

Application of AHP Method for Comparing the Criteria Used in Locating Wind Farms

Author

Alicja Stoltmann

Keywords

Analytic Hierarchy Process, investment process in energy sector

Abstract

The article presents a description and comparison of criteria used for choosing the location of a wind farm. The criteria include measurements of wind kinetic energy on a given location, location of wind turbines, location of the transmission line which is used for power transfer from a wind farm to a substation, location of local infrastructure and a grid connection related with technical requirements and project environment.

In order to compare the above mentioned criteria, the AHP (Analytic Hierarchy Process) method was used, with a 1 to 9 point scale. As far as matching preferences with criteria is concerned, it embraces issues of obtaining decisions and permissions. The main objective of the article is to create a ranking of criteria in their correlation to probability of project success. The article presents the introduction of comparative analysis of a few planned projects, with regard to the time needed to obtain construction permit.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2016313

Introduction

The National Electricity System requires modernization in terms of overexploit coal power plants units as well as implementation of the provisions of the European Union Directive [1] which makes the Member States impelled to develop the renewable energy sector. Wind energy is one of the renewable energy sources which is converted into electrical power by means of wind turbines without pollutant emissions. The dynamic development of wind energy can contribute to the fulfilment of obligations arising from the climate and energy package.

In the analysis the wind farm investment process includes the time from the preparatory work of building a wind farm to the moment of obtaining a construction permit. Investment process is divided into the nine main issues, and these are as follows: wind conditions measurements, local zoning plans, environmental decision, development rights with the aim to build transmission line and technical requirements for power grid connection. There are also: local zoning plans, environmental decision, development rights with the aim to build wind farm and the local community in the project environment. Multiple issues in question undoubtedly spell difficulties to complete an investment plan in a short period of time.

Description of the AHP method

The AHP method was development by T. L. Saaty [2]. It is one of the multi-criteria decision making technique and is used to solve complex problems in various areas for example in political

science, sociology and management process to evaluate multiple types of projects or in complex technical-economic issues. Due to combining the concepts of mathematics and psychology it is also one of the fastest developing as well as the most famous methods in the world. One of the advantages of AHP is pairwise comparisons of selected elements and attributing them to a scale. Each preference matches a proper number in T.L. Saaty's fundamental scale shown in Tab. 1. Assigning preferences to the

Intensity of importance on an absolute scale	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two activities contribute equally to the objective
3	Moderate importance of one over another	Experience and judgment strongly favour one activity over another
5	Essential of strong importance	Experience and judgment strongly favour one activity over another
7	Very strong importance	An activity is strongly favoured and its dominance demonstrated in practice
9	Extreme importance	The evidence favouring one activity over another is of the highest possible order of affirmation
2,4,6,8	Intermediate values between the two adjacent judgments	When compromise is needed
Reciprocals (1/3, ..., 1/9)	If activity <i>i</i> has one of the above numbers assigned to it when compared with activity <i>j</i> , then <i>j</i> has the reciprocal value when compared with <i>i</i>	

Tab. 1. The fundamental scale [2]

selected elements is subjective and assessed by an expert, which increases the substantive correctness of the results. Pairwise comparisons of selected elements allow simultaneous ordering them in terms of quality (on the order of one criterion lead over the other) and quantity (it indicates by how much one criterion is more important than the other).

Comparison of criteria in the AHP method consists of two steps:

1. Arranging the factors in hierarchic structure descending from on overall goal to criteria and subcriteria in successive levels.
2. Giving a fundamental scale of use in making the comparison of criteria and subcriteria, then calculating the relative dominance of factors. Choosing the most essential criterion having the greatest impact on the achievement of the overall goal.

To make pair comparison of the selected criterions it is essential to put them in the diagonal matrix type ($n \times n$). The comparison is made by identifying the impact of the element on the left side of the matrix to the elements at the top of the matrix. Below the main diagonal there are the inverse of the pairwise comparisons, the formula of matrix A :

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Due to the inverse of the pairwise comparisons, the i -th row is the inverse of the i -th column, so there is a relation:

$$A\mathbf{w} = n\mathbf{w} \quad (2)$$

where:

\mathbf{w} – vector of weights w_1, w_2, \dots, w_n

Elements of the vector of weights \mathbf{w} are priorities vector of the various criteria because of the overall goal:

$$\mathbf{w} = \sum_{j=1}^n w_j a_{ij} \quad (3)$$

One of the most important sizes designated in the method of AHP is the largest eigenvalue of the matrix, and is one measure of the compliance of comparisons reflecting the proportionality of the preferences:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{w_i} \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad (4)$$

A is consistent if and only if $\lambda_{max} = n$ [3].

