

Karolina Ogrodnik

MOŻLIWOŚĆ IMPLEMENTACJI METODY AHP DO PROCEDURY WYBORU OPTYMALNEGO WARIANTU LOKALIZACYJNEGO ZESPOŁU ELEKTROWNI WIATROWYCH

Karolina Ogrodnik, mgr inż. – Politechnika Białostocka

adres korespondencyjny:
Politechnika Białostocka
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok
e-mail: k.ogrodnik@pb.edu.pl

CHANCE FOR IMPLEMENTATION OF THE AHP METHOD IN TO THE PROCEDURE OF SELECTION OF THE OPTIMAL LOCALISATION OF THE WIND POWER PLANTS

SUMMARY: The paper proposed an instrument for supporting the choice of the optimal location for the selected investment. At the beginning was presented outline of stream MCDA (*multi-criteria decision analysis*) and main guidelines of AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Moreover, due to the subject matter, in the paper described information about development of wind energy in Poland. Theoretical considerations have been enriched an example, an attempt of implementation of AHP to the selected decision-making problem (the optimal location of wind power stations).

KEY WORDS: multi-criteria decision support, AHP (*Analytic Hierarchy Process*), wind energy

Wstęp

W dobie współczesnej cywilizacji, wielowymiarowa przestrzeń, stanowiąca niewątpliwie strukturę heterogeniczną, sukcesywnie wzbogacana jest o nowe ogniwa, nierzadko oryginalne, nieznanne, a tym samym budzące powszechne zainteresowanie.

Do stosunkowo nowych elementów polskiej przestrzeni można zaliczyć elektrownie wykorzystujące siłę wiatru, uznawaną obecnie za kluczowe źródło energii odnawialnej. Ze względu na dynamiczny rozwój farm wiatrowych w Polsce, a także ich wymagania technologiczne, istotne zadanie stanowi wybór optymalnej lokalizacji dla tego rodzaju inwestycji. Należy zaznaczyć, iż analiza poszczególnych wariantów lokalizacyjnych, jak również ostateczny wybór, powinien charakteryzować się spojrzeniem interdyscyplinarnym, uwzględniającym zarówno aspekt przyrodniczy (ochrona środowiska wraz z poszczególnymi komponentami), społeczny (uwzględnienie potrzeb obecnych, jak i przyszłych pokoleń), a także aspekt prawny (działanie zgodnie z literą prawa) oraz gospodarczy (uwzględnienie interesów poszczególnych uczestników), co wynika między innymi z konstytucyjnej zasady zrównoważonego rozwoju.

Poszukiwanie odpowiedniej lokalizacji, zarówno w odniesieniu do pojedynczej elektrowni, jak i zorganizowanej farmy wiatrowej, stanowi zatem zagadnienie wielokryterialne, do którego rozwiązania mogą posłużyć na przykład wybrane metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji.

W ramach niniejszego artykułu przedstawiono kolejno: narzędzie obliczeniowe (zarys metod MCDM oraz główne założenia metody AHP – *Analytic Hierarchy Process*), wybrany rodzaj inwestycji (elektrownie wiatrowe wraz z problematyką sporządzania raportów o oddziaływaniu danego przedsięwzięcia na środowisko), a także teoretyczny przykład (próbę implementacji metody AHP do wybranego problemu decyzyjnego).

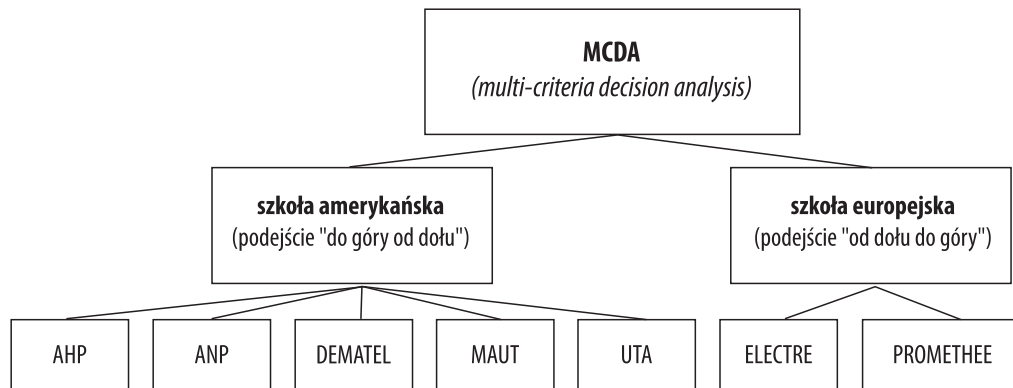
Metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji

Zgodnie z literaturą przedmiotu¹ można wymienić dwa zasadnicze nurty wielokryterialnego wspomaganie decyzji MCDM (*Multi-Criteria Decision Making*):

- wielokryterialną (wieloatrybutową) analizę decyzji MCDA (*Multi-Criteria Decision Analysis*) lub MADA (*Multi-Attribute Decision Analysis*);
- wielocelowe wspomaganie decyzji MODM (*Multi-Objective Decision Making*).

¹ M. Dytczak, *Wybrane metody rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych w budownictwie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2010, s. 35.

Rysunek 1
Przykładowa klasyfikacja metod z nurtu MCDA*



* Dokładniejszy podział metod można odnaleźć w pracy: M. Dytczak, op. cit., s. 48

Źródło: na podstawie: M. Dytczak, op. cit., s. 46-48.

Różnica pomiędzy powyżej wymienionymi nurtami MCDM sprowadza się do kwestii wariantów decyzyjnych², stanowiących kluczowe zagadnienie w świetle rozważanej tematyki. Metody MODM pozwalają na wyznaczenie poszczególnych wariantów decyzyjnych. Natomiast w ramach MCDA (MADA) dokonuje się jedynie oceny określonych już wcześniej potencjalnych wariantów³.

