

Mirosław Wójciak

Akademia Ekonomiczna w Katowicach

OCENA SZANS WDROŻENIA TECHNOLOGII PRZYSZŁOŚCIOWYCH NA PODSTAWIE FORESIGHTU ENERGETYCZNEGO¹

Streszczenie: Celem artykułu jest określenie szans wdrożenia nowoczesnych technologii energetycznych. Do ich oceny wykorzystano opinie ekspertów uzyskane za pomocą badania Delphi przeprowadzonego w ramach foresightu energetycznego realizowanego przez Główny Instytut Górnictwa w Katowicach. Ponieważ otrzymane wyniki są i nieprecyzyjne, postanowiono zrezygnować z klasycznych reguł klasyfikacyjnych i skorzystać z teorii zbiorów rozmytych. Zdefiniowano zbiory: o wysokich szansach, umiarkowanych i niskich szansach wdrożenia technologii. Z badań wynika, że największe szanse na wdrożenie mają technologie oparte na paliwach kopalnych i zagospodarowania ubocznych produktów spalania

Słowa kluczowe: *foresight*, nowe technologie energetyczne, zbiory rozmyte.

1. Wstęp

Długofalowe strategie rozwoju sektora energetycznego kraju uwzględniają wiele technologii przyszłościowych. W perspektywie następnych dziesięcioleci mogłyby stanowić one podstawę bezpieczeństwa energetycznego kraju lub przynajmniej mieć znaczny wkład w jego tworzenie.

Głównym celem artykułu jest określenie szans wdrożenia nowoczesnych technologii energetycznych. Do ich oceny wykorzystano opinie ekspertów uzyskane za pomocą badania Delphi przeprowadzonego w ramach foresightu energetycznego realizowanego przez Główny Instytut Górnictwa. Podczas badania eksperci oceniali m.in. oczekiwany czas wdrożenia na skalę przemysłową rozpatrywanych technologii.

W dotychczasowych badaniach typu *foresight* do budowy prognoz wdrożenia nowych technologii używano klasycznych narzędzi statystycznych, najczęściej klasycznych, czy też pozycyjnych miar położenia i zmienności, co budzi wątpliwości, czy nie jest to wsparcie sztuczne, zwłaszcza w sytuacji, gdy grupa ekspertów jest niewystarczająco liczna. W związku z tym proponuje się w literaturze przedmiotu do budowy prognoz wykorzystać rozkład prawdopodobieństwa subiektywnego ana-

¹ Praca wykonana w ramach grantu: *Analiza ryzyka rozwoju zaawansowanych technologii energetycznych* o numerze PBZ/MEiN/01/2006/26 – POL-POSTDOC II.

lizowanej zmiennej rozumianej jako czas wdrożenia nowej technologii [Poradowska 2009; Poradowska, Wójciak 2009]. Rozkład taki, w przeciwieństwie do prawdopodobieństwa obiektywnego, nie jest szacowany na podstawie próby, lecz wynika z subiektywnego przekonania o możliwości zajścia danego zdarzenia. Zastosowanie rozkładu prawdopodobieństwa subiektywnego umożliwi konstrukcję nie tylko prognoz punktowych, ale i przedziałowych czasu wdrożenia danych technologii. Nie rozwiązuje to w pełni problemu, gdyż nie uwzględnia ono odpowiedzi ekspertów, którzy określili, że dana technologia nigdy nie będzie wykorzystana w stopniu komercyjnym.

Ze względu na to, że otrzymane wyniki są wieloznaczne (obarczone wysokim poziomem subiektywizmu ekspertów) i nieprecyzyjne postanowiono zrezygnować z klasycznych reguł klasyfikacyjnych i skorzystać z teorii zbiorów rozmytych. Na wstępie zdefiniowano zbiory: o wysokich szansach wdrożenia technologii, o umiarkowanych i niskich szansach. Teoria zbiorów rozmytych pozwoli, za pomocą funkcji przynależności, określić częściową przynależność danej technologii do rozważanych zbiorów.

2. Badanie Delphi w foresight'cie energetycznym

Badanie *foresight* jest zadaniem dla specjalistów. Stanowi ono dogodną okazję do przedstawienia swego stanowiska przez dużą liczbę osób w społeczeństwie, dla których wyniki takiej analizy nie powinny być obojętne. W celu kreowania przyszłości foresight korzysta z wielu różnych, stale modyfikowanych metod. Dużym uznaniem cieszą się działania oparte na uzyskiwaniu wiedzy eksperckiej (głównie panele eksperckie i burze mózgów oraz metoda Delphi), a także metody ilościowe [Miles, Keenan 2002].

