

Dorota GAWROŃSKA
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
dorota.gawronska@polsl.pl

MODEL OCENY PRZYDATNOŚCI TERENU DLA ENERGETYKI WIATROWEJ W WARUNKACH NIEPEWNOŚCI

Streszczenie. W artykule przedstawiono model oceny terenów rozpatrywanych pod kątem rozwoju energetyki wiatrowej. Na podstawie zalet, jak i wad analizowanego terenu zbudowano strukturę kryteriów i podkryteriów z uwzględnieniem ich ważności na poszczególnych poziomach.

Słowa kluczowe: energetyka wiatrowa, uwarunkowania terenu, odnawialne źródła energii, niepewność, liczby rozmyte.

MODEL ASSESSMENT OF USEFULNESS OF AREA FOR WIND ENERGY IN THE CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Summary. In the article is presented a model for the evaluation of sites under consideration for the development of wind energy. On the basis of the criteria characterizing the advantages and disadvantages analyzed area built of criteria and sub-criteria with regard to the validity of the criteria at each level.

Keywords: wind power lay of the land, renewable energy sources, uncertainty, fuzzy numbers.

1. Wstęp

Obecnie energetyka światowa opiera się w głównej mierze na eksploatacji paliw kopalnych takich jak: węgiel, gaz ziemny, ropa naftowa, uran 235. Problem, jaki wynika z korzystania z tych paliw jest ich ograniczona ilość oraz zagrożenie dla równowagi ekologicznej na Ziemi, stąd konieczność poszukiwania nowych źródeł energii.

Aktualnie wykorzystywane są różne odnawialne źródła energii: słońce, ciepło Ziemi, wody powierzchniowe, wiatr, biomasa, ogniwa paliwowe, wodór czy odpady komunalne [4]. Zmierza się do optymalnego wykorzystania lokalnych zasobów energii w zależności od możliwości poszczególnych regionów.

Energetyka wiatrowa jest jedną z najszybciej rozwijających się metod wykorzystania odnawialnych źródeł energii – 20-30% rocznie. Moc elektrowni wiatrowych wybudowanych do 2000 roku wynosiła 18 GW, a do 2014 roku wzrosła do 370 GW. W 2014 roku elektrownie wiatrowe dostarczyły 706 TWh, co stanowi 3% światowego zapotrzebowania na energię elektryczną [14].

Rozwój energetyki wiatrowej uzależniony jest od wielu czynników: prawnych (wynikających z prawa regionalnego, krajowego i międzynarodowego), przyrodniczych, społecznych i techniczno-ekonomicznych [11], stąd przy ocenie rozpatrywanych terenów pod rozwój energetyki wiatrowej, powinny być uwzględnione powyższe kryteria. Celem pracy jest przedstawienie modelu oceny terenów, uwzględniającego istotne kryteria oceny, ich poszczególne wpływy na poziom wartości oceny terenu i określenie tych terenów, które w najwyższym stopniu wpisują się w realizację założeń rozwoju energetyki wiatrowej.

2. Kryteria oceny terenu

Na podstawie czynników uzależniających rozwój energetyki stworzono zbiór kryteriów i podkryteriów, które tworzą strukturę wielokryterialną z podziałem na poziomy:

- 1) prawne
 - 1.1) zgodność z prawem regionalnym,
 - 1.2) zgodność z prawem krajowym,
 - 1.3) zgodność z prawem międzynarodowym
- 2) przyrodnicze
 - 2.1) fizjograficzne,
 - 2.2) ekologiczne,
 - 2.3) zasobowo-użytkowe (zachowanie: funkcji i zasobów naturalnych, walorów krajobrazowych, potencjału biotycznego)
- 3) społeczne
 - 3.1) zachowanie walorów kulturowych,
 - 3.2) aspekty wizualne,
 - 3.3) dopuszczające normy hałasu,
 - 3.4) zachowanie potencjału turystyczno-rekreacyjnego

4) techniczno-ekonomicznych

- 4.1) dostępność sieci elektroenergetycznej – odległość elektrowni wiatrowej od linii energetycznej lub głównych punktów zasilania,
- 4.2. dostępność komunikacyjna – odległość od sieci transportowej,
- 4.3. opłacalność inwestycji.

