



**Katarzyna Rudnik\***  
**Anna Małgorzata Deptuła\*\***

Politechnika Opolska

## **SZACOWANIE WAŻNOŚCI KRYTERIÓW OCENY RYZYKA PROJEKTÓW INNOWACYJNYCH Z WYKORZYSTANIEM ENTROPII SHANNONA**

### **Streszczenie**

Prawidłowe określenie ważności kryteriów jest głównym, a zarazem trudnym etapem procesu decyzyjnego, zwłaszcza w przypadku nieustrukturyzowanych lub słabo ustrukturyzowanych procesów, jakimi są procesy innowacyjne. Celem artykułu jest analiza zastosowania metody entropii Shannona do szacowania ważności kryteriów oceny ryzyka w aspekcie projektów innowacyjnych. Z uwagi na różny sposób zapisu ocen ryzyka przedstawiono procedury wyliczania wag przy użyciu ocen liczbowych i ocen w postaci liczb rozmytych. Jest to podejście bardziej obiektywne, gdyż waga kryteriów obliczana jest na podstawie dyspersji ocen w macierzy decyzyjnej, a nie na podstawie subiektywnych ocen ważności kryteriów. Uzyskane wagi są jednak ściśle zależne od charakteru przedsiębiorstw realizujących innowację oraz analizowanych przedsięwzięć. Przedstawione w artykule podejście zastosowano do ustalenia ważności kryteriów ogólnych służących do oceny ryzyka projektów innowacyjnych dla różnej wielkości przedsiębiorstw. Z przeprowadzonej analizy wynika, że okres realizacji projektu stanowi najważniejsze kryterium oceny ryzyka projektów innowacyjnych.

**Słowa kluczowe:** ryzyko, projekt innowacyjny, innowacje, entropia, metoda MCDM

---

\* Adres e-mail: k.rudnik@po.opole.pl.

\*\* Adres e-mail: an.deptula@po.opole.pl.

## Wprowadzenie

Wdrażanie projektów innowacyjnych jest procesem słabo ustrukturyzowanym, a zatem jest obarczone dużym ryzykiem. Wynika to głównie z zastosowań nieznaną dotąd technologii czy realizacji jak dotąd niesprawdzonego procesu, co pociąga za sobą wysokie koszty i dłuższy okres wdrażania. Efektywne wdrażanie innowacji wymaga więc przeprowadzenia systematycznej analizy ryzyka danego przedsięwzięcia. W literaturze termin *ryzyko* jest pojęciem zarówno negatywnym, jak i pozytywnym, to znaczy może się wiązać zarówno z negatywnymi skutkami nieosiągnięcia pożądanego efektu, jak i możliwością pojawienia się okazji i szansy dla przedsiębiorstwa (Tarczyński, Mojsiewicz, 2001). Jednak częściej ryzyko utożsamia się z odchyleniem negatywnym w stosunku do założonych celów, gdyż budzi to niebezpieczeństwo dla prawidłowej działalności przedsiębiorstwa.

Wstępną fazę w analizie ryzyka stanowi identyfikacja kryteriów oceny ryzyka i ich ważności. Każde kryterium jest związane z grupą czynników ryzyka, które można rozpatrywać na wielu płaszczyznach. Przyjmuje się jednak, iż ryzyko w procesach innowacyjnych jest zawsze związane z rodzajem innowacji, wielkością zaangażowanego kapitału oraz instrumentami finansowymi (Rudnik, Landwójtowicz, 2015). Landwójtowicz i Knosala (2016) uwzględniają czynniki ryzyka innowacji technicznej w podziale na kryteria ogólne i szczegółowe. Pełna analiza ryzyka projektu innowacyjnego powinna być przeprowadzana w kontekście specjalnych uwarunkowań projektu. Aby porównać ryzyko różnych przedsięwzięć innowacyjnych, należy wprowadzić wieloaspektową ocenę techniczną i ekonomiczną zawierającą uniwersalne uwarunkowania wielu projektów. W tym kontekście analizę ryzyka można przeprowadzić z uwzględnieniem wielokryterialnych metod podejmowania decyzji (*Muli-Criteria Decision Making methods* – MCDM), które mogą prowadzić do podejmowania preferencyjnych decyzji dotyczących wyboru, oceny bądź rankingu projektów innowacyjnych w kontekście ryzyka. Uwzględniając metodę MCDM, ocena ryzyka projektów innowacyjnych względem poszczególnych kryteriów może być przedstawiana w postaci macierzy decyzyjnej  $X_{MN} = (x_{mn})_{M \times N}$  (tab. 1) zwanej dalej macierzą ryzyka projektów. W tabeli 1  $x_{mn}$  stanowi ocenę ryzyka  $m$ -tego ( $m = 1, \dots, M$ ) projektu względem  $n$ -tego ( $n = 1, \dots, N$ ) kryterium, natomiast  $w_n$  stanowi wagę  $n$ -tego kryterium ( $\sum_{n=1}^N w_n = 1$ ).

