyka. Następnie uwzględniając wagi kryteriów szczegółowych otrzymujemy ważoną ocenę dla poszczególnych czynników ryzyka. Wyniki obliczeń zostały przedstawione w tabeli 2. Wynik końcowy oceny, otrzymywany poprzez zsumowanie ważonych wartości oceny poszczególnych czynników ryzyka, jest następnie porównany z przedziałami ryzyka (więcej patrz [5]) (tabela 3).

Tab. 2. Obliczenia dla oceny szczegółowej oceny ryzyka procesu wprowadzania innowacyjnych zaworów hydraulicznych

Nr czynnika ryzyka	Kryterium szczegółowe	Wartości parametrów			Waga	Wynik wnioskowania systemu – ocena czynnika ryzyka	Ważona ocena czynnika ryzyka
		P	W	S			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)=(6)*(7)
1	Minimalizacja negatywnego oddziaływania na środowisko	2	1	1	0,0580	88,48	5,13
2	Minimalizacja uchybień proceduralnych mogących skutkować brakiem zezwolenia na rozpoczęcie produkcji	5	1	3	0,0820	245,00	20,09
3		2	1	7		425,15	34,86
4		8	2	3		244,19	20,02
5		2	1	1		88,48	7,26
6		2	3	3		235,99	19,35
...
58	Minimalizacja projektów, które nie spełniają wymogów klienta w zakresie aspektów technicznych i ekonomicznych	8	1	9	0,0900	797,13	71,74
59		8	1	9		797,13	71,74
Całościowa ocena ryzyka dla kryteriów szczegółowych (suma): 1917,88							

Skala przedziałowa (tabela 3) dla kryteriów szczegółowych ustalona została zgodnie z następującymi formułami. Maksymalna wartość ryzyka dla wszystkich czynników ryzyka:

$$H = \sum_{i=1}^m w_j \cdot \max R, \quad (8)$$

gdzie:

w_j – waga j -tego kryterium dla i -tego zagrożenia; $maxR$ – wartość uzyskana z systemu dla $P=10$, $W=10$, $S=10$; $j=1, \dots, 14$ – numer kryterium; $i=1, \dots, m$ – numer zagrożenia.

Minimalna wartość ryzyka dla wszystkich czynników ryzyka:

$$M = \sum_{i=1}^m w_j \cdot minR, \quad (9)$$

gdzie:

$minR$ – wartość uzyskana z systemu dla $P=1$, $W=1$, $S=1$.

Rozpiętość przedziału kryteriów szczegółowych :

$$d_{ks} = \frac{H-M}{5}. \quad (10)$$

Dolne przedziały obszarów ryzyka (q – numer przedziału):

$$Dg_{q=1} = M; Dg_q = 0,001 + Dg_{q-1} \text{ dla } q = 2, \dots, 5. \quad (11)$$

Górne przedziały zakresów ryzyka:

$$Gg_q = Dg_q + d_{ks}; Gg_{q=5} = M. \quad (12)$$

Po określeniu przedziałów ryzyka obliczony wskaźnik ryzyka dla kryteriów szczegółowych przyporządkowywany jest do odpowiedniego obszaru ryzyka (patrz tabela 3).

Tab. 3. Skala dla kryteriów szczegółowych

Bardzo niskie		Niskie		Średnie		Wysokie		Bardzo wysokie	
344,400	1082,808	1082,809	1821,217	1821,218	2559,626	2559,627	3298,035	3298,036	4036,439

Po przeprowadzeniu analiz okazało się, iż innowacja cechuje się bardzo dużym ryzykiem. Zgodnie z trzecim przypadkiem, wykorzystuje się wartość uzyskaną na poziomie kryteriów ogólnych (1,997) do ustalenia wyniku końcowego. Wynik szczegółowej oceny ryzyka (1917,88) mnoży się przez wartość uzyskaną w pierwszym etapie oceny. Zatem ostateczny wynik wynosi 3830,001. Na tej podstawie interpretujemy ryzyko projektu jako bardzo wysokie. Warto zauważyć, iż gdyby oceniana inwestycja nie była rozważana w trakcie realizacji innej innowacji to ocena projektu byłaby inna i oznaczała średnie ryzyko wdrożenia.