Ze względu na charakter i możliwości regionu struktura kryteriów i podkryteriów może być zmodyfikowana zgodnie z regionalnymi warunkami rozwoju energetyki wiatrowej. Ponieważ wartości ocen względem poszczególnych kryteriów są zróżnicowane oraz trudne do określenia, w związku z planowaną przyszłością rozwoju energetyki wiatrowej w danym rejonie, więc przyjęto zmienne rozmyte, które umożliwiają interpretację różnych oraz niepewnych wartości.

3. Zmienne rozmyte

W artykule do reprezentacji niepewnych wartości zastosowano w artykule liczby rozmyte [3], które „pozwalają określić nie tylko w pełni możliwe wartości danej i wartości całkiem niemożliwe, ale także wartości możliwe w różnych stopniach” [10]. Liczby te opisane są przez trzy parametry m , α , β . Parametr m jest liczbą rzeczywistą zwaną wartością średnią, a α , β są odpowiednio „rozrzutem” lewostronnym i prawostronnym. Funkcja przynależności liczby typu LR określona jest następującym wzorem:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} L\left(\frac{m-x}{\alpha}\right) & \text{dla } x < m \\ 1 & \text{dla } x = m \\ R\left(\frac{x-m}{\beta}\right) & \text{dla } x > m \end{cases} \quad (1)$$

Funkcje L i R to funkcje odniesienia, opisane wzorem (2):

$$L(x) = R(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x < m - \alpha \\ 1 - |x| & \text{dla } m - \alpha \leq x \leq m + \beta \\ 0 & \text{dla } x > m + \beta \end{cases} \quad (2)$$

Ponieważ ocena terenu określona jest jako poziom spełnienia w przedziale możliwych wartości, więc oceny określane są jako przedziały wyrażające niepewność ($[m-\alpha, m]$ oraz $[m, m+\beta]$).

Operacje na liczbach rozmytych typu LR będą określane jako operacje na tych trzech parametrach (m , α , β) [12]. Ze względu na różne współczynniki ważności poszczególnych kryteriów i podkryteriów, uwzględniono oceny ważone kryteriów.

4. Struktura hierarchiczna kryteriów opisanych zmiennymi rozmytymi

Na podstawie struktury hierarchicznej, opisanej w pkt. 2. pracy, przyjęto następujące oznaczenia ocen terenów jako liczby rozmyte w ramach poszczególnych kryteriów:

- 1) prawne P_i , określone charakterystyczną trójką $(m_{P_i}, \alpha_{P_i}, \beta_{P_i})$ (ocena kryterium *Poziomu 1* O_{ig})
 - 1.1) zgodność z prawem regionalnym – ocena kryterium *Poziomu 2* O_{igj} : PRE_i , $(m_{PRE_i}, \alpha_{PRE_i}, \beta_{PRE_i})$
 - 1.2) zgodność z prawem krajowym – ocena kryterium *Poziomu 2* O_{igj} : PK_i , $(m_{PK_i}, \alpha_{PK_i}, \beta_{PK_i})$
 - 1.3) zgodność z prawem międzynarodowym – ocena kryterium *Poziomu 2* O_{igj} : PM_i , $(m_{PM_i}, \alpha_{PM_i}, \beta_{PM_i})$
- 2) przyrodnicze PRZ_i , określone charakterystyczną trójką $(m_{PRZ_i}, \alpha_{PRZ_i}, \beta_{PRZ_i})$ (ocena kryterium *Poziomu 1* O_{ig})
 - 2.1) fizjograficzne – ocena kryterium *Poziomu 2* O_{igj} : F_i , $(m_{F_i}, \alpha_{F_i}, \beta_{F_i})$
 - 2.2) ekologiczne – ocena kryterium *Poziomu 2* O_{igj} : E_i , $(m_{E_i}, \alpha_{E_i}, \beta_{E_i})$
 - 2.3) zasobowo-użytkowe (zachowanie funkcji i zasobów naturalnych, zachowanie walorów krajobrazowych, zachowanie potencjału biotycznego) – ocena kryterium *Poziomu 2* O_{igj} : ZS_i , $(m_{ZS_i}, \alpha_{ZS_i}, \beta_{ZS_i})$
- 3) społeczne S_i , określone charakterystyczną trójką $(m_{S_i}, \alpha_{S_i}, \beta_{S_i})$ (ocena kryterium *Poziomu 1* O_{ig})
 - 3.1) zachowanie walorów kulturowych – ocena kryterium *Poziomu 2* O_{igj} : WK_i , $(m_{WK_i}, \alpha_{WK_i}, \beta_{WK_i})$
 - 3.2) aspekty wizualne – ocena kryterium *Poziomu 2* O_{igj} : AW_i , $(m_{ZW_i}, \alpha_{AW_i}, \beta_{AW_i})$
 - 3.3) zachowanie potencjału turystyczno-rekreacyjnego – ocena kryterium *Poziomu 2* O_{igj} : PTR_i , $(m_{PTR_i}, \alpha_{PTR_i}, \beta_{PTR_i})$
 - 3.3) dopuszczające normy hałasu – ocena kryterium *Poziomu 2* O_{igj} : H_i , $(m_{H_i}, \alpha_{H_i}, \beta_{H_i})$
 - 3.4) ryzyko zaistnienia: efektu migotania oraz rzucania cienia, emisji promieniowania elektromagnetycznego, emitowania pulsującego światła w nocy – ocena kryterium *Poziomu 2* O_{igj} : R_i , $(m_{R_i}, \alpha_{R_i}, \beta_{R_i})$

4) techniczne T_i , określone charakterystyczną trójką $(m_{T_i}, \alpha_{T_i}, \beta_{T_i})$ (ocena kryterium *Poziomu 1* O_{ig})

4.1) dostępność sieci elektroenergetycznej – odległości elektrowni wiatrowej od linii energetycznej lub głównych punktów zasilania – ocena kryterium *Poziomu 2* O_{igj} : $DSE_i, (m_{DSE_i}, \alpha_{DSE_i}, \beta_{DSE_i})$

4.2) dostępność komunikacyjna – odległość od sieci transportowej – ocena kryterium *Poziomu 2* O_{igj} : $DK_i, (m_{DK_i}, \alpha_{DK_i}, \beta_{DK_i})$

4.3) opłacalność inwestycji – ocena kryterium *Poziomu 2* O_{igj} : $OI_i, (m_{OI_i}, \alpha_{OI_i}, \beta_{OI_i})$.

Z uwagi na fakt uwzględniania ważności poszczególnych kryteriów i podkryteriów, wprowadzono zmienne opisujące ich ważności. Ważność grup kryteriów *Poziomu 1*, (kryteria prawne, przyrodnicze, społeczne, techniczne), określone przez zespół oceniający, dana jest w postaci zmiennej V_g (g -kryterium *Poziomu 1*). Zakłada się, że ważności kryteriów są określone na przedziale $[0,1]$, co jest związane z warunkiem, że suma wag kryteriów musi wynosić 1.

$$\sum_{g=1}^G V_g = 1. \quad (3)$$

Ważność kryteriów *Poziomu 2* (podkryteria kryteriów *Poziomu 1*) dana jest w postaci zmiennej V_{gj} (g -kryterium *Poziomu 1*, j -kryterium *Poziomu 2*). Podobnie jak w przypadku kryteriów *Poziomu 1*, ważności kryteriów są określone na przedziale $[0,1]$ i suma wag kryteriów musi wynosić 1.

$$\sum_{j=1}^J V_{gj} = 1. \quad (4)$$

Oceny terenów są ocenami punktowymi, gdzie zespół oceniający określa maksymalną liczbę punktów w ramach danego kryterium oraz przedział wartości, wyrażający niepewności.