Tabela 1. Struktura macierzy ryzyka projektów  $X_{MN}$  i wektora wag  $W_N$ 

	Kryterium 1	Kryterium 2	...	Kryterium $N$
Projekt 1	$x_{11}$	$x_{12}$	...	$x_{1N}$
Projekt 2	$x_{21}$	$x_{22}$	...	$x_{2N}$
...	...	...	$x_{mm}$	...
Projekt $M$	$x_{M1}$	$x_{M2}$	...	$x_{MN}$
Wektor wag $W_N$	$w_1$	$w_2$	...	$w_N$

Źródło: opracowanie własne.

Z punktu widzenia oceny ryzyka kryteria mogą mieć różne znaczenia, a zatem różne wagi. Prawidłowe określenie ważności kryteriów jest głównym, a zarazem trudnym etapem procesu decyzyjnego, zwłaszcza w przypadku procesów innowacyjnych.

W literaturze można znaleźć podział na dwie grupy metod, które określają subiektywne i obiektywne wagi kryteriów oceny. W przypadku dużej niepewności i decyzji odległej czasowo trudne jest stosowanie metod subiektywnych. W tym przypadku można rozważyć zastosowanie metod obiektywnych, takich jak między innymi: metoda entropii (Shannon, 1948), metoda programowania liniowego (Choo, Wedley, 1985) czy metoda CRITIC (Diakoulaki, Mavrotas, Papayannakis, 1995). Metody te opierają się na analizie dyspersji elementów macierzy decyzyjnej.

Celem artykułu jest analiza zastosowania metody entropii Shannona do szacowania bardziej obiektywnych wag dla kryteriów oceny ryzyka projektów innowacyjnych. W rozdziale drugim omówiono etapy obliczania wag dla macierzy ryzyka o elementach w postaci liczb rzeczywistych oraz liczb rozmytych z uwzględnieniem entropii Shannona. W rozdziale trzecim przedstawiono przykład wyznaczania ważności kryteriów na podstawie macierzy ryzyka projektów innowacyjnych dla kryteriów ogólnych. Całość artykułu podsumowana została w części ostatniej.

## 1. Obliczanie wag kryteriów oceny ryzyka projektów innowacyjnych z uwzględnieniem entropii Shannona

Pojęcie *entropia* jest analizowane w wielu dziedzinach nauki jako ocena nieuporządkowania. Według Shannona (1948) miara względna entropii określana jest za pomocą następującej zależności:

$$H(X) = \frac{\bar{H}(X)}{\ln(n)} = -(\ln(n))^{-1} \sum_{i=1}^n p_i \ln(p_i) = -h_0 \sum_{i=1}^n p_i \ln(p_i), \quad (1)$$

gdzie  $h_0$  jest stałą dodatnią, często określaną również mianem stałej entropii Shannona.

Im mniejsza jest entropia, tym większa jest ilość niesionej informacji związanej z rozkładem prawdopodobieństwa zmiennej losowej  $X$ , a zatem mniejsza jest niepewność.

Metoda entropii Shannona pozwala na oszacowanie ważności przyjętych kryteriów ryzyka w analizie wielokryterialnej. Podstawowym założeniem jest wykorzystanie wartości ocen ryzyka poszczególnych projektów innowacyjnych  $x_{mn}$  względem kryteriów w celu wyliczenia wartości entropii, a dokładniej „odwrotności entropii”, czyli ilości informacji zawartej w każdym kryterium.

Procedura obliczania wag kryteriów jest zależna od sposobu zapisu ocen ryzyka. W literaturze dotyczącej problemów projektów innowacyjnych oceny ryzyka są często określane liczbowo lub lingwistycznie (Sienkiewicz, 2005), gdzie opis lingwistyczny utożsamiany może być z oceną liczbową, przedziałem liczbowym lub liczbą rozmytą.