Założenia wielu foresight'ów wyznaczają rolę metody Delphi jako głównego narzędzia uzyskania wiedzy na temat przyszłości. Polega ona na przeprowadzeniu kilkukrotnego ankietowania wybranej grupy anonimowych ekspertów, którzy nie mogą się ze sobą w tej sprawie komunikować i naradzać. Aby wyniki badania można uznać za wiarygodne, ankietowana grupa powinna być liczna, reprezentatywna, a eksperci powinni mieć dużą wiedzę merytoryczną i doświadczenie w tematyce będącej przedmiotem badania.

Grupie ekspertów przedstawiono tezy delfickie, do których mieli się ustosunkować. Identyfikacji ekspertów merytorycznych projektu dokonano na zasadzie wspólnego wyboru oraz współnominacji, które przebiegały w dwóch etapach. W pierwszym etapie przeprowadzono identyfikację kluczowych osób w sektorach objętych projektem, które utworzyły skład stałych członków grup roboczych. W drugim etapie stworzono bazę ekspertów zaangażowanych w charakterze konsultantów (m.in. respondentów ankiety Delphi). W badaniu zadano m.in. pytanie, kiedy nastąpi realizacja treści tezy [Czaplicka-Kolorz (red.) 2007a]. Eksperti wskazywali na przedział czasu, kiedy treść danej tezy będzie zrealizowana. Wybierali następujące okresy:

2008-2010, 2011-2020; 2021-2030; oraz odpowiedzi: „po roku 2031” i „nigdy”. Na podstawie odpowiedzi ekspertów konstruowano prognozę według zasady największego prawdopodobieństwa. Przyjęto, że im bliższy horyzont realizacji tezy oraz im mniejszy odsetek odpowiedzi „nigdy”, tym większe są szanse jej realizacji.

W badaniu uwzględniono osiem obszarów tematycznych składających się w sumie z 105 tez dotyczących rozpatrywanych nowoczesnych technologii energetycznych. W tabeli 1 przedstawiono poszczególne obszary tematyczne wraz z liczbą ekspertów uczestniczących w badaniu. Ze względu na niewystarczającą liczbę ekspertów w drugiej turze badania klasyfikację oparto na wynikach z pierwszej tury.

Tabela 1. Badane obszary nowych technologii energetycznych

Lp.	Obszar tematyczny	Liczba tez	Liczba ekspertów (teza główna)	Liczba ekspertów (tezy specjalistyczne)	Liczba ekspertów II tura
1	technologie wykorzystania energii wody, wiatru, wód geotermalnych	22	44	34	9
2	technologie energetyczne oparte na węglu kamiennym i brunatnym	15	48	38	16
3	technologie przygotowania węgla do celów energetyki w aspekcie nowych rozwiązań technologicznych wytwarzania energii	14	48	27	10
4	technologie wytwarzania energii z biomasy i paliw alternatywnych	13	47	26	12
5	technologie w przemyśle naftowym i gazowniczym	14	48	26	16
6	technologie energetyki wodorowej	13	44	27	12
7	technologie zagospodarowania ubocznych produktów spalania	9	32	31	11
8	technologie energetyki jądrowej	5	54	37	11

Źródło: opracowanie własne.

W każdej grupie technologii rozpatrywano technologie przyszłościowe. Dotyczy to także technologii opartych na paliwach kopalnych czy też technologii wykorzystujących energię wody, wiatru, wód geotermalnych. W poszczególnych grupach rozpatrywano m.in. następujące technologie [Czaplicka-Kolorz (red.) 2007a]:

1. Technologie odnawialnych źródeł energii obejmowały zarówno wykorzystanie potencjału rzek i potoków, ferm wiatrowych budowanych na lądzie i morzu, a także zasoby energii geotermalnych czy też ciepła suchych skał.

2. Technologie oparte na węglu obejmowały m.in. technologie bazujące na zgazowaniu węgla (IGCC), ograniczeniu emisji CO₂ o 30%, separacji CO₂, zastosowaniu na skalę komercyjną kotłów o parametrach nadkrytycznych, wzroście sprawności uruchamianych węglowych bloków energetycznych.

3. Technologie przygotowania węgla do celów energetyki obejmowały m.in. technologie usprawniające wydobycie węgla oraz produkcję jakościowo lepszego paliwa węglowego.