Ze względu na problematykę niniejszego artykułu (możliwość implementacji metody AHP do wybranego problemu decyzyjnego) szczególna uwaga została zwrócona na metody należące do pierwszego nurtu, czyli MCDA (MADA). Należy zaznaczyć, iż istnieją różnorodne klasyfikacje tych metod w zależności od przyjętego kryterium, przykładowo w pracy⁴, ze względu na sposób agregowania preferencji, dokonano podziału na 3 następujące grupy:

- metody agregacji preferencji (należące do tak zwanej amerykańskiej szkoły wieloatrybutowego wspomaganie decyzji);
- metody relacji przewyższania (należące do tak zwanej europejskiej szkoły wieloatrybutowego wspomaganie decyzji);
- metody pozostałe.

Uproszczona klasyfikacja nurtu MCDA, wraz z przykładowymi metodami, została przedstawiona na rysunku 1.

² Pojęcie wariantów i przedmiotów podejmowania decyzji zostało przedstawione między innymi w pracy: B. Roy, *Wielokryterialne wspomaganie decyzji*, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa 1990, s. 54-67.

³ M. Dytczak, *Wybrane...* op. cit., s. 35.

⁴ Ibidem, s. 46.

Metoda *Analytic Hierarchy Process*

Informacje ogólne

Metoda AHP (*Analytic Hierarchy Process*) została opracowana przez Thomasa L. Saaty'ego w latach siedemdziesiątych XX wieku⁵, zgodnie z przedstawioną klasyfikacją MCDA, należy do tak zwanej amerykańskiej szkoły wieloatrybutowego wspomaganie decyzji⁶. Począwszy od momentu opracowania aż do chwili obecnej, metoda AHP stanowi przedmiot nieustannego zainteresowania, zarówno w środowisku naukowym, jak również wśród różnorodnych przedsiębiorstw, władz oraz wielu innych instytucji⁷. Swoisty dowód zainteresowania, zarówno kwestią teoretyczną, jak i praktyczną metody AHP, mogą stanowić⁸:

- różnorodne prace dotyczące danej metody (artykuły, książki, materiały konferencyjne), publikowane na całym świecie, w tym również w Polsce⁹; kluczowe znaczenie w historii rozwoju metody odegrały dwa czasopisma - „European Journal of Operational Research” oraz „Computers and Operation Research”¹⁰;
- organizacja międzynarodowego sympozjum (ISAHP – *International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*); pierwsze spotkanie tego typu zostało zorganizowane w 1988 roku w Tianjin (Chiny); kolejne sympozja odbyły się między innymi w Pittsburghu (USA), Vancouver (Kanada), Kobe (Japonia) czy Bern (Szwajcaria)¹¹;
- liczne przykłady implementacji metody w wielu, często całkowicie odmiennych dziedzinach; na przykład w 1991 firma IBM zastosowała metodę AHP do zaprojektowania komputera AS 400, co zostało wówczas wyróżnione prestiżową nagrodą; siedem lat później British Airways użył AHP do wyboru dostawcy systemu rozrywki do samolotów, a w 1999 roku z sukcesem metodę AHP zastosował Ford Motor Company¹². Szereg innych przykładów można odnaleźć w licznych publikacjach prof. Saaty'ego, jak również w wielu pracach pozostałych autorów, zainteresowanych tematyką wielokryterialnego wspomaganie decyzji.

⁵ Ibidem, s. 63 za T. L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill, New York 1980.

⁶ Ibidem, s. 46.

⁷ W. Adamus, A. Gręda, *Wspomaganie decyzji wielokryterialnych w rozwiązywaniu wybranych problemów organizacyjnych i menedżerskich*, „Badania Operacyjne i Decyzje” 2005 nr 2, s. 12, www.ord.pwr.wroc.pl [30-05-2013].

⁸ Zob. Ibidem, s. 11-12; M. Dytczak, op. cit., s. 63-65.

⁹ M. Dytczak, op. cit., s. 64-65.

¹⁰ W. Adamus, A. Gręda, op. cit., s. 11.

¹¹ Ibidem.

¹² T. L. Saaty, *Decision making with the analytic hierarchy process*, „International Journal of Services Sciences” 2008 nr 1, s. 96-97, www.citesseerx.ist.psu.edu [22-11-2013].

Główne założenia metody

Na podstawie analizy literatury przedmiotu można wymienić podstawowe założenia wybranej metody. *Analytic Hierarchy Process*:

- skutecznie łączy wybrane założenia wywodzące się z dwóch, całkowicie odmiennych dziedzin nauki, czyli matematyki oraz psychologii¹³;
- opiera się na rachunku macierzowym¹⁴;
- obejmuje podejście wielokryterialne¹⁵;
- opiera się na trzech aksjomatach (odwrotności ocen, jednorodności oraz niezależności wartości elementów na danym poziomie od wartości elementów zlokalizowanych na poziomach niższych)¹⁶.

Procedura obliczeniowa

Ze względu na zastosowanie metody AHP, poniżej przedstawiono skrócony opis procedury obliczeniowej, z wyodrębnieniem poszczególnych etapów¹⁷.

Etap 1. Budowa modelu hierarchicznego. Na wstępie dokonuje się dekompozycji problemu decyzyjnego, wyodrębniając jego poszczególne elementy składowe. Na model hierarchiczny składają się kolejno (rozpoczynając od najwyższego poziomu): cel nadrzędny, następnie czynniki główne, czynniki cząstkowe oraz rozpatrywane warianty decyzyjne, które zlokalizowane są na najniższym poziomie struktury¹⁸. Przykładowy model hierarchiczny ilustruje rysunek 4.