The second factor necessary to obtain the AHP method is the CI (Consistency Index). It is the negative average of the other roots of the characteristic polynomial of A :

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

The last factor is CR (Consistency Ratio). If the ratio of CI is significantly small, the estimate of \mathbf{w} can be accepted. CR is determined by the formula:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

where:

RI – Random Index [4],[5]

Criteria description

In order to compare the evaluation criteria of construction localization of wind farm there are main criteria further subdivided into the subcriteria. The main criteria includes: measurements of wind kinetic energy, environmental decision, local zoning plans and development rights with the aim to build a transmission line as well as a wind farm, technical requirements for power grid connection and local community in the project environment.

Evaluating a particular development localization of the wind farm, the area must be assessed in terms of the ability to utilize wind energy. Therefore, the wind is to be measured by means of mounting measurement devices of kinetic energy on a measuring mast. The mast is equipped with speed sensors and direction sensors on a different height. A significant difference between height measurement and the height of the particular wind turbine may result in incorrect evaluation of electric energy production. The wind measurements are usually carried out within a year. It is advisable to carry out measurements for a longer period of time in the case when more authority data is needed (usually up to 5 years).

Electric power produced by wind farm is transmitted by means of electricity line connected with power grid. Hence zoning plans, an environmental decision and development rights to build transmission line are to be taken into account.

In the event of electric line not being included in local zoning plans, an application to change local zoning plans or to obtain permission on the location of public investment must be submitted. It is undoubtedly a time consuming as well as multitasking process which makes the investment plan take much time. Technology of construction and voltage electricity line with its length has a considerable influence on the duration of obtaining the decisions in question. In some cases a particular wind farm is located farm from the nearest substation and the electric line goes through a number of cadastral parcels as well as through the areas of various destinations. It, of course inhibits the investment process of an electric line. The reason is rooted in obtaining permission from cadastral parcel owners or changing the destination of particular areas.

Wind farm location is to be also included in local zoning plans otherwise it must be changed. In case when there are no local zoning plans of a wind farm included urban planning are should be enforced.

Obtaining an authoritative environmental decision for wind farm construction is also complicated and multitasking process due to the amount of environmental monitoring and reports which should be performed. The accurate analysis of the project environment specifying the areas preserved for their natural and landscape assets or acoustically protected areas located in the nearest surroundings allows one to minimize the risk of obtaining the environmental decision. One of the most crucial documents needed to receive environmental report on its conditions, ought

to be consulted with the Regional Director for Environmental and the State Sanitary Inspector. As for the environmental report, the investor is obliged to prepare environmental monitoring, which without doubt, must often be performed at specific times of the year (for instance during periods of bird migration). In the effect, a particular wind farm cannot receive the environmental decision or obtain a construction permit at a certain period of the year, what reduces the profitability of investment. The procedure of obtaining the decision also involves public

participation in the process of its issuance. First and foremost, an appropriate information and publicity actions may considerably minimize the risk of social protests associated with the construction of the wind turbines.

In the planning phase of a wind farm construction the investor secures development rights so that after obtaining all the necessary permits and the decision he could start the construction of a wind farm along with the associated infrastructure. The preferred solution is to construct a number of wind turbines in