4. Technologie wytwarzania energii z biomasy i paliw alternatywnych obejmowały m.in. technologie pozyskiwania energii odnawialnej z biomasy, wdrożenie instrumentów prawnych zawierania przez producentów biomasy umów długoterminowych z energetyką zawodową.

5. Wśród technologii w przemyśle naftowym i gazowniczym rozpatrywano zagadnienia modernizacji sieci przesyłowej, rozbudowy bazy magazynowej (PMG) w celu zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego, wzrost czerpania z krajowych złóż węglowodorów.

6. Technologie energetyki wodorowej – tezy dotyczyły głównie możliwości produkcji (np. zgazowanie węgla w warunkach polskich będzie podstawowym źródłem wodoru), transportu (np. magazynowanie i transport wodoru w postaci wodorków spowoduje istotny rozwój zastosowań wodoru do napędu środków transportu) i wykorzystania wodoru jako paliwa energetycznego (np. wodór zostanie zastosowany w miejsce LPG w znacznym stopniu w gospodarstwach domowych).

7. Technologie zagospodarowania ubocznych produktów (UPS) spalania obejmowały m.in. możliwości zagospodarowania UPS, poprawy jakości popiołów poprzez modyfikację instalacji spalających w elektrowniach.

8. Technologie energetyki jądrowej zawierały tezy o możliwości budowy elektrowni jądrowej w Polsce oraz możliwości wykorzystania wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych do zasilania procesów chemicznych, np. zgazowania węgla lub wytwarzania wodoru.

3. Metodologia badań

Ocena szans wdrożenia nowych technologii energetycznych wiąże się z brakiem precyzji. Należy tu odróżnić niepewność związaną z niemożnością określenia stopnia prawdziwości stwierdzenia od braku precyzji. Brak precyzji wynika z niemożności dostatecznie dokładnego określenia wartości wszystkich występujących w nim zmiennych. W pracy przyjęto, że im bliższy horyzont realizacji tezy, tym większe szanse jej realizacji. Jak jednak należy określić granicę lub granice poszczególnych przedziałów czasowych wyznaczających kategorie szans? Przyjmijmy, że horyzont realizacji tezy do 2015 r. będzie oznaczał, że teza będzie miała wysokie szanse realizacji. Czy rok 2016 może być już jednoznacznie zdefiniowany jako rok o umiarkowanych szansach wdrożenia? W celu rozwiązania tych dylematów można zastosować modelowanie rozmyte.

Pojęcie zbioru rozmytego wprowadził w 1965 r. Lotfi A. Zadeh [Zadeh 1965]. Zbiór rozmyty A definiowany jest przez parę [Ostasiewicz 1986]:

$$\{X, \mu_A\}, \quad (1)$$

gdzie: X – pewna przestrzeń rozważanych obiektów, $\mu_A: X \rightarrow [0, 1]$ jest funkcją przynależności zbioru A (dla każdego elementu $x \in X$ określa, w jakim stopniu należy on do zbioru A).

W przypadku zbioru rozmytego przejście pomiędzy całkowitą przynależnością ($\mu_A(x) = 1$) i nieprzynależnością ($\mu_A(x) = 0$) jest płynne. Oznacza to, iż poszczególne obiekty mogą należeć do opisanych zbiorów również w pewnym stopniu. W artykule zastosowano model Mamdaniego, który opiera się na bazie reguł i stosowaniu operatorów lingwistycznych, co jest najbardziej naturalnym podejściem z punktu widzenia logiki rozmytej. Zmienna lingwistyczna może być zdefiniowana jako „krótki horyzont wdrożenia technologii” (dla horyzontu krótszego niż rok 2015). Można wyróżnić następujące etapy budowy modelu rozmytego [Zieliński (red.) 2000]:

1. Określenie funkcji przynależności (charakterystycznej) zbioru $\mu_A(x)$ oraz zbioru reguł lingwistycznych.

2. Wnioskowanie w modelu rozmytym.

3. Wyostrzanie (defuzyfikacja) wyników.

W pierwszym etapie modelowania rozmytego należy wybrać odpowiednie funkcje przynależności. Najczęściej stosowane są funkcje [Heilpern 1998; Zieliński (red.) 2000]: trójkątna, trapezoidalna, gaussowska, krzywa PI oraz krzywa L-R. W artykule zastosowano krzywą PI o postaci²:

$$\mu(x) = \begin{cases} S(x, \gamma - \beta, \gamma - \frac{\beta}{2}, \gamma) & \text{dla } x \leq \gamma \\ 1 - S(x, \gamma, \gamma + \frac{\beta}{2}, \gamma + \beta) & \text{dla } x > \gamma \end{cases}, \quad (2)$$

gdzie:

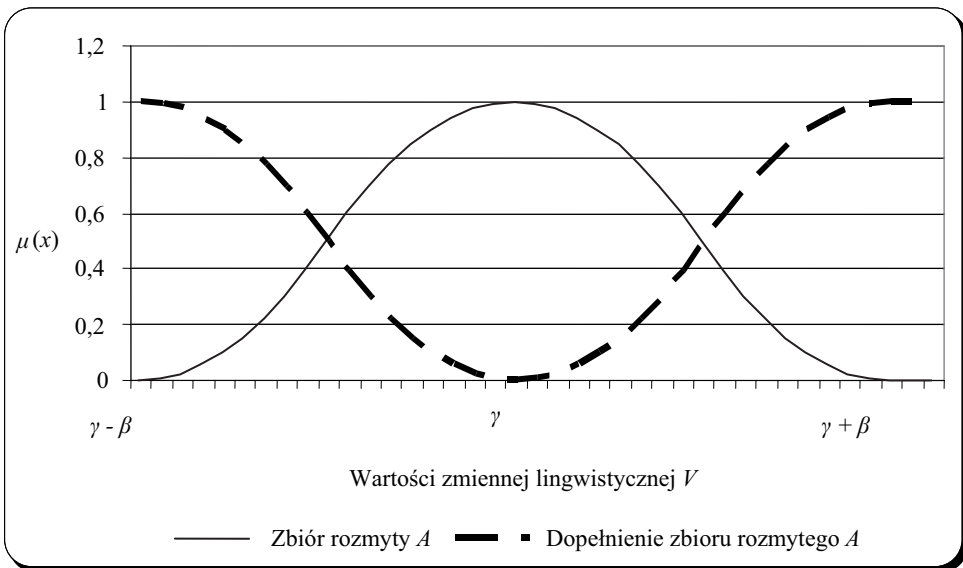
$$S(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq a \\ 2 \frac{(x-a)^2}{(c-a)^2} & \text{dla } a < x \leq b \\ 1 - 2 \frac{(x-c)^2}{(c-a)^2} & \text{dla } b < x < c \\ 1 & \text{dla } x \geq c \end{cases}, \quad (3)$$

² Jest to przykład symetrycznej krzywej PI. Można także zbudować krzywe niesymetryczne co wymaga zdefiniowania prawej granicy zbioru (a') i punktu przegięcia na prawo od wartości modalnej (b').

gdzie: a – zewnętrzna granica zbioru – wartości poniżej granicy a charakteryzują się wartością funkcji przynależności wynosi 0 [$\mu_A(x) = 0$], b – punkt przecięcia, w którym wartość funkcji przynależności wynosi 0,5 [$\mu_A(x) = 0,5$], c – wartość modalna zbioru, dla której wartość funkcji przynależności wynosi 1 [$\mu_A(x) = 1$].

Gdy zmienną lingwistyczną dzielimy na trzy lub więcej zbiorów rozmytych, należy zdefiniować kilka funkcji przynależności. Można je zdefiniować także jako dopełnienie zbioru A , którym będzie taki zbiór \bar{A} , że:

$$\forall_{x \in X} \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x). \quad (4)$$



Rys. 1. Krzywa PI przynależności zbioru rozmytego wraz z dopełnieniem

Źródło: opracowanie własne.

Kolejnym etapem w modelowaniu rozmytym jest budowa zależności między zmiennymi lingwistycznymi w rozmytym modelu, które są opisywane za pomocą reguł o postaci:

$$\text{Jeżeli } V \text{ jest } A \text{ To } U \text{ jest } B. \quad (5)$$

Proces wnioskowania ma doprowadzić do wyznaczenia wartości, jakie przyjmować będzie zmienna U , pod warunkiem że zmienna V przyjmie określoną wartość. Wartością zmiennych V może być stała liczba lub zbiór rozmyty. W pierwszym przypadku sprowadza się to oceny prawdziwości zdania „ V jest A ”, wiedząc, że prawdzi-

we jest zdanie „ V jest x_0 ”. Musimy w tym celu znaleźć stopień przynależności wartości x_0 do zbioru A . Wartość ta dana jest funkcją przynależności $\mu_A(x_0)$. W przypadku, gdy reguła jest zdaniem złożonym o postaci:

Jeżeli V_1 jest A_1 **I** V_2 jest A_2 **I** ... **I** V_n jest A_n **TO** U jest B , (6)
to przynależność jest zdefiniowana jako:

$$\mu_A(x_0) = \min(\mu_{A_1}(x_{A_1,0}), \mu_{A_2}(x_{A_2,0}), \dots, \mu_{A_n}(x_{A_n,0})). \quad (7)$$

Jeżeli zostały określone zbiory rozmyte A_1, A_2, \dots, A_n , to należy określić wartości wyjściowej zmiennej U . W tym celu w tym celu można zastosować tzw. regułę minimum (Mamdaniego), która polega na przekształceniu zdania „ U jest B ” do zdania „ U jest B' ”, gdzie B' jest zbiorem rozmytym określonym przez funkcję przynależności:

$$\mu_{B'}(x) = \min(\mu_B(x), \mu_A(x_0)). \quad (8)$$

Kolejnym etapem procesu wnioskowania jest scalenie wyników działania wszystkich reguł w jeden zbiór rozmyty opisujący wartość zmiennej U . W tym celu można wykorzystać operację maksimum:

$$\mu_B(x) = \max(\mu_{B'_1}(x), \mu_{B'_2}(x), \dots, \mu_{B'_K}(x)). \quad (9)$$

Opisany sposób wnioskowania rozmytego nazywany jest konstruktywnym, ponieważ finalne rozwiązanie budowane jest poprzez połączenie wyników działania poszczególnych reguł wnioskowania.

Ostatnim, nie zawsze przeprowadzanym etapem modelowania rozmytego jest wyostrzenie (defuzyfikacja) wyników. W tym celu można wykorzystać środek ciężkości rozmytej liczby [Heilpern 1998]:

$$\bar{\mu}(B) = \frac{\int x \mu(x) dx}{\int_x \mu(x) dx}. \quad (10)$$

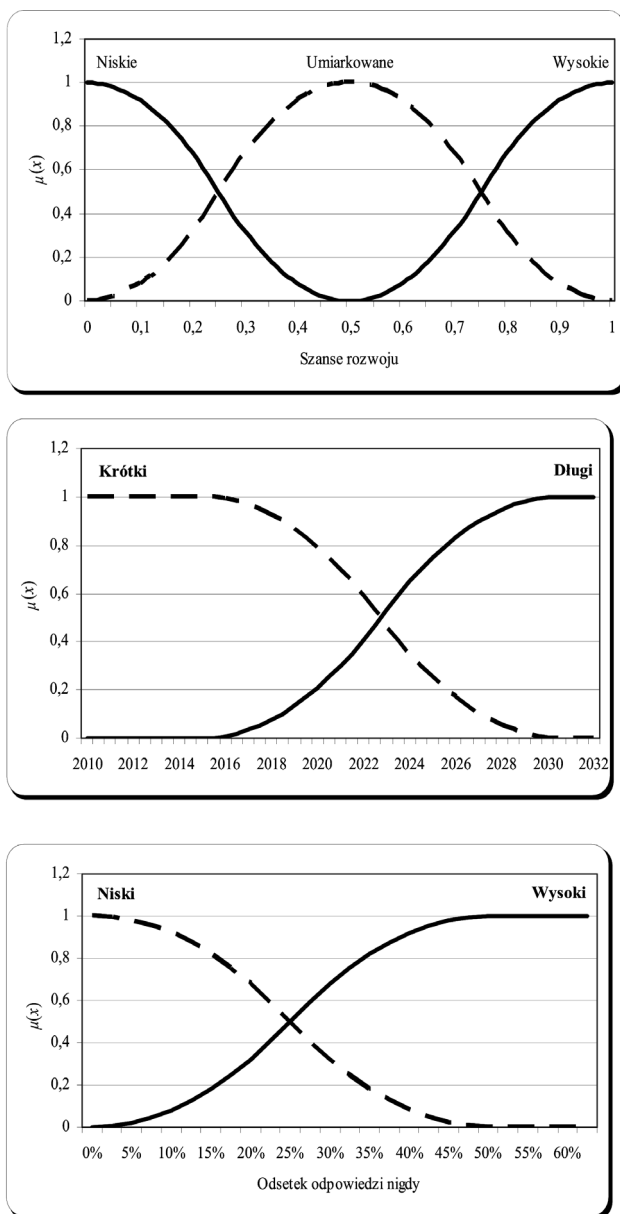
Defuzyfikacja wyników polega na przekształceniu zbioru rozmytego B na wartość dokładną.