Etap 2. Wyznaczenie oceny przez porównywanie parami oraz określenie preferencji: globalnych i lokalnych. Kluczową rolę na tym etapie odgrywa skala porównań Saaty'ego. Profesor zaproponował 9-stopniową skalę. Powyższy wybór wynika z twierdzenia, iż człowiek jest w stanie porównać jednocześnie jedynie 7 ± 2 obiektów. Teza ta została udowodniona badaniami z dziedziny psychologii oraz interpretacją twierdzenia Webera-Fechnera¹⁹. Warto dodać, iż prof. Saaty opracował 27 różnorodnych skal, jednakże największą popularność zdobyła

¹³ W. Adamus, P. Łasak, *Zastosowanie metody AHP do wyboru umiejscowienia nadzoru nad rynkiem finansowym*, „Bank i Kredyt” 2010 nr 41(4), s. 77, www.bankiikredyt.nbp.pl [30-05-2013].

¹⁴ S. Krężołek, *Metoda AHP (The Analytic Hierarchy Process) – struktury hierarchiczne*, w: *Badania operacyjne i systemowe wobec wyzwań XXI wieku. Metody i techniki analizy informacji i wspomaganie decyzji*, red. Z. Bubnicki, O. Hryniewicz, R. Kulikowski, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2002, s. II-55.

¹⁵ O. Downarowicz, i in., *Zastosowanie metody AHP do oceny i sterowania poziomem bezpieczeństwa złożonego obiektu technicznego*, w: *Wybrane metody ergonomii i nauki o eksploatacji*, red. O. Downarowicz, Wyd. Politechnika Gdańska, Gdańsk 2000, s. 1, www.zie.pg.gda.pl [30-05-2013].

¹⁶ W. Adamus, P. Łasak, op. cit., s. 78-79.

¹⁷ O. Downarowicz i in., op. cit., s. 3.

¹⁸ Ibidem.

¹⁹ Ibidem, s. 3-6; A. Dietrich, *Zastosowanie metody hierarchii analitycznej (AHP) do oceny poziomu bezpieczeństwa technicznego gazociągów*, „Nafta-Gaz” 2010 nr 12, s. 1129, www.inig.pl [22-11-2013].

Tabela 1
Fundamentalna skala Saaty'ego

Siła ważności	Definicja
1	Równorzędna ważność (<i>equal importance</i>)
2	Wartość pośrednia pomiędzy równorzędną a umiarkowaną ważnością (<i>weak or slight</i>)
3	Umiarkowana ważność (<i>moderate importance</i>)
4	Wartość pośrednia pomiędzy umiarkowaną a silną ważnością (<i>moderate plus</i>)
5	Silna ważność (<i>strong importance</i>)
6	Wartość pośrednia pomiędzy silną a bardzo silną ważnością (<i>strong plus</i>)
7	Bardzo silna ważność (<i>very strong or demonstrated importance</i>)
8	Wartość pośrednia pomiędzy bardzo silną a ekstremalną ważnością (<i>very, very strong</i>)
9	Ekstremalna ważność (<i>extreme importance</i>)
Odwrotności powyższych wartości	Jeśli element <i>i</i> ma jedną z powyższych niezerowych liczb wyznaczoną w wyniku porównania z elementem <i>j</i> , wówczas <i>j</i> ma odwrotną wartość, kiedy porównujemy go z elementem <i>i</i>
1.1-1.9	Jeśli elementy są bardzo bliskie.

Źródło: na podstawie: T. L. Saaty, op. cit., s. 86.

9-stopniowa skala²⁰ (tabela 1), która została zastosowana również w ramach niniejszego artykułu.

Z procedurą porównywania parami związane jest wyznaczenie preferencji: globalnych oraz lokalnych, polegające na określeniu wzajemnych priorytetów, zarówno w odniesieniu do kryteriów, jak i rozważanych wariantów. Zasadniczym elementem na tym etapie jest macierz porównań²¹.

Etap 3. Wyznaczenie ostatecznego rankingu wariantów decyzyjnych, co sprowadza się do opracowania rankingu rozpatrywanych wariantów decyzyjnych, uwzględniając ich udział w realizacji celu nadrzędnego, który stanowi najwyższy poziom utworzonej na wstępie struktury hierarchicznej²².

Warto zaznaczyć, iż w ramach procedury obliczeniowej metodą AHP istnieje możliwość dokonania swoistej oceny konsekwencji w porównywaniu parami. Do tego celu służą odpowiednie wielkości, czyli indeks niezgodności C.I., odzwierciedlający odchylenie od zgodności oraz współczynnik niezgodności C.R. Z powyższymi wielkościami bezpośrednio związana jest także tak zwana największa wartość własna macierzy λ_{max} oraz tak zwany losowy indeks niezgodności R.I.²³. Warto dodać, że w odniesieniu do powyższych wielkości zostały sformułowane przez twórcę metody następujące założenia:

- w sytuacji całkowitej zgodności porównań: $\lambda_{max} = n$, C.I. = 0, C.R. = 0 (gdzie *n* oznacza liczbę elementów w kwadratowej macierzy porównań)²⁴;

²⁰ W. Adamus, P. Łasak, op. cit., s. 78.

²¹ O. Downarowicz i in., op. cit., s. 3-6.

²² Ibidem, s. 3.

²³ W. Adamus, A. Gręda, op. cit., s. 19-20.

²⁴ Ibidem, s. 19.

- w przypadku macierzy (3×3), C.R. ≤ 5%;
- w przypadku macierzy (4×4), C.R. ≤ 8%;
- w przypadku macierzy o wielkości $n > 4$, C.R. ≤ 10%²⁵.

Wzory na obliczenie wymienionych wielkości zostały podane w przykładzie obliczeniowym.

Podsumowując główne wytyczne AHP można stwierdzić, iż ze względu na swą elastyczność oraz łatwość implementacji, metoda ta znalazła szerokie zastosowanie w wielu różnorodnych dziedzinach (między innymi w marketingu, medycynie, gospodarce, polityce²⁶).