A	Measurements of wind kinetic energy		F	Local zoning plans – wind farm area	
	A1	Completeness of the measurements		F1	Completeness of the local zoning plans of a wind farm
	A2	Period of measurements		F2	The status of the local zoning plans of a wind farm
	A3	The difference between height measurement and the height of the particular wind turbine		F3	Obligation to change the destination of particular areas
B	Local zoning plans – electric line		G	Environmental decision – wind farm area	
	B1	Technology of construction		G1	The wind farm area located in the areas preserved for their natural and landscape assets
	B2	Length of electricity line		G2	The areas preserved for their natural and landscape assets in the nearest proximity to wind farm area
	B3	Voltage of electricity line		G3	The consultation with the Regional Director for Environmental and the State Sanitary Inspector about environmental report
	B4	Number of decisions to obtain		G4	Environmental monitoring preparation
	B5	Obligation to change the destination of particular areas		G5	Threats resulting from local environmental conditions, for instance area of bird migration
C	Environmental decision – electric line			G6	Wind farm area located at a distance exceeding 200 m from the forest, plantings and fish ponds
	C1	Electric line route runs through the areas preserved for their natural and landscape assets		G7	The acoustically protected areas located in the safe distance (700–800 m)
	C2	Environmental report preparation		G8	Social protests associated with the construction of the wind turbines
	C3	Environmental monitoring preparation	H	Development rights – wind farm area	
	C4	The consultation with the Regional Director for Environmental and the State Sanitary Inspector regarding environmental report		H1	Development rights include associated infrastructure
	C5	Social protests associated with the construction of the electric line		H2	The cost of obtaining development rights
D	Development rights – electric line			H3	Annual cost of development rights after wind farm construction
	D1	Length of electricity line		H4	Negotiations with the cadastral parcel owners about wind farm construction
	D2	Voltage of electricity line		H5	Obtaining pre-permission from cadastral parcel owners
	D3	Technology of construction		H6	Quantity of wind turbines per one cadastral parcel
	D4	The cost of obtaining development rights	I	Local community in the project environment	
	D5	Electric line route runs through the forest		I1	The support of the mayor of the commune/city for wind farm project
	D6	The number of cadastral parcel placed on the electric line route		I2	The support of the commune/city council for wind farm project
	D7	Negotiations with the cadastral parcel owners about electric line location		I3	The support of the local community for wind farm project
	D8	Obtaining pre-permission from cadastral parcel owners		I4	Promotional measures for wind farm project
E	Issuing terms of connection to the transmission grid				
	E1	Wind farm location included in local zoning plans			
	E2	Development rights with the aim to build wind farm			
	E3	Transmission grid enabling wind farm to connect to the grid			
	E4	Other entities applying for issuing terms of connection to the transmission grid in the nearest connection point			

Tab. 2. A list of the main criteria and subcriteria

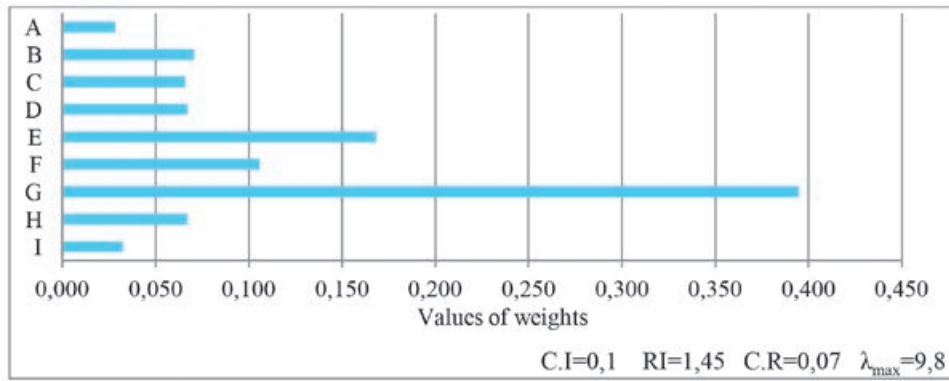


Fig. 1. The result of pairwise comparisons of the main criteria

a cadastral parcel witch belongs to a favourable to invest owner. It is necessary to conclude an agreement with the operator of transmission grid to connect the wind farm to the transmission grid so that the produced electricity could reach the recipient. The first step to conclude an agreement is to achieve issuing terms of connection to the transmission grid. In order to get these, the investor must either prove a wind farm location being included in local zoning plans or he must submit development rights with the aim to build a particular wind farm. If the transmission grid enables to connect wind farm to the grid and if another entity is not applying for issuing terms of connection to the transmission grid in the nearest connection point, there is a chance that the agreement will be concluded.

Hierarchic structure model

The problem of decision making in the method of AHP is presented in a hierarchical structure of all the main criteria and subcriteria. Subcriteria are comparable in pairs with regard to main criteria. These criteria have an impact on the overall goal, which is located at the head of the hierarchy and include all the elements identified by the group of experts.