Można spotkać dwa podejścia wyliczeń entropii. Pierwsze z nich bazuje bezpośrednio na surowych danych dotyczących ocen, nie rozróżniając typów ich kryteriów (Chaghooshi, Fathi, Kashaf, 2012; Hosseinzadeh Lotfi, Fallahnejad, 2010; Şengül, Eren, Shiraz, Gezder, Şengül, 2015). Drugie dokonuje przekształceń ocen dla kryteriów typu „koszt” (o charakterze destymulanty) na kryteria typu „zysk” (o charakterze stymulanty), tak aby wszystkie kryteria były tego samego typu (Kobryń, 2014; Krzemiński, Książek, 2013). Obydwa podejścia dają w rezultacie odmienny wektor wag kryteriów. Z uwagi na to, iż wszystkie kryteria w analizie dotyczą ryzyka, a zatem są tego samego typu, w artykule stosuje się pierwsze z podejść. Poniżej przedstawiono procedury wyliczeń wag kryteriów ocen ryzyka projektów

innowacyjnych dla wartości ocen wyrażonych w postaci liczby rzeczywistej i liczby rozmytej.

Dla liczbowych ocen ryzyka projektów innowacyjnych procedurę wyliczania wag można opisać w następujących krokach (Hosseinzadeh Lotfi, Fallahnejad, 2010; por.(Kobryń, 2014; Şengül i in., 2015).

1. Normalizacja macierzy decyzyjnej  $X_{MN}$  (tab. 1) za pomocą zależności:

$$p_{mn} = \frac{x_{mn}}{\sum_{s=1}^M x_{sn}}, \quad (2)$$

gdzie  $p_{mn}$  jest elementem znormalizowanej macierzy decyzyjnej  $P_{NM}$  o wymiarze  $M \times N$ ,  $m = 1, \dots, M$ ,  $n = 1, \dots, N$ .

2. Obliczenie entropii  $H(w_n)$  za pomocą wzoru ( $n = 1, \dots, N$ ):

$$H(w_n) = -h_0 \sum_{m=1}^M p_{mn} \ln(p_{mn}), \quad (3)$$

gdzie:

$w_n$  – zmienna losowa wagi dla  $n$ -tego kryterium,

$h_0$  – stała dodatnia równa  $(\ln M)^{-1}$ .

3. Wyznaczenie obiektywnych wag  $w_n$  ( $n = 1, \dots, N$ ) na podstawie koncepcji entropii Shannona:

$$w_n = \frac{1-H(w_n)}{\sum_{s=1}^N (1-H(w_s))}. \quad (4)$$

W przypadku ocen ryzyka projektów innowacyjnych wyrażonych w postaci liczb rozmytych (najczęściej trójkątnych bądź trapezowych) struktura macierzy decyzyjnej może mieć postać jak w tabeli 2.

Tabela 2. Struktura macierzy ryzyka projektów  $\tilde{x}_{MN}$  i wektora wag  $W_N$ 

	Kryterium 1	Kryterium 2	...	Kryterium $N$
Projekt 1	$\tilde{x}_{11}$	$\tilde{x}_{12}$	...	$\tilde{x}_{1N}$
Projekt 2	$\tilde{x}_{21}$	$\tilde{x}_{22}$	...	$\tilde{x}_{2N}$
...	...	...	$\tilde{x}_{mn}$	...
Projekt $M$	$\tilde{x}_{M1}$	$\tilde{x}_{M2}$	...	$\tilde{x}_{MN}$
Wektor wag $W_N$	$w_1$	$w_2$	...	$w_N$

Źródło: opracowanie własne.

Symbol  $\tilde{x}_{mn}$  stanowi liczbę rozmytą na przykład w postaci następującej trapezowej liczby rozmytej:

$$\tilde{x}_{mn} = [a_{mn} \ b_{mn} \ c_{mn} \ d_{mn}], \quad (5)$$

gdzie funkcja przynależności takiej liczby ma postać:

$$\mu_{\tilde{x}_{mn}}(x_{mn}) = \begin{cases} \frac{x_{mn}-a_{mn}}{b_{mn}-a_{mn}} & \text{gdy } a_{mn} \leq x_{mn} \leq b_{mn} \\ 1 & \text{gd } b_{mn} \leq x_{mn} \leq c_{mn} \\ \frac{d_{mn}-x_{mn}}{d_{mn}-c_{mn}} & \text{gdy } c_{mn} \leq x_{mn} \leq d_{mn} \\ 0 & \text{gd } x_{mn} \leq a_{mn} \vee x_{mn} \geq d_{mn} \end{cases}. \quad (6)$$