W ramach niniejszego artykułu dokonano próby wykorzystania AHP do zagadnień związanych z energetyką wiatrową. Szczegółowy zakres prac dotyczył wyboru optymalnej lokalizacji zespołu elektrowni wiatrowych, stanowiących kluczowy etap prac inwestycyjnych, determinujących powodzenie realizacji całego przedsięwzięcia.

Rozwój elektrowni wiatrowych w Polsce

Zgodnie z zapisami *Polityki energetycznej Polski do 2030 roku*²⁷, rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE), w tym biopaliw, stanowi obecnie kluczowy kierunek krajowej polityki energetycznej²⁸. Wśród priorytetowych celów związanych z rozwojem OZE (zgodnie z zobowiązaniami ekologicznymi UE) wymienia się na pierwszym miejscu „wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w finalnym zużyciu energii co najmniej do poziomu 15% w 2020 roku oraz dalszy wzrost tego wskaźnika w latach następnych”²⁹.

Tematyka rozwoju elektrowni wykorzystujących alternatywne źródła energii, w tym energię wiatru, stanowi więc zagadnienie istotne, zarówno w świetle polskich, jak i międzynarodowych regulacji prawnych³⁰.

²⁵ Ibidem za T. L. Saaty, *The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Intangibles and for Decision Making*, 67 page chapter in *Multiple Criteria Decision Analysis: The State of the Art Surveys*, red. J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2004.

²⁶ M. Dytczak, op. cit., s. 63-64.

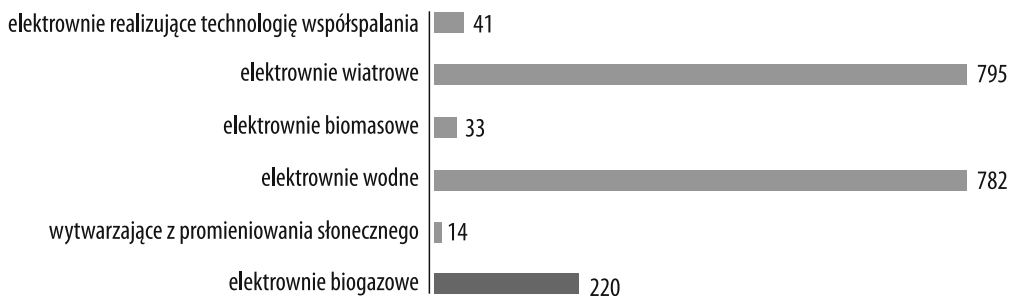
²⁷ *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*, załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10 listopada 2009 r., Warszawa 2009.

²⁸ Pozostałe kierunki polskiej polityki energetycznej, zgodnie z *Polityką energetyczną Polski do 2030 r.*, op. cit., s. 4-5, to: „poprawa efektywności energetycznej, wzrost bezpieczeństwa dostaw paliw i energii, dywersyfikacja struktury wytwarzania energii elektrycznej poprzez wprowadzenie energetyki jądrowej (...), rozwój konkurencyjnych rynków paliw i energii, ograniczenie oddziaływania energetyki na środowisko”.

²⁹ *Polityka energetyczna Polski do 2030 r.*, op. cit., s. 19.

³⁰ Ujęcie prawne analizowanej tematyki wychodzi poza ramy niniejszego artykułu. Opis właściwych unormowań prawnych można odnaleźć w wielu różnorodnych publikacjach, dotyczących zarówno problematyki OZE, jak również obowiązujących rozwiązań prawnych.

Rysunek 2
Liczba oraz rodzaj funkcjonujących w Polsce elektrowni wykorzystujących odnawialne źródła energii
[stan na 30 września 2013 roku]



Źródło: na podstawie informacji opublikowanych na stronie internetowej Urzędu Regulacji Energetyki. Mapa odnawialnych źródeł energii na podstawie udzielonych przez Prezesa URE koncesji oraz wpisów do rejestru prowadzonego przez Prezesa ARR, www.ure.gov.pl [22-11-2013].

Powołując się na informacje opublikowane na stronie internetowej Urzędu Regulacji Energetyki,³¹ w Polsce funkcjonuje 1885 elektrowni (stan na 30 września 2013 roku), wykorzystujących różnorodne, alternatywne źródła energii. Największy odsetek stanowią, co ważne, elektrownie wiatrowe (795) oraz elektrownie wodne (782)³². Rodzaj oraz liczbę poszczególnych elektrowni przedstawia rysunek 2.

Pierwsze w Polsce elektrownie wiatrowe zostały uruchomione w 1991 roku w województwie pomorskim, w miejscowości Lisewo (o mocy 150 kW), a następnie w miejscowości Swarzewo (o mocy 95 kW)³³. Począwszy od lat dziewięćdziesiątych XX wieku liczba instalacji tego typu w Polsce systematycznie wzrasta³⁴. Obecnie (zgodnie z informacjami opublikowanymi na stronie internetowej Urzędu Regulacji Energetyki) w Polsce funkcjonuje 795 elektrowni wiatrowych. Największa liczba pracuje w województwie kujawsko-pomorskim (216), a najmniej zasobne w elektrownie tego typu są odpowiednio województwa: lubuskie (7), opolskie (6) oraz lubelskie (5), co jest zdeterminowane w znacznym stopniu uwarunkowaniami klimatycznymi. Natomiast pod względem mocy elektrowni wiatrowych (wyrażonej w MW), zdecydowanie dominuje województwo zachod-

³¹ W postaci mapy odnawialnych źródeł energii na podstawie udzielonych przez Prezesa URE koncesji oraz wpisów do rejestru prowadzonego przez Prezesa ARR.

³² Mapa odnawialnych źródeł energii na podstawie udzielonych przez Prezesa URE koncesji oraz wpisów do rejestru prowadzonego przez Prezesa ARR, www.ure.gov.pl [22-11-2013].

³³ T. Boczar, *Energetyka wiatrowa. Aktualne możliwości wykorzystania*, Wydawnictwo Pomiaru Automatyka Kontrola, Warszawa 2008, s. 66; F. Wolańczyk, *Elektrownie wiatrowe*, Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe”, Krosno 2009, s. 109.