For the question example, the hierarchical structure consists of:

- an overall goal: impact on time to obtain a permit for the construction of a wind farm
- the main criteria (designated as A, B, ...,I)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	1,0	0,3	0,5	0,3	0,2	0,3	0,1	0,3	1,0
B	3,0	1,0	2,0	1,0	0,3	0,5	0,2	1,0	3,0
C	9,0	0,5	1,0	0,5	0,3	0,5	0,1	0,5	2,0
D	3,0	1,0	2,0	1,0	0,3	0,5	0,2	1,0	2,0
E	5,0	3,0	4,0	3,0	1,0	2,0	0,3	3,0	5,0
F	3,0	2,0	2,0	2,0	0,5	1,0	0,2	2,0	4,0
G	9,0	6,0	8,0	6,0	4,0	5,0	1,0	6,0	9,0
H	3,0	1,0	2,0	1,0	0,3	0,5	0,2	1,0	2,0
I	1,0	0,3	0,5	0,5	0,2	0,3	0,1	0,8	1,0

Tab. 3. Pairwise comparison of the main criteria

- subcriteria: specific criteria affecting the main criteria (designated as A1, A2, ..., B1, B2, ..., I4).

The AHP method allows one to analyse a complex hierarchical structures of decision-making processes. In the question example, 9 of the main criteria as well as 46 subcriteria were selected – as shown in Tab. 2.

Participation of an expert in the analysis of the decision problem

The substantive correctness of the analysis results is, nonetheless, dependent on the experts' knowledge and experience as it is essential for the criteria and project advancement evaluation, being considered. The authenticity of the analysis results is dependent on their assessment. For the purpose of the analysis, the author cooperated with specialists implementing projects of wind farm construction on the investor side. On the basis of the cooperation, a matrix of pairwise comparisons for the main criteria and subcriteria was made. Tab. 3. demonstrates an example of pairwise comparisons performed to compare the main criteria.

According to the AHP method the criteria are placed in the table and then compared in pairs regarding to the criterion of validity of one element relative to another. The comparison was made according to the scale described in the Tab. 1. Obtaining the matrix and then followed by setting the eigenvector and eigenvalue. There were also sets consistency index, consistency ratio and random index (CI, CR, RI). Thereafter, the same scheme of operations was made for the impact of the subcriteria on the main criteria and on the overall goal, as discussed in the part of the paper titled "analysis results".

Analysis results

The entire analysis of the AHP method was performed using MS Excel. Decision problem resulted from determining the impact of the various criteria witch are necessary to be taken into account so that the time needed to obtain a building permission was as short as possible. In the process of the expert analysis 9 criteria describing the main areas of work, which were needed to be carried out in the context of applying for a building permit, were identified. Pairwise comparison was made of the various criteria under the fundamental scale developed by T.L. Saaty [2] shown

in Tab. 1, and set the vector of preferences, which are shown in Fig. 1.

As the analysis of the AHP method demonstrates, the dominant influence on the time to obtain a wind farm construction permit is to receive the environmental conditions for the wind farm area (0,395). This is due to the complexity of a procedure for obtaining a decision and high risk of a failure connected with obtaining decisions on the local environmental conditions (it is often difficult to do an initial assessment of local conditions). Secondly, obtaining issue terms of connection to the transmission grid has influence (0,168) on achieving the overall goal. This is caused by the number of documents (and the length of the procedures to obtain them) to be obtained in order to apply for the issue terms of connection to the transmission grid (for example taking into account a wind farm location in papers for the relevant

territory). The least influence on the fulfilment of the overall goal is to measure the wind conditions in the planned wind farm area (0,029), as even if the investor does not have wind measurements, can conduct them simultaneously with the procedures for obtaining other permits or use the meteorological data or statistics to assess the investment profitability.

In the analysis the assessment of the impact of valid subcriteria for the main criteria was calculated. The results of the analysis are shown in Fig. 2.

The impact of partial criteria on the main criterion enables to set the chronology of an action so that the main criterion could be met. Pairwise comparison of partial criteria helps in making a decision about the distribution of financial outlays for individual elements in the main criterion. For example, for the criterion „Measurements of wind kinetic energy” the most important