Według Shemshadi, Shirazi, Toreihi i Tarokh (2011) wartość obiektywnych wag kryteriów z użyciem entropii obliczana jest na podstawie metody wyostrzania ocen w postaci liczb rozmytych. Jest to jednak uproszczona procedura, która nie bierze pod uwagę informacji na temat rozstępu ocen wariantów. W (Hosseinzadeh Lotfi, Fallahnejad, 2010) procedura szacowania wag opiera się na wykorzystaniu przedziałowej entropii Shannona obliczanej na podstawie  $\alpha$ -przekroju liczby rozmytej określonej w przestrzeni oraz definiowanej jako następujący zbiór nierozmyty:

$$\tilde{x}_{mn}^\alpha = \{x_{mn} \in X_R : \mu_{\tilde{x}_{mn}}(x_{mn}) \geq \alpha\}, \forall \alpha \in [0,1], \quad (7)$$

gdzie dolne i górne granice  $\alpha$ -przekroju  $\tilde{x}_{mn}^\alpha$  można zapisać w postaci przedziału liczbowego dla każdego  $\alpha \in [0,1]$ :

$$[\tilde{x}_{mn}^{\alpha_d}, \tilde{x}_{mn}^{\alpha_g}] = [\min(x_{mn} \in X_R : \mu_{\tilde{x}_{mn}}(x_{mn}) \geq \alpha), \max(x_{mn} \in X_R : \mu_{\tilde{x}_{mn}}(x_{mn}) \geq \alpha)]. \quad (8)$$

Wówczas dla przedziału liczbowego  $[\tilde{x}_{mn}^{\alpha d}, \tilde{x}_{mn}^{\alpha g}]$  można otrzymać wagę przedziałową  $[w_n^d, w_n^g]_\alpha$ . Wartości  $\alpha$  pokazują stopień zaufania decydentów do oceny każdej alternatywy względem danego kryterium (Saad, Ahmad, Abu, Jusoh, 2014). Etapy obliczeń wag przedziałowych są następujące (Hosseinzadeh Lotfi, Fallahnejad, 2010) por. (Kobryń, 2014; Şengül i in., 2015):

1. Normalizacja macierzy decyzyjnej z elementami w postaci przedziałów (8) za pomocą następującej zależności:

$$p_{mn}^d = \frac{\tilde{x}_{mn}^{\alpha d}}{\sum_{s=1}^M \tilde{x}_{sn}^{\alpha g}}, p_{mn}^g = \frac{\tilde{x}_{mn}^{\alpha g}}{\sum_{s=1}^M \tilde{x}_{sn}^{\alpha g}}, m = 1, \dots, M, n = 1, \dots, N. \quad (9)$$

2. Wylizanie granicy dolnej i górnej przedziałowej entropii  $[H^d(w_n), H^g(w_n)]_\alpha$  według wzorów:

$$H^d(w_n) = \min \left( -h_0 \sum_{m=1}^M p_{mn}^d \ln(p_{mn}^d), -h_0 \sum_{m=1}^M p_{mn}^g \ln(p_{mn}^g) \right), n = 1, \dots, N, \quad (10)$$

$$H^g(w_n) = \max \left( -h_0 \sum_{m=1}^M p_{mn}^d \ln(p_{mn}^d), -h_0 \sum_{m=1}^M p_{mn}^g \ln(p_{mn}^g) \right), n = 1, \dots, N, \quad (11)$$

gdzie  $h_0$  jest stałą dodatnią równą  $(\ln M)^{-1}$  i  $p_{mn}^d \ln(p_{mn}^d)$  lub  $p_{mn}^g \ln(p_{mn}^g)$  jest określona jako wartość zerowa, jeżeli  $p_{mn}^d = 0$  lub  $p_{mn}^g = 0$ .

3. Wylizanie górnej i dolnej granicy obiektywnych wag  $w_n$  ( $n = 1, \dots, N$ ) na podstawie koncepcji entropii Shannona:

$$w_n^d = \frac{1-H^g(w_n)}{\sum_{s=1}^N (1-H^d(w_s))}, w_n^g = \frac{1-H^d(w_n)}{\sum_{s=1}^N (1-H^g(w_s))}, n = 1, \dots, N. \quad (12)$$

Wówczas wagi kryterium mają postać przedziału liczbowego  $[w_n^d, w_n^g]_\alpha$ .

W literaturze można znaleźć różne podejścia do szeregowania liniowego przedziałów liczbowych. Jedno z prostszych podejść (Hu, Wang, 2006; Karmakar, Bhunia, 2012) porównuje przedziały liczbowe na podstawie ich środków  $w_n^s$  i promieni  $w_n^r$ , gdzie:

$$w_n^s = (w_n^d + w_n^g)/2; w_n^r = \frac{w_n^g - w_n^d}{2}, n = 1, \dots, N. \quad (13)$$

Przedział z większym środkiem jest umiejscowiony wyżej w rankingu. W przypadku jednakowych środków przedział z większym promieniem jest preferowany.