³⁴ Zob. T. Boczar, op. cit., s. 66-68.

Tabela 2

Liczba oraz moc elektrowni wiatrowych w poszczególnych województwach w Polsce
[stan na 30 września 2013 roku]

Województwo	Liczba	Moc [MW]
Dolnośląskie	9	122,515
Kujawsko-pomorskie	216	297,394
Lubelskie	5	2,150
Lubuskie	7	56,600
Łódzkie	168	293,594
Małopolskie	11	2,969
Mazowieckie	63	151,790
Opolskie	6	92,149
Podkarpackie	24	82,184
Podlaskie	20	122,700
Pomorskie	35	332,280
Śląskie	16	11,550
Świętokrzyskie	14	6,066
Warmińsko-mazurskie	24	213,075
Wielkopolskie	123	369,680
Zachodniopomorskie	54	922,896

Źródło: na podstawie informacji opublikowanych na stronie internetowej Urzędu Regulacji Energetyki. Mapa odnawialnych źródeł energii na podstawie udzielonych przez Prezesa URE koncesji oraz wpisów do rejestru prowadzonego przez Prezesa ARR, www.ure.gov.pl [22-11-2013].

niopomorskie, zgodnie z informacjami na dzień 30 września 2013 roku w jego obrębie pracują 54 elektrownie wiatrowe o sumarycznej mocy 922,896 MW³⁵.

Szczegółowe informacje, dotyczące liczby oraz mocy elektrowni wiatrowych pracujących w poszczególnych województwach przedstawiono w tabeli 2.

Elektrownie wiatrowe w świetle przepisów dotyczących oceny oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko

Klasyfikacja elektrowni wiatrowych w ujęciu wybranych przepisów prawnych³⁶

Z uwagi na możliwość oddziaływania na środowisko oraz wymagania technologiczne, energetyka wiatrowa stanowi przedmiot wielu regulacji prawnych, zarówno rangi międzynarodowej, jak i krajowej.

³⁵ Mapa odnawialnych źródeł energii na podstawie udzielonych przez Prezesa URE koncesji oraz wpisów do rejestru prowadzonego przez Prezesa ARR, www.ure.gov.pl [22-11-2013].

³⁶ Zob. M. Stryjecki, K. Mielniczuk, *Wytyczne w zakresie prognozowania oddziaływań na środowisko farm wiatrowych*, Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 2011, s. 46, www.gdos.gov.pl [22-11-2013].

Zgodnie z wybranymi przepisami prawnymi regulującymi ochronę środowiska (art. 59 ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko³⁷ wraz z aktami wykonawczymi), farmy wiatrowe (między innymi w zależności od parametrów technologicznych czy lokalizacji) zalicza się odpowiednio do przedsięwzięć:

- 1) mogących zawsze znacząco oddziaływać na środowisko (zgodnie z § 2 ust. 1 pkt 5 rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko³⁸ dotyczy to instalacji, które do wytwarzania energii elektrycznej wykorzystują energię wiatru, o łącznej mocy nominalnej elektrowni nie mniejszej niż 100 MW oraz lokalizowane na obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej);
- 2) mogących potencjalnie znacząco oddziaływać na środowisko (zgodnie z § 3 ust. 1 pkt 6 rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko³⁹ dotyczy to z kolei instalacji innych niż zostały określone w poprzedniej grupie, czyli lokalizowanych na obszarach prawnych form ochrony przyrody, zgodnie z odpowiednimi przepisami ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody⁴⁰ oraz elektrownie o wysokości nie niższej niż 30 m);
- 3) mogących znacząco oddziaływać na obszary NATURA 2000, które nie zostały zakwalifikowane do dwóch poprzednich grup⁴¹; szczegółowe zasady reguluje art. 59 ust. 2 ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko⁴².

Należy dodać, iż powyższa klasyfikacja jest związana z procedurą oceny oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko⁴³, której przeprowadzenie jest wymagane między innymi w ramach postępowania w sprawie wydania tak zwanych decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach⁴⁴.

Powołując się na informacje przedstawione w *Wytocznych w zakresie prognozowania oddziaływań na środowisko farm wiatrowych*⁴⁵, obecnie najczęstszym w Polsce postępowaniem w sprawie wydania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach dla farm wiatrowych jest postępowanie dotyczące farm należących do

³⁷ Dz. U. 2008 nr 199 poz. 1227 ze zm.

³⁸ Dz. U. 2010 nr 213 poz. 1397.

³⁹ Dz. U. 2010 nr 213 poz. 1397.

⁴⁰ Dz. U. 2009 nr 151 poz. 1220 ze zm.

⁴¹ M. Stryjecki, K. Mielniczuk, op. cit., s. 46.

⁴² Dz. U. 2008 nr 199 poz. 1227 ze zm.