Na podstawie przedstawionej struktury kryteriów oraz przyjętych zmiennych rozmytych, opisujących oceny terenów i ocen wag kryteriów można przedstawić model wielokryterialnej oceny terenów.

5. Model wielokryterialnej oceny terenów

W niniejszym artykule zakłada się, że tereny T_i rozważane pod inwestycję w energetykę wiatrową należą do skończonego zbioru:

$$T = \{T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_I\}, \quad i = 1, \dots, M \quad (5)$$

Oceny terenów względem poszczególnych kryteriów i podkryteriów przedstawiane są przez zespół oceniający jako przedziały niepewności – przykładowo dla kryterium prawnego: $[m_{P_i} - \alpha_{P_i}, m_{P_i} + \beta_{P_i}]$; m_{P_i} to ustalona wartość (najbardziej oczekiwana) bądź średnia liczona zgodnie ze wzorem:

$$m_{P_i} = \frac{m_{P_i} - \alpha_{P_i} + m_{P_i} + \beta_{P_i}}{2}, \quad (6)$$

Ponieważ wartości ocen terenów względem poszczególnych kryteriów traktowane są jako stopień spełnienia przez i -ty teren pewnego stanu idealnego w granicach danego kryterium, więc należy dokonać normowania wartości tych ocen. Przykładowo, dla kryterium prawnego (Poziom 1) wzory opisujące normowanie przedstawione są następująco:

$$\hat{\alpha}_{P_i} = \frac{\alpha_{P_i}}{\max (m_{P_i} + \beta_{P_i})}, \quad (7)$$

$$\hat{m}_{P_i} = \frac{m_{P_i}}{\max (m_{P_i} + \beta_{P_i})}, \quad (8)$$

$$\hat{\beta}_{P_i} = \frac{\beta_{P_i}}{\max (m_{P_i} + \beta_{P_i})} \quad (9)$$

Po dokonaniu normowania zmienne $\hat{\alpha}_{P_i}$, \hat{m}_{P_i} i $\hat{\beta}_{P_i}$ są nowymi, obowiązującymi zmiennymi m_{P_i} , α_{P_i} , β_{P_i} .

Na podstawie określonych unormowanych ocen względem kryteriów *Poziomu 2* w dalszej kolejności można określić ważone oceny łączne terenów względem kryterium *Poziomu 1*, jako sumę ważoną ocen w ramach danej grupy kryteriów.

1. Ocena łączna w ramach kryterium prawnego:

$$P_i = \frac{V_{11} \cdot PRE_i + V_{12} \cdot PK_i + V_{13} \cdot PM_i}{V_{11} + V_{12} + V_{13}}. \quad (10)$$

2. Ocena łączna w ramach kryterium przyrodniczego:

$$PRZ_i = \frac{V_{21} \cdot F_i + V_{22} \cdot E_i + V_{23} \cdot ZS_i}{V_{21} + V_{22} + V_{23}}. \quad (11)$$

3. Ocena łączna w ramach kryterium społecznego:

$$S_i = \frac{V_{31} \cdot WK_i + V_{32} \cdot PTR_i + V_{33} \cdot H_i + V_{34} \cdot T_i}{V_{31} + V_{32} + V_{33} + V_{34}}. \quad (12)$$

4. Ocena łączna w ramach kryterium technicznego:

$$T_i = \frac{V_{41} \cdot DSE_i + V_{42} \cdot DK_i + V_{43} \cdot OI_i}{V_{41} + V_{42} + V_{43}}. \quad (13)$$

Po określeniu ocen rozmytych względem poszczególnych podkryteriów, należy dokonać ponownego normowania ocen, zgodnie z przykładem podanym we wzorach (7), (8), (9).