Wagi liczbowe na podstawie przedziałów liczbowych można otrzymać poprzez normalizację środków przedziałów.

## 2. Przykład szacowania wag dla zbioru kryteriów ogólnych oceny ryzyka projektów innowacyjnych

Przedstawioną w opracowaniu metodę zastosowano do ustalenia ważności kryteriów służących do oceny ryzyka 48 projektów innowacyjnych dla różnej wielkości przedsiębiorstw z województwa opolskiego. W nawiązaniu do badań przeprowadzonych w (Landwójtowicz, Knosala, 2016; Rudnik, Landwójtowicz, 2015), podczas analizy wybrano następujące kryteria ogólne, które pozwalają na przeprowadzenie analizy ryzyka:

1. *Wielkość przedsiębiorstwa* (K1) – charakterystyka, która w istotny sposób łączy się z możliwościami przedsiębiorstwa w kontekście finansowania innowacji. Przyjęto, iż inwestycja tego typu jest mniej ryzykowna w przypadku dużych podmiotów, co wynika na przykład z jego większych możliwości finansowych czy stosunkowo większego doświadczenia w radzeniu sobie w zarządzaniu nietypowymi projektami.
2. *Skala innowacji* (K2) – określa dostępność danego rozwiązania na rynku. W analizie tego kryterium przyjęto podział na: innowacje w skali świata, innowacje w skali kraju bądź przemysłu oraz innowacje w skali przedsiębiorstwa. Założono, że przy mniejszej skali innowacji ryzyko żywotności ekonomicznej innowacji znacznie wzrasta.
3. *Okres stosowania technologii na świecie* (K3) – czas, jaki upłynął od pierwszego pojawienia się technologii na świecie. Przyjęto, iż przedsięwzięcie jest bardziej ryzykowne, gdy technologia z nim związana używana jest na świecie krócej niż rok.
4. *Okres realizacji projektu* (K4) – wskaźnik powiązany bezpośrednio z kryterium kosztowym oceny innowacji. Zakłada się, że im dłuższy czas realizacji innowacji, tym wyższe są koszty takiego przedsięwzięcia, a tym samym mniejsze zyski. Ponadto wzrasta ryzyko związane z okresem żywotności danego rozwiązania na rynku. Zatem przyjęto, iż ryzyko innowacji wzrasta wraz z wydłużeniem okresu realizacji przedsięwzięcia.



5. *Relacja środków obcych do wielkości całego projektu (K5)* – wskaźnik, który informuje, jak wielkie jest zapotrzebowanie kredytowe związane z realizacją innowacji. Przyjęto, iż wzrost tego parametru oznacza wyższe ryzyko.

Macierz ryzyka projektów została utworzona na podstawie wiedzy ekspertów innowacji oraz danych doświadczalnych. Ryzyko projektów względem poszczególnych kryteriów oceniano opisowo za pomocą wyrażień: niskie ( $N$ ), średnie ( $S$ ) i wysokie ( $W$ ). Każdy z opisów lingwistycznych utożsamiany jest z trapezową liczbą rozmytą w postaci (5) następująco:

$$N = [0,0; 0,1; 0,4], S = [0,1; 0,4; 0,6; 0,9], W = [0,6; 0,9; 1,1] \quad (14)$$

W tabeli 3 przedstawiono rozmytą macierz ryzyka dla analizowanych przedsięwzięć innowacyjnych. Na podstawie macierzy wylicza się  $\alpha$ -przekroje ocen rozmytych, a następnie na podstawie (9)–(11) przedziałową entropię  $[H^d(w_n), H^g(w_n)]_\alpha$  dla każdego z kryterium (oraz górną i dolną granicę obiektywnych wag  $[w_n^d, w_n^g]_\alpha$  (12). Na podstawie środków i promieni przedziałów ustalono wagi liczbowe dla kryteriów ogólnych oraz ich ostateczny ranking. Wyniki dla  $\alpha = \{0; 0,1; 0,5; 0,8; 0,99\}$  zamieszczono w tabeli 4.