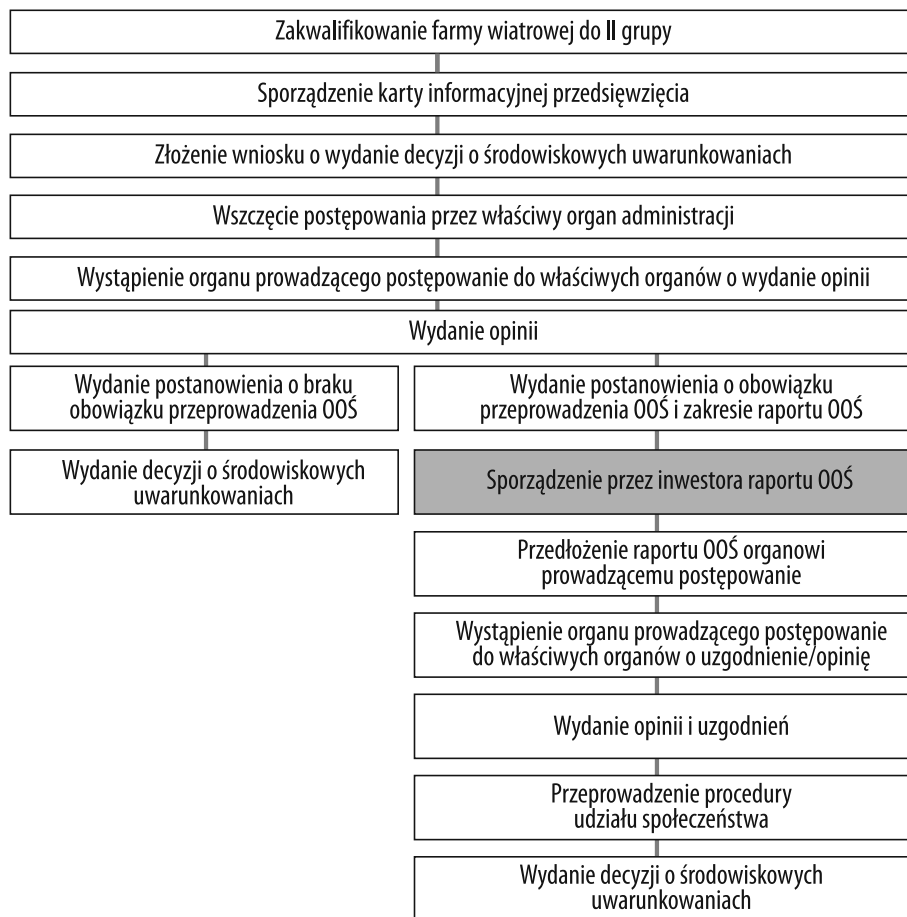
⁴³ Art. 59 ust. 1 ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U. 2008 Nr 199 poz. 1227 ze zm.).

⁴⁴ Art. 61 ust. 1 pkt.1 ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U. 2008 nr 199 poz. 1227, ze zm.).

⁴⁵ M. Stryjecki, K. Mielniczuk, op. cit., s. 55.

Rysunek 3

Procedura wydania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach dla farm wiatrowych, zakwalifikowanych do drugiej grupy przedsięwzięć w świetle obowiązujących przepisów



Źródło: na podstawie: M. Stryjecki, K. Mielniczuk, op. cit., s. 55.

drugiej grupy przedsięwzięć (czyli mogących potencjalnie znacząco oddziaływać na środowisko). Skrócony opis powyższej procedury przedstawia rysunek 3.

Raport o oddziaływaniu na środowisko

Zasadniczym dokumentem sporządzanym w ramach postępowania w sprawie wydania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach jest raport o oddziaływaniu danego przedsięwzięcia (w tym przypadku elektrowni wiatrowych) na środowisko. Za jego kluczową funkcję uznaje się identyfikację występowania

potencjalnych oddziaływań na poszczególne komponenty środowiskowe, na wszystkich etapach inwestycji (czyli planowania, budowy, eksploatacji oraz likwidacji) w odniesieniu do poszczególnych wariantów⁴⁶. Ponadto zgodnie z *Wytycznymi w zakresie prognozowania oddziaływań na środowisko farm wiatrowych*⁴⁷ raport powinien zawierać opis zastosowanych metodologii, stanowiących podstawę przeprowadzonych analiz (w tym przykładowo analiz lokalizacyjnych), a także kryteria, według których dokonano ostatecznych wniosków.

Szczegółowy zakres raportu regulowany jest przez art. 66 ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko⁴⁸. Zgodnie z obowiązującymi przepisami, raport powinien zawierać szereg różnorodnych elementów, między innymi opis analizowanych wariantów (proponowanego przez wnioskodawcę, racjonalnego wariantu alternatywnego oraz wariantu najkorzystniejszego z punktu widzenia środowiska wraz z uzasadnieniem ich wyboru)⁴⁹. Warto w tym miejscu dodać, iż analiza poszczególnych wariantów lokalizacyjnych inwestycji dokonana przy użyciu metody AHP może stanowić doskonałe uzupełnienie raportu, potwierdzające wielokryterialne ujęcie przez inwestora danego problemu decyzyjnego.

Należy ponadto zaznaczyć, iż metoda AHP jest stosowana w raportach o oddziaływaniu na środowisko infrastruktury komunikacyjnej, co zostało zarekomendowane w *Podręczniku dobrych praktyk wykonywania opracowań środowiskowych dla dróg krajowych*⁵⁰.

Zastosowanie metody AHP do wyboru optymalnej lokalizacji zespołu elektrowni wiatrowych – przykład teoretyczny

Pierwszy etap, niezależnie od wybranej metody, stanowi analiza różnorodnych uwarunkowań związanych z danym procesem inwestycyjnym oraz uczestniczącymi w nim podmiotami, mająca na celu wskazanie odpowiednich wariantów oraz czynników decyzyjnych. Katalog przykładowych kryteriów oraz subkryteriów, determinujących realizację zespołu elektrowni wiatrowych, przedstawiono w tabeli 3. Należy zaznaczyć, iż wymienione czynniki mają jedynie charakter przykładowy, opracowany na podstawie wybranych publikacji tematycznych.

⁴⁶ Ibidem, s. 77.

⁴⁷ Ibidem.

⁴⁸ (Dz. U. 2008 nr 199 poz. 1227 ze zm.).

⁴⁹ Art. 66 ust. 1 pkt 5 ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U. 2008 nr 199 poz. 1227 ze zm.).

⁵⁰ *Podręcznik dobrych praktyk wykonywania opracowań środowiskowych dla dróg krajowych*, red. J. Bohatkiewicz, Biuro Ekspertyz i Projektów Budownictwa Komunikacyjnego „EKKOM” Sp. z o.o., na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, Kraków 2008, s. 160-162 oraz Z7.1-Z7.8, www.siskom.waw.pl [25-11-2013].