Po unormowaniu ocen łącznych w ramach kryteriów Poziomu 1, można wyznaczyć ocenę globalną terenu GO_i , uwzględniającą wszystkie kryteria Poziomu 1:

$$GO_i = \frac{V_1 \cdot P_i + V_2 \cdot PRZ_i + V_3 \cdot S_i + V_4 \cdot T_i}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}. \quad (14)$$

Na podstawie przedstawionego algorytmu każdy teren opisany jest liczbą rozmytą GO_i względem kryterium globalnego. W dalszej kolejności należy określić wartości rzeczywiste ocen. W niniejszym artykule zastosowaną metodą jest metoda środka ciężkości, przypisująca liczbie rozmytej wartość rzeczywistą:

$$GO(i) = \frac{3 \cdot m_{GO_i} - \alpha_{GO_i} + \beta_{GO_i}}{3}. \quad (15)$$

Na podstawie określonych rzeczywistych ocen rozpatrywanych terenów pod inwestycję w energetykę wiatrową można dokonać analizy porównawczej otrzymanych wyników. Im większa wartość oceny, tym wyższą ocenę otrzymuje dany teren.

6. Podsumowanie

Aktualnie można zaobserwować szybko rozwijające się inwestycje związane z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii, w tym energetyki wiatrowej. W niniejszym artykule zaproponowano model oceny terenów rozpatrywanych pod rozwój energetyki wiatrowej. Określono kryteria oceny, stworzono strukturę hierarchiczną i opisujące zmienne określające oceny terenów. Model ten umożliwia wyodrębnienie terenów najlepiej wpisanych w spełnienia kryteriów.

Bibliografia

1. Chojcan J.: Zbiory rozmyte i ich zastosowanie. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.
2. Driankow D., Hellendoorn H., Reinfrank M.: Wprowadzenie do sterowania rozmytego. WNT, Warszawa 1996.
3. Dubois D., Prade H.: Fuzzy set and systems – theory and applications. Academic Press, New York 1980.
4. Gumuła S., Knap T., Strzelczyk P., Szczerba Z.: Energetyka wiatrowa, Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2006.
5. Kacprzyk J.: Wieloetapowe sterowanie rozmyte. WNT, Warszawa 2001.

6. Kacprzyk J.: Zbiory rozmyte w analizie systemowej. PWN, Warszawa 1986.
7. Kistowski M.: Regionalny model zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska Polski a strategię rozwoju województw, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Gdańsk-Poznań 2003.
8. Kościcki B., Sławińska M.: Energetyka a ochrona środowiska naturalnego w skali globalnej i lokalnej, Wydawnictwo Wieś Jutra, Warszawa 2009.
9. Kucowski J., Laudyn D., Przekwas M.: Energetyka a ochrona środowiska, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.
10. Łachwa A.: Rozmyty świat zbiorów, liczb, relacji, faktów, reguł i decyzji. AOW Exit, Warszawa 2001.
11. Niecikowski K., Kistowski M.: Uwarunkowania i perspektywy rozwoju energetyki wiatrowej na przykładzie strefy pobraży i wód przybrzeżnych województwa pomorskiego. Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2008.
12. Piegat A.: Modelowanie i sterowanie rozmyte. AOW Exit, Warszawa 1999.
13. Rutkowski L.: Metody i techniki sztucznej inteligencji. PWN, Warszawa 2009.

Abstract

One of the most important sectors of the national economy is energy. Currently rapidly growing investments related to the use of renewable energy sources, including wind power. On this basis, they carried out the analysis capabilities associated with the development of wind power in various regions of the country. This article presents the algorithm for assessment of sites under consideration for the development of wind energy. On this basis, we can define those areas which, due to legal, natural, social, technical best to pursue these goals.