Wyniki wag są nieznaczne inne w zależności od wartości parametru  $\alpha$  dla  $\alpha$ -przekroju rozmytej liczby trapezowej (rys. 1). Największe różnice wartości wag występują dla skali innowacji i okresu stosowania technologii na świecie. Są to jednocześnie kryteria, których ważność jest najniżej oceniana według przedstawionej koncepcji entropii Shannona. Okres realizacji projektu stanowi natomiast najważniejsze kryterium, które według rozmytej macierzy ryzyka zawiera najwięcej informacji. Ranking kryteriów kształtuje się następująco (dla  $\alpha \in [0; 0,99]$ ):

*Skala innowacji (K2) < Okres stosowania technologii na świecie (K3) < Wielkość przedsiębiorstwa (K1) < Relacja środków obcych do wielkości całego projektu (K5) < Okres realizacji projektu (K4).*

Tabela 3. Rozmyta macierz ryzyka projektów innowacyjnych z województwa opolskiego, gdzie  $a, b, c, d$  stanowią parametry liczby rozmytej w postaci (5) jako ocen ryzyka według kryteriów K1–K5

Lp.	K1	K2				K3				K4				K5							
		a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d				
1	S	0,1	0,4	0,6	0,9	0,6	0,9	1,0	1,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,6	0,9	1,0	1,0	0,1	0,4	0,6	0,9
2	N	0,0	0,0	0,1	0,4	0,1	0,4	0,6	0,9	0,6	0,9	1,0	1,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,1	0,4	0,6	0,9
3	S	0,1	0,4	0,6	0,9	0,6	0,9	1,0	1,0	0,6	0,9	1,0	1,0	0,1	0,4	0,6	0,9	0,1	0,4	0,6	0,9
4	N	0,0	0,0	0,1	0,4	0,6	0,9	1,0	1,0	0,6	0,9	1,0	1,0	0,1	0,4	0,6	0,9	0,0	0,0	0,1	0,4
5	N	0,0	0,0	0,1	0,4	0,6	0,9	1,0	1,0	0,6	0,9	1,0	1,0	0,1	0,4	0,6	0,9	0,1	0,4	0,6	0,9
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
44	W	0,6	0,9	1,0	1,0	0,6	0,9	1,0	1,0	0,6	0,9	1,0	1,0	0,1	0,4	0,6	0,9	0,1	0,4	0,6	0,9
45	N	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	0,0	0,1	0,4	0,1	0,4	0,6	0,9	0,1	0,4	0,6	0,9
46	W	0,6	0,9	1,0	1,0	0,6	0,9	1,0	1,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	0,0	0,1	0,4	0,1	0,4	0,6	0,9
47	S	0,1	0,4	0,6	0,9	0,6	0,9	1,0	1,0	0,6	0,9	1,0	1,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	0,0	0,1	0,4
48	S	0,1	0,4	0,6	0,9	0,6	0,9	1,0	1,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,1	0,4	0,6	0,9	0,6	0,9	1,0	1,0

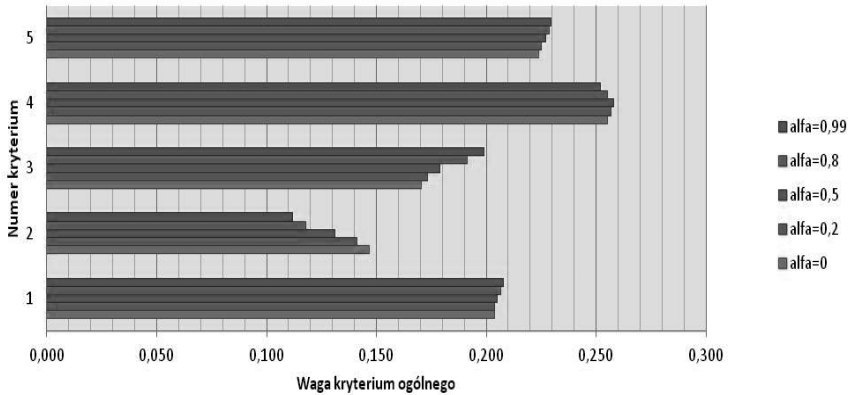
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Wyniki obliczeń ważności kryteriów ryzyka projektów innowacyjnych K1–K5 dla wybranych wartości  $\alpha$