W sytuacji rzeczywistej wybór poszczególnych czynników powinien zostać uzasadniony wynikami właściwych analiz (w tym obowiązujących regulacji prawnych) dokonanych przez grupę ekspercką. Warto zaznaczyć, iż dokładność prac analitycznych przekłada się na wiarygodność wyników uzyskanych metodą AHP.

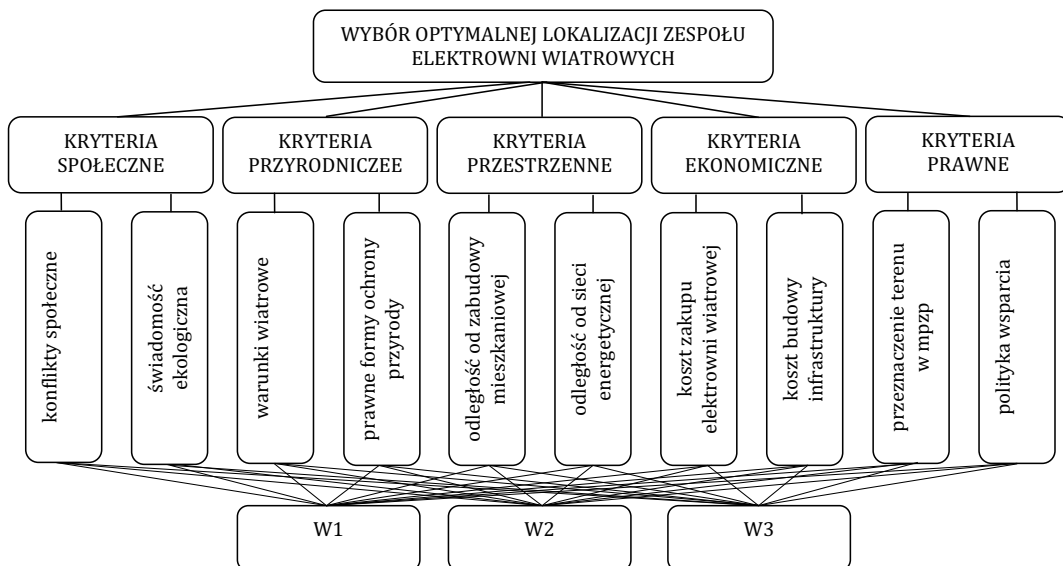
W ramach niniejszego artykułu, ze względu na teoretyczny charakter problemu decyzyjnego, wskazano jedynie wybrane elementy algorytmu metody AHP (budowa modelu hierarchicznego oraz analiza na poziomie kryteriów, czyli dokonanie porównań parami poszczególnych kryteriów wraz z oceną spójności tych porównań, a także wyznaczenie wag rozpatrywanych kryteriów).

Poniżej przedstawiono uproszczony algorytm obliczeń:

- I. **Budowa modelu hierarchicznego** (rysunek 4). Przedmiotowy problem decyzyjny został rozłożony na cztery następujące poziomy: cel nadrzędny (wybór optymalnej lokalizacji zespołu elektrowni wiatrowych), kryteria/czynniki lokalizacyjne (wyróżniono pięć następujących grup: społeczne, przyrodnicze, przestrzenne, ekonomiczne oraz prawne), subkryteria (wyróżniono dziesięć subkryteriów, które mają jedynie charakter przykładowy), warianty decyzyjne (trzy teoretyczne warianty lokalizacyjne).
- II. **Porównanie parami kryteriów oraz wyznaczenie wag**

Rysunek 4

Model hierarchiczny (dekompozycja problemu decyzyjnego)



Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3

Wykaz przykładowych kryteriów oraz subkryteriów uwzględnianych przy wyborze lokalizacji zespołu elektrowni wiatrowych

Kryteria	Opis	Subkryteria
Spoleczne	Budowa elektrowni wiatrowych budzi powszechne zainteresowanie społeczeństwa. Nierzadko inwestycje tego typu (między innymi ze względu na możliwość zakłócenia klimatu akustycznego, czy też istotne zmiany dotychczasowych walorów krajobrazowych) napotykają sprzeciw wśród lokalnych mieszkańców, zgodnie z zasadą NIMBY (<i>Not In My Back Yard</i>).	<ul style="list-style-type: none"> • konflikty społeczne, • świadomość ekologiczna.
Przyrodnicze	Kryterium przyrodnicze można rozpatrywać w dwojaki sposób. Z jednej strony energetyka wiatrowa jest zdefiniowana warunkami przyrodniczymi (część z nich została wymieniona jako subkryteria), z drugiej strony, może oddziaływać na poszczególne komponenty środowiska.	<ul style="list-style-type: none"> • warunki wiatrowe, • szorstkość podłoża, • rzeźba terenu, • występowanie prawnych form ochrony przyrody, • występowanie innych cennych przyrodniczo terenów, • ilość gatunków objętych prawną formą ochrony (dotyczy to szczególnie ptaków oraz nietoperzy).
Przestrzenne	Kluczowe zagadnienie stanowi odległość elektrowni wiatrowych od innych ważnych elementów zagospodarowania przestrzennego.	<ul style="list-style-type: none"> • odległość od sieci energetycznej, • odległość od zabudowy mieszkaniowej, • odległość od obszarów cennych przyrodniczo, • odległość od prawnych form ochrony przyrody, • odległość od infrastruktury komunikacyjnej, • odległość od infrastruktury technicznej, • odległość od innych obiektów, stanowiących potencjalne źródło zakłóceń klimatu akustycznego, • odległość od dominant przestrzennych, • odległość od innych, kluczowych w danej skali, elementów zagospodarowania przestrzennego.
Ekonomiczne	Kryterium ekonomiczne odgrywa istotną rolę w realizacji każdego przedsięwzięcia inwestycyjnego. Do kryteriów ekonomicznych zalicza się zarówno nakłady inwestycyjne, jak również prognozowane zyski.	<ul style="list-style-type: none"> • koszt zakupu elektrowni wiatrowej, • koszt transportu, • koszt pozyskania terenu, • koszt badań warunków wiatrowych, • koszt sporządzenia projektów technicznych, • koszt wykonania badań geologicznych, • koszt wykonania badań ekologicznych, • koszt budowy niezbędnej infrastruktury komunikacyjnej (wewnętrznej, zewnętrznej), • koszt budowy niezbędnej infrastruktury technicznej, • koszty eksploatacyjne (między innymi koszt obsługi, remontów, opłaty ubezpieczeniowe), • stopa zwrotu.
Prawne	Tematyka odnawialnych źródeł energii stanowi przedmiot wielu regulacji prawnych (zarówno rangi międzynarodowej, jak i krajowej).	<ul style="list-style-type: none"> • przeznaczenie terenu w opracowaniach planistycznych (w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego oraz studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego), • polityka wsparcia.