4. Wyniki badań empirycznych

W badaniu przyjęto następujące granice dla zmiennych lingwistycznych:

1. Jeśli horyzont realizacji tezy był równy lub krótszy niż 2015 r., to oznaczono go jako krótki horyzont i szanse realizacji tezy są wysokie.
2. Jeśli horyzont realizacji tezy był równy lub dłuższy niż 2030 r., to oznaczono go jako długi horyzont i szanse jej realizacji są małe.
3. Jeśli odsetek odpowiedzi „nigdy” jest równy 0, to jest niski i szanse realizacji tezy są duże.

4. Jeśli odsetek odpowiedzi „nigdy” jest równy 50%, to jest wysoki i szanse realizacji tezy są małe.



Rys. 2. Funkcje przynależności oczekiwanego horyzontu realizacji tezy, odsetka odpowiedzi „nigdy” oraz szans realizacji tezy do określonych zbiorów rozmytych

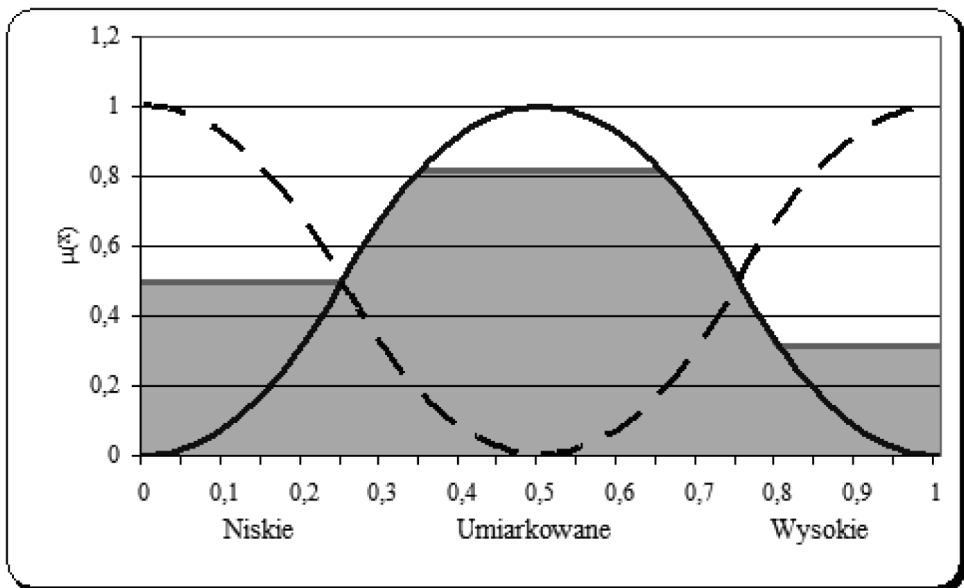
Źródło: opracowanie własne.

W przypadku obu zmiennych zastosowano zbiory rozmyte nieograniczone, a jako funkcje przynależności wykorzystano krzywe PI (por. rys. 2). W odniesieniu do najbardziej prawdopodobnego czasu realizacji tezy zastosowano ograniczenie lewostronne, a dla odsetka odpowiedzi „nigdy” – ograniczenie prawostronne. Zespół reguł lingwistycznych zamieszczono w tab. 2.

Tabela 2. Zespół reguł lingwistycznych oceny szans wdrożenia nowych technologii

Lp.	Czas realizacji tezy	Odsetek odpowiedzi „nigdy”	Wniosek
1	krótki	niski	wysokie szanse
2	krótki	wysoki	umiarkowane szanse
3	długi	niski	umiarkowane szanse
4	długi	wysoki	niskie szanse

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3. Zbiór rozmyty opisujący szanse wdrożenia dla tezy „Okolo 60% węgla dla energetyki będzie uzyskiwane metodami głębokiego mechanicznego wzbogacania”