5. Podsumowanie

W metodzie opisanej w pracy [5] wyniki końcowe oceny ryzyka uzyskiwane są poprzez analizę mapy i raportu ryzyka. Dzieje się tak z uwagi na fakt, iż oba narzędzia mają charakter uzupełniający. Oznacza to, że część wyników jest zbieżna, a część jest inna z uwagi na metodę prezentacji danych. Stąd też, dotychczas zalecane było stosowanie obu narzędzi jednocześnie. Główną przyczyną takiego podejścia było dodatkowe uhierarchizowanie wyniku ryzyka ze względu na skutek jaki wywołuje dane zagrożenie na tzw. mapie ryzyka. W przypadku raportu, takie rozróżnienie nie było możliwe. Dlatego też, z uwagi na walory płynące z obu narzędzi (w mapie niewątpliwą zaletą jest prezentacja

graficzna wyniku, w przypadku raportu hierarchizacja zagrożeń), oceniając ryzyko sporządzano zarówno mapę jak i raport.

Zastosowanie systemu pozwala zaoszczędzić czas na sporządzaniu mapy ryzyka (choć jeśli firma zechce jak najbardziej dla zobrazowania wyniku taka prezentacja analizy jest zalecana). Jak wynika z analizy danych, system pozwala na bezpośrednie określenie zagrożeń, które wynikałyby z odrębnych analiz mapy i raportu. Ponadto, system wskazuje na konieczność monitoringu dodatkowych zagrożeń, co świadczy o większej wrażliwości systemu.

W tabeli 4 zestawiono te zagrożenia, których wartość oceny ryzyka przekroczyła 9 w raporcie, mapie ryzyka [5] oraz systemie. Dodatkowo, kolorem szarym zaznaczono te numery czynników ryzyka, które zostały wyznaczone w oparciu zarówno o utworzony system, mapę oraz raport. Wyniki uzyskane z zastosowania systemu pokrywają się z rezultatami otrzymanymi z wykorzystania obu narzędzi jednocześnie (mapy i raportu). Ponadto, system wskazuje na konieczność monitoringu zagrożeń o numerach 2, 4, 6, 16, 25, 28, 31, 36, 44, 45, 46, 48 i 57.

Tab. 4. Porównanie uzyskanych wyników

Raport	Mapa ryzyka		System				
7	3	32	2	18	37	58	2. Utrudniony dostęp do norm 3. Brak norm branżowych i środowiskowych w danym zakresie tematycznym 4. Sprzeczność informacji pochodzących z różnych norm (mnogość norm) 6. Niespełnienie przez wyrób wymaganych norm środowiskowych 7. Niższe niż spodziewane własności eksploatacyjne wyrobu 8. Wyższa cena produktu 9. Wyższe koszty produkcji 11. Duże uzależnienie poszczególnych etapów innowacji od uruchomienia poszczególnych środków finansowania projektu z zewnątrz 12. Rozbudowany harmonogram realizacji innowacji 13. Sytuacja finansowa firmy - płynność finansowa 14. Sytuacja finansowa firmy - zadłużenie 15. Niezbędne maszyny urządzenia i inne narzędzia pracy 16. Występowanie wąskich gardeł w procesie produkcji 18. Nieprawidłowo sporządzony rysunek ofertowy (zarys wyrobu i gabaryty) 24. Nieprawidłowo określona liczba oraz rodzaj części i podzespołów niezbędnych do wykonania produktu 25. Nieprawidłowo określony rodzaj materiału, z którego należy wykonać poszczególne części i podzespoły 26. Nieprawidłowo określona ilość zużytego materiału, tzw. normatyw materiałowy 28. Nieprawidłowo sporządzony wykaz stanowisk roboczych (obróbkowych) 29. Nieprawidłowy dobór narzędzi (pod kątem wytrzymałości) 30. Nieprawidłowo sporządzony wykaz parametrów obróbki 31. Nieprawidłowo określone wymagania jakościowe 32. Nieprawidłowo zdefiniowane parametry podlegające kontroli 33. Nieprawidłowo zdefiniowana część podlegająca kontroli 34. Nieprawidłowo określony sposób, miejsce oraz częstotliwość kontroli 35. Nieprawidłowo dokonany wybór wzorców i narzędzi pomiarowych 36. Nieprawidłowo określone warunki legalizacji przyrządów pomiarowych 37. Nieprawidłowo sporządzony wykaz warunków kontroli międzyoperacyjnej 41. Nieprawidłowo określone wymagania dla dostawców i kooperantów (w kontekście norm, atestów, parametrów jakościowych itp.) 42. Nieprawidłowo oszacowane koszty materiałów 43. Inne 44. Brak łatwości w przeobrażaniu linii produkcyjnej 45. Awaria urządzenia obróbczego 46. Nieprawidłowe skompletowanie części z listy materiałowej 48. Braki w dokumentacji odbioru wyrobu (świadectw kontroli jakości, deklaracji zgodności z normami, dokumentacji techniczno-ruchowej, instrukcji) 49. Źle opracowany model wyrobu 50. Nieprawidłowo przeprowadzone badanie empiryczne prototypu 51. Pominięcie wad i uchybień prototypu w dalszym udoskonaleniu wyrobu 52. Stosunkowo słabe wyniki testów wytrzymałościowych prototypu 57. Brak dywersyfikacji dostawców 58. Zbyt wygórowane wymagania klienta w zakresie kosztów realizacji wyrobu 59. Zbyt wygórowane wymagania klienta w zakresie warunków eksploatacyjnych wyrobu.
11	7	33	3	24	41	59	
12	8	35	4	25	42		
13	9	41	6	26	43		
26	11	42	7	28	44		
34	12	43	8	29	45		
37	13	49	9	30	46		
42	14	50	11	31	48		
43	15	51	12	32	49		
49	18	52	13	33	50		
50	24	58	14	34	51		
51	29	59	15	35	52		
52	30		16	36	57		