$\alpha$	Parametr	Kryteria				
		K1	K2	K3	K4	K5
0	$[H^d(w_n), H^g(w_n)]$	[0,381, 0,984]	[0,554, 0,996]	[0,482, 0,978]	[0,224, 0,988]	[0,319, 0,984]
	$[w_n^d, w_n^g]$	[0,005, 8,787]	[0,001, 6,338]	[0,007, 7,354]	[0,004, 11,024]	[0,005, 9,662]
	$w_n^s$	4,396	3,169	3,681	5,514	4,834
	$w_n^r$	8,782	6,336	7,347	11,020	9,657
	Waga	<b>0,204</b>	<b>0,147</b>	<b>0,170</b>	<b>0,255</b>	<b>0,224</b>
	Ranking	3	5	4	1	2
0,2	$[H^d(w_n), H^g(w_n)]$	[0,448, 0,979]	[0,618, 0,995]	[0,532, 0,97]	[0,305, 0,985]	[0,391, 0,98]
	$[w_n^d, w_n^g]$	[0,008, 6,064]	[0,002, 4,2]	[0,011, 5,142]	[0,006, 7,637]	[0,007, 6,69]
	$w_n^s$	3,036	2,101	2,577	3,821	3,349
	$w_n^r$	6,056	4,198	5,131	7,632	6,683
	Waga	<b>0,204</b>	<b>0,141</b>	<b>0,173</b>	<b>0,257</b>	<b>0,225</b>
	Ranking	3	5	4	1	2
0,5	$[H^d(w_n), H^g(w_n)]$	[0,553, 0,969]	[0,713, 0,992]	[0,61, 0,956]	[0,435, 0,978]	[0,504, 0,97]
	$[w_n^d, w_n^g]$	[0,014, 3,324]	[0,004, 2,136]	[0,02, 2,898]	[0,01, 4,197]	[0,014, 3,685]
	$w_n^s$	1,669	1,070	1,459	2,103	1,849
	$w_n^r$	3,310	2,132	2,878	4,187	3,672
	Waga	<b>0,205</b>	<b>0,131</b>	<b>0,179</b>	<b>0,258</b>	<b>0,227</b>
	Ranking	3	5	4	1	2
0,8	$[H^d(w_n), H^g(w_n)]$	[0,665, 0,953]	[0,807, 0,988]	[0,692, 0,934]	[0,583, 0,968]	[0,628, 0,955]
	$[w_n^d, w_n^g]$	[0,029, 1,664]	[0,007, 0,958]	[0,041, 1,527]	[0,02, 2,072]	[0,028, 1,847]
	$w_n^s$	0,847	0,483	0,784	1,046	0,937
	$w_n^r$	1,636	0,951	1,486	2,052	1,819
	Waga	<b>0,207</b>	<b>0,118</b>	<b>0,191</b>	<b>0,255</b>	<b>0,229</b>
	Ranking	3	5	4	1	2
0,99	$[H^d(w_n), H^g(w_n)]$	[0,74, 0,939]	[0,867, 0,985]	[0,747, 0,915]	[0,688, 0,957]	[0,714, 0,94]
	$[w_n^d, w_n^g]$	[0,037, 1,277]	[0,009, 0,697]	[0,053, 1,205]	[0,026, 1,567]	[0,036, 1,414]
	$w_n^s$	0,657	0,353	0,629	0,797	0,725
	$w_n^r$	1,240	0,688	1,152	1,541	1,378
	Waga	<b>0,208</b>	<b>0,112</b>	<b>0,199</b>	<b>0,252</b>	<b>0,229</b>
	Ranking	3	5	4	1	2

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 1. Porównanie wag kryteriów ogólnych oceny ryzyka projektów innowacyjnych (dla różnych  $\alpha$ -przekrojów liczb rozmytych)



Źródło: opracowanie własne.

## Podsumowanie

Istnieje wiele podejść pozwalających na szacowanie ważności kryteriów w metodach MCDM, wśród których można wyróżnić metodę z wykorzystaniem entropii Shannona. Jest to podejście bardziej obiektywne, gdyż waga kryteriów obliczana jest na podstawie dyspersji ocen w macierzy ryzyka projektów (macierzy decyzyjnej), a nie na podstawie subiektywnych ocen ważności kryteriów. Ponieważ jednak macierz ryzyka ustalana jest subiektywnie, całkowita obiektywność metody może być dyskusyjna.

W przypadku obliczania ważności kryteriów dla szacowania ryzyka projektów innowacyjnych wagi kryteriów będą ściśle zależne od charakteru przedsiębiorstw realizujących innowację oraz analizowanych przedsięwzięć. Dla innego zestawu projektów wagi kryteriów mogą być odmienne. Ważny jest także sposób określania oceny ryzyka projektów względem danych kryteriów. Preferowana jest spójna skala ocen dla wszystkich kryteriów, w innym przypadku szersza skala ocen danego kryterium spowoduje zawyżenie wartości jego wagi.

Analizowana metoda, szacując wagi kryteriów, nie wykorzystuje jednak wiedzy i doświadczenia eksperta z dziedziny innowacji. Można zatem rozważyć wprowadzenie operatora agregacji, aby uwzględnić wagi kryteriów otrzymane metodą subiektywną i metodą entropii Shannona.