Źródło: na podstawie: M. J. Banak, *Lokalizacja elektrowni wiatrowych – uwarunkowania środowiskowe i prawne*, „Człowiek i Środowisko” 2010 nr 3-4 (34), s. 117-128, www.igpim.pl [29-05-2013]; T. Boczar, *Wykorzystanie energii wiatru*, Wyd. PAK, Warszawa 2010, s. 63; Z. Lubośny, *Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym*, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa 2009, s. 20-30; M. Stryjecki, K. Mielniczuk, op. cit.; F. Wolańczyk, op. cit., s. 99-117.

Do porównania parami poszczególnych kryteriów zastosowano fundamentalną 9-stopniową skalę Saaty'ego (tabela 1). Wyniki kolejnych porównań parami przedstawiono w postaci kwadratowej macierzy porównań. Natomiast wagi rozpatrywanych kryteriów zostały wyznaczone za pomocą odpowiednich obliczeń wykonanych w arkuszu kalkulacyjnym Microsoft Excel (tabela 4).

Tabela 4

Macierz porównań parami kryteriów wraz z wyznaczonymi wagami

Kryteria	Społeczne	Przyrodnicze	Przestrzenne	Ekonomiczne	Prawne	Wagi
Społeczne	1	1	2	1	2	0,250
Przyrodnicze	1	1	2	1	2	0,250
Przestrzenne	0,50	0,50	1	0,50	1	0,125
Ekonomiczne	1	1	2	1	2	0,250
Prawne	0,50	0,50	1	0,50	1	0,125

Źródło: opracowanie własne.

III. Ocena konsekwencji w porównywaniu parami kryteriów

W odniesieniu do poziomu kryteriów przeprowadzono również ocenę spójności macierzy porównań. Na podstawie uzyskanych wyników (tabela 5) można stwierdzić, iż została zachowana całkowita konsekwencja w wyrażeniu opinii.

Tabela 5

Ocena spójności macierzy porównań kryteriów

Wskaźnik	Wzór	Wyniki obliczeń
Indeks niezgodności C.I.	$C.I. = \lambda_{max} - n/n - 1$	C.I. = 0,00
Współczynnik niezgodności C.R.	$C.R. = 100C.I./R.I.$	C.R. = 0,00
Losowy indeks niezgodności R.I.	Wskaźnik określony przez Saaty'ego	w przypadku $n = 5$, R.I. = 1,11

Źródło: opracowanie własne na podstawie: W. Adamus, A. Gręda, op. cit.

Należy podkreślić, iż w sytuacji praktycznego zastosowania metody AHP, konieczne jest dokonanie stosownych porównań oraz obliczeń na poziomach niższego rzędu opracowanego modelu hierarchicznego (między innymi dokonanie serii porównań parami subkryteriów w świetle kolejnych kryteriów, jak również porównanie parami poszczególnych wariantów w ujęciu elementów zlokalizowanych na wyższym poziomie, czyli subkryteriów). Wykonanie wszystkich etapów pozwoli na wyznaczenie ostatecznego rankingu wariantów, a tym samym wskazanie właściwej lokalizacji dla danego zespołu elektrowni wiatrowych.

Podsumowanie

Na podstawie przeglądu wybranych pozycji literatury przedmiotu można sformułować następujące wnioski:

- realizacja zespołu elektrowni wiatrowych stanowi przedsięwzięcie złożone, wymagające dokonania wielu różnorodnych procedur oraz analiz;
- wśród kluczowych etapów należy wymienić wybór optymalnej lokalizacji inwestycji, zdeterminowany wieloma czynnikami (społecznymi, ekonomicznymi, przyrodniczymi), wykazujących zarówno charakter ilościowy, jak i jakościowy;
- *Analytic Hierarchy Process* metoda z nurtu MCDA, ze względu na swą elastyczność oraz łatwość implementacji, może stanowić doskonałe wsparcie prac inwestorskich, zarówno na poziomie analiz wstępnych, jak również na etapie sporządzania raportu o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko; algorytm obliczeniowy AHP wraz z uzyskanymi wynikami może posłużyć między innymi jako uzasadnienie proponowanego przez inwestora wariantu;
- przedstawiona próba implementacji AHP do wyboru optymalnej lokalizacji ma jedynie charakter poglądowy, mający na celu ukazanie możliwości wdrożenia metody do wybranego problemu decyzyjnego;
- w przypadku praktycznego wykorzystania metody, procedura obliczeniowa powinna zostać poprzedzona wnikliwą analizą indywidualnych uwarunkowań danego przedsięwzięcia inwestycyjnego, natomiast poszczególne kroki (między innymi porównywanie parami przy użyciu odpowiedniej skali) powinny stanowić wynik prac ekspertów poszczególnych dziedzin (przyrodników, ekonomistów, socjologów).

Artykuł wykonano w ramach pracy własnej W/WBiŚ/6/2013 „Możliwość implementacji metod MCDA do wybranych zagadnień z zakresu gospodarki przestrzennej”.