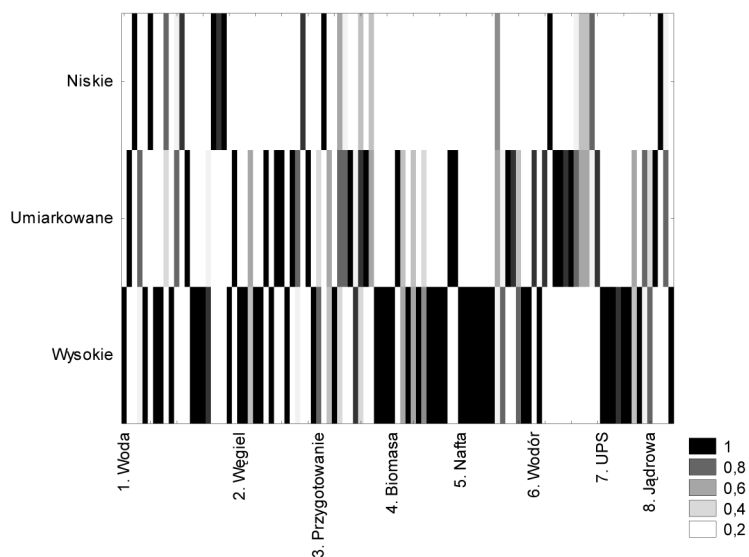
Źródło: opracowanie własne.

Zastosowano trzy kategorie szans wdrożenia technologii (kategoria o szansach niskich, umiarkowanych, wysokich). Wykorzystany podział w tym przypadku wydaje się naturalny. Liczbę kategorii zweryfikowano także, stosując metody aglomeracyjne z grupy Lance’a-Williamsa-Warda. W zależności od zdefiniowanych warto-

ści parametrów przekształcenia, tzn. w odmiennym pojmowaniu odległości skupisk oraz zastosowanej reguły *stop*, otrzymano dwie lub cztery kategorie. W przypadku podziału na dwie grupy pierwsza kategoria charakteryzowała się dłuższym horyzontem wdrożenia technologii i wyższym odsetkiem odpowiedzi „nigdy”. W przypadku podziału na cztery grupy, klasyfikacja była zgodna z zastosowanymi regułami lingwistycznymi.

W przypadku tezy „Okolo 60% węgla dla energetyki będzie uzyskiwane metodami głębokiego mechanicznego wzbogacania” z obszaru przygotowania węgla do celów energetyki modelowanie rozmyte pozwoliło zaliczyć ją do trzech kategorii szans wdrożenia. Największa przynależność jest do zbioru „umiarkowane szanse” (z wartością funkcji przynależności wynoszącą 0,82), następną w kolejności jest kategoria „niskie szanse” (z wartością funkcji przynależności równą 0,5) oraz kategoria „wysokie szanse wdrożenia” (wartość funkcji przynależności wynosiła 0,32). Stosując metody hierarchiczne, metody klasyfikacyjne, tę tezę zaliczono do grupy o niskich szansach wdrożenia.

Na rysunku 4 przedstawiono przynależność do zbiorów rozmytych opisujących szanse wdrożenia technologii dla wszystkich tez.



Rys. 4. Przynależność poszczególnych tez do kategorii rozmytych szans wdrożenia nowych technologii energetycznych

Źródło: opracowanie własne.

Największe szanse wdrożenia mają technologie z obszarów: technologie w przemyśle naftowym i gazowniczym (11 tez ma największy stopień przynależności do

tej kategorii na 14 tez w tym obszarze badawczym), technologie wytwarzania energii z biomasy i paliw alternatywnych (10 tez na 13 ogółem) oraz technologie zagospodarowania ubocznych produktów spalania (7 tez na 9 ogółem). Charakteryzują się one krótkim horyzontem wdrożenia i dużym przekonaniem ekspertów o tym, że dana technologia będzie wdrożona (niski odsetek odpowiedzi nigdy). Tezy z obszarów badawczych: technologie energetyczne oparte na węglu kamiennym i brunatnym; technologie przygotowania węgla do celów energetyki w aspekcie nowych rozwiązań technologicznych wytwarzania energii; technologie energetyki jądrowej najwyższy stopień przynależności miały do zbiorów o wysokich i umiarkowanych szansach. Tezy z obszaru technologicznego wykorzystania energii wody, wiatru, wód geotermalnych zostały zakwalifikowane do zbiorów o wysokich i niskich szansach. Z rozpatrywanych obszarów najmniejsze szanse wdrożenia mają technologie energetyki wodorowej, których prace nad wdrożeniem są zaawansowane w najmniejszym stopniu.

5. Wnioski końcowe

Zastosowanie zbiorów rozmytych do oceny szans wdrożenia nowoczesnych technologii ma tę przewagę, że nie klasyfikuje jednoznacznie do jednej kategorii, lecz określa stopień przynależności do odpowiedniego zbioru. Pozwala to na ogólniejszą ocenę od oceny uzyskanej podczas stosowania metod klasyfikacyjnych. W razie potrzeby zbadania zgodności wyników z modelowaniem rozmytego i metod klasyfikacyjnych można wyostrzyć wynik, a więc przejść ze zbiorów rozmytych do klasycznej teorii zbiorów.