## Literatura

- Chaghooshi, A.J., Fathi, M.R., Kashef, M. (2012). Integration of Fuzzy Shannon's Entropy with Fuzzy TOPSIS for Industrial Robotic System Selection. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 5 (1), 102–114.
- Choo, E.U., Wedley, W.C. (1985). Optimal Criterion Weights in Repetitive Multicriteria Decision-making. *The Journal of the Operational Research Society*, 36, 983–992.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., Papayannakis, L. (1995). Determining Objective Weights in Multiple Criteria Problems: The CRITIC Method. *Computers & Operations Research*, 22, 763–770.
- Hosseinzadeh Lotfi, F., Fallahnejad, R. (2010). Imprecise Shannon's Entropy and Multi Attribute Decision Making. *Entropy*, 12, 53–62. DOI: 10.3390/e12010053.
- Hu, B.Q., Wang, S. (2006). A Novel Approach in Uncertain Programming Part I: New Arithmetic and Order Relation for Interval Numbers. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 2 (4), 351–371.
- Karmakar, S., Bhunia, A.K. (2012). A Comparative Study of Different Order Relations of Intervals. *Reliable Computing*, 16, 38–72.
- Kobryń, A. (2014). *Wielokryterialne wspomaganie decyzji w gospodarowaniu przestrzenią*. Warszawa: Difin.
- Krzemiński, M., Książek, M. (2013). Wielokryterialna ocena wariantów rozwiązań technologiczno-konstrukcyjnych w centrach logistycznych przy wykorzystaniu metody entropii. *Theoretical Foundations Of Civil Engineering, Polish-Ukrainian Transactions*, 21, 741–748.
- Landwójtowicz, A., Knosala, R. (2016). Kryteria oceny ryzyka innowacji technicznej na podstawie wybranych rozwiązań innowacyjnych. W: M. Wirkus (red.), *Zarządzanie procesami i projektami* (s. 145–158). Gdańsk: Wyd. Politechniki Gdańskiej.
- Rudnik, K., Landwójtowicz, A. (2015). System with Probabilistic Fuzzy Knowledge Base and Parametric Inference Operators in Risk Assessment of Innovative Projects. *Expert Systems With Applications*, 42 (17–18), 6365–6379.
- Saad, R., Ahmad, M.Z., Abu, M.S., Jusoh, M.S. (2014). Hamming Distance Method with Subjective and Objective Weights for Personnel Selection. *Hindawi Publishing Corporation, e Scientific World Journal*, ID 865495.
- Şengül, Ü., Eren, M., Shiraz, S.E., Gezder, V., Şengül, A.B. (2015). Fuzzy TOPSIS Method for Ranking Renewable Energy Supply Systems in Turkey. *Renewable Energy*, 75, 617–625.
- Shannon, C.E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379–423, 623–656.

- Shemshadi, A., Shirazi, H., Toreihi, M., Tarokh, M.J. (2011). A Fuzzy VIKOR Method for Supplier Selection Based on Entropy Measure for Objective Weighting. *Expert Systems with Applications*, 38 (10), 12160–12167.
- Sienkiewicz, P. (2005). Analiza ryzyka w zarządzaniu projektami systemów. *Problemy Techniki Uzbrojenia*, 34 (95), 9–18.
- Tarczyński, W., Mojsiewicz, M. (2001). *Zarządzanie ryzykiem. Podstawowe zagadnienia*. Warszawa: PWE.

## ESTIMATION OF IMPORTANCE OF INNOVATIVE PROJECTS EVALUATION CRITERIA BY USING SHANNON ENTROPY

### Abstract

The properly determination of the criteria importance is a major and also difficult step in the decision-making process, especially in the case of unstructured or poorly structured processes such as innovation processes. The aim of the paper is to analyse the application of the Shannon entropy method for estimating the importance of risk assessment criteria in the aspect of innovative projects. Because of the different ways of the risk assessments, the procedures for calculating weights based on evaluations in the form of real numbers and fuzzy numbers are presented. This is a more objective approach, because the weight of the criteria is calculated on the basis of the dispersion of assessments in the decision matrix, and not on the basis of subjective assessments of the criteria importance. However, the obtained weights are strictly dependent on the nature of enterprises implementing innovation and the analysed projects. The approach outlined in this article is used to determine the importance of general criteria for the risk assessment of innovative projects for different sizes of enterprises. The analysis shows that the period of project completion is the most important criterion for the risk assessment of innovative projects.

*Translated by Katarzyna Rudnik*

**Keywords:** risk, innovation project, innovation, entropy, MCDM method

**JEL Codes:** D81, O32