Proponowany system oceny ryzyka, w przeciwieństwie do metody iloczynu parametrów P , W i S , jest metodą pozwalającą na uwzględnienie istotności wybranego parametru P , W lub S w ocenie końcowej. W przypadku prezentowanej bazy wiedzy, system rozmyty preferuje większą istotność parametru dotyczącego potencjalnego skutku zagrożenia, a zatem otrzymana ocena czynnika ryzyka jest właściwsza z perspektywy rzeczywistego zastosowania ze względu na przedmiot analizy – ocenę ryzyka innowacji.

W systemie nie uwzględniono całościowej metody obliczeń czynników ryzyka z uwzględnieniem wag poszczególnych kryteriów szczegółowych. Podejście takie pozwala na zachowanie uniwersalności narzędzia, ze względu na możliwość jego zastosowania w każdym przypadku działalności przedsiębiorstwa.

Literatura

1. Wiśniewski E.: *Podjęmowanie decyzji – wybrane zagadnienia*. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 1998.
2. Heilpern S.: *Podjęmowanie decyzji w warunkach ryzyka i niepewności*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław, 2001.
3. Zdyb M.: *Istota decyzji*. Wydawnictwo UMCS, Lublin, 1993.
4. Czarniawska B.: *Podjęmowanie decyzji*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 1980.
5. Deptuła A. M., Knosala R.: Risk assessment of the innovative projects implementation. *Management and Production Engineering Review*, Volume 6, Number 4, December 2015, pp. 15-25.
6. Zadeh L.A.: Fuzzy sets. *Inform. Contr.*, 1965, Vol. 8, pp. 338-353.
7. Rudnik K., *System wnioskujący z probabilistyczno-rozmytą bazą wiedzy: teoria, koncepcja i zastosowanie*. O.W. Politechnika Opolska, 2013.
8. Zadeh L.A.: The concept of a linguistic variable and its application to approximate. *Information Sciences*, part 2, 8 (1975), pp. 199-249.
9. Piegat A.: *Modelowanie i sterowanie rozmyte*. Exit, Warszawa, 2003.
10. Yager R.R.: An approach to inference in approximate reasoning. *International Journal on Man-Machine Studies*, vol.13, 1980, pp. 323-338.
11. Łęski J.: *Systemy neuronowo-rozmyte*. WNT, Warszawa, 2008.
12. Pillay A., Wang J.: Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. *Reliability Engineering & System Safety*, 79, 2003, pp. 69–85.
13. Sankar, N. R., Prabhu B. S.: Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 18(3), 2001, pp. 324–335.
14. Wang Y.-M. Chin K.-S., Poon G.K.K., Yang J.B.: Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean, *Expert Systems with Applications* 36 (2009), pp. 1195–1207.
15. Landwójtowicz A., Knosala R.: Kryteria oceny ryzyka innowacji technicznych na podstawie wybranych rozwiązań innowacyjnych. *Zarządzanie Procesami i Projektami*, Marek Wirkus (red.), Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2016.
16. Knosala R. Deptuła A. M.: *Ocena ryzyka innowacji technicznych*, PWE, 2017 (w recenzji).

Dr inż. Anna M. DEPTUŁA, dr inż. Katarzyna RUDNIK
Instytut Innowacyjności Procesów i Produktów, Politechnika Opolska
45-370 Opole, ul. Ozimska 75; tel.: (+48 77) 449 88 45
e-mail: an.deptula@po.opole.pl k.rudnik@po.opole.pl