Przeprowadzona analiza wskazuje, że według ekspertów poszczególne nowoczesne technologie energetyczne są zróżnicowane ze względu na przewidywany czas ich wdrożenia i przekonanie ekspertów odnośnie do tego, że dana technologia będzie wdrożona. W zbiorze, w którym technologie mają największe szanse na wdrożenie, można wymienić technologie oparte na: przemyśle naftowym i gazowniczym, biomasie i paliwach alternatywnych oraz zagospodarowaniu ubocznych produktów spalania, tzw. UPS. Dość nisko eksperci oceniają szanse wdrożenia technologii energetyki wodorowej, choć w przypadku polskiej gospodarki ten obszar pozyskania energii byłby bardzo korzystny. Wynika to z faktu, że możliwe jest pozyskanie wodoru poprzez zgazowanie węgla, którego zasoby operatywne z istniejących kopalń w Polsce, jak wskazują badania, wystarczą na 38-40 lat, a w razie budowy nowych kopalń – na ok. 100 lat.

Literatura

Czaplicka-Kolorz K. (red.), *Scenariusze rozwoju technologicznego kompleksu paliwowo-energetycznego dla zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju – część 1. Studium gospodarki pali-*

- wami i energią dla celów opracowania foresightu energetycznego dla Polski na lata 2005-2030, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2007a.
- Czaplicka-Kolorz K. (red.), *Scenariusze rozwoju technologicznego kompleksu paliwowo-energetycznego dla zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju – część 2. Scenariusze opracowane na podstawie foresightu energetycznego dla Polski na lata 2005-2030*, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2007b.
- Gatnar E., Walesiak M. (red.), *Metody statystycznej analizy wielowymiarowej w badaniach marketingowych*, AE, Wrocław 2004.
- Heilpern S., *Dynamika i niepewność w modelowaniu ekonomicznym*, AE, Wrocław 1998.
- Miles I., Keenan M., *Practical Guide to regional Foresight in the United Kingdom*, Unit „Science and Technology Foresight”, European Commission/DG Research, Brussels 2002.
- Ostasiewicz W., *Zastosowanie zbiorów rozmytych w ekonomii*, PWN, Warszawa 1986.
- Peter C.F., *The axioms of subjective probability*, „Statistical Science” 1986, vol. 1, no 3.
- Poradowska K., *Prawdopodobieństwo subiektywne w prognozowaniu czasu zajścia nowych zdarzeń*, [w:] *Zarządzanie przedsiębiorstwem – teoria i praktyka*, AGH, Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Kraków 2009, s. 128-136.
- Poradowska K., Wójciak M., *Uogólniony rozkład trójkątny w analizie wyników badania foresight*, *Acta Universitatis Nicolai Copernici, Oeconomia XXXIX*, zeszyt specjalny: *Dynamiczne modele ekonometryczne*, Wydawnictwo UMK Toruń, Toruń 2009, s.167-177.
- Press J.S., *Subjective and Objective Bayesian Statistics, Principles, Models and Applications*, Willey & Sons, New Jersey 2003.
- Scenariusze rozwoju sektora energetycznego*, raport z wykorzystaniem baz danych i modeli prognozytycznych Agencji Rynku Energii SA dla Głównego Instytutu Górnictwa, luty 2007.
- Zadeh L., *Fuzzy sets*, „Information and Control” 1965, vol. 8(3), s. 338-353.
- Zieliński J. (red.), *Inteligentne systemy w zarządzaniu – teoria i praktyka*, PWN, Warszawa 2000.

THE EVALUATION OF CHANCES OF A FUTURE TECHNOLOGY IMPLEMENTATION ON THE BASIS OF ENERGY FORESIGHT

Summary: The main aim of the paper is to evaluate the chances of future technology implementation. To assess the chances, the experts' opinions on the expected time of implementation on the industrial scale of the considered technologies were used. The experts' opinions were obtained by Delphi analysis within the energy foresight carried out by Główny Instytut Górnictwa w Katowicach. Due to the fact that the results reached are equivocal (they are burdened with a high level of a subjective view of experts) and imprecise, instead of using classical methods of classification, the fuzzy sets theory is used. The following sets were defined: high, moderate, and low chances of technology implementation.

The results of the carried analysis show that the highest chances of implementation (from the point of view of the expected time of implementation) are of those technologies which base on fossil fuels (coal preparation, oil and gas industry) and management of burning by-products.