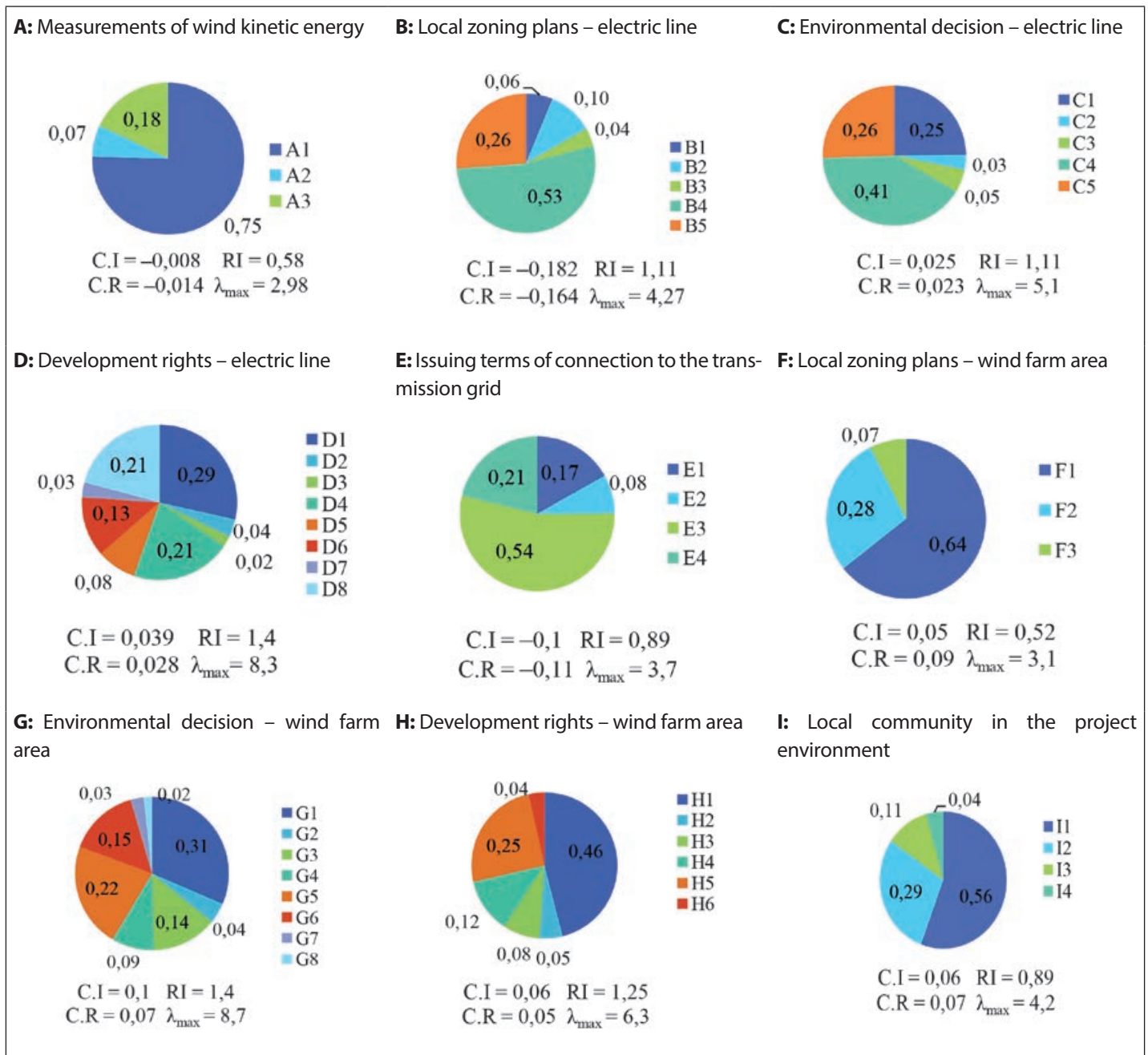


Fig. 2. The impact of valid subcriteria for the main criteria

is the idea of completing measurements as such. However, it is indispensable to take into account the difference between height measurement and the height of the particular wind turbine in order to minimise the risk of incorrect estimates when planning electricity production. For the most important main criterion, i.e. to obtain the environmental conditions for the wind farm area, the prevailing partial criterion is that the wind farm area is located at the areas preserved for their natural and landscape assets. This is a crucial element frequently blocking the possibility of obtaining the aforementioned decisions (e.g. for areas of Natura 2000). Subcriteria related to the risk of environmental conditions and too close distance from wind farm to the forest. According to the main criterion analysis, social protests are of the least importance. It is associated with the ability to carry out promotional measures for wind farm project.

The AHP method also allows one to determinate the global subcriteria impact on the achieving an overall goal. One cannot fail to notice that the greatest impact on the overall goal (0,124) had subcriterion labelled G1 determining whether the wind farm area is located in the areas preserved for their natural and landscape assets. As described in the very beginning of the analysis results, it is a significant aspect that may block the investment permanently. The other subcriterion has a global impact (0,09) on the achievement of the overall goal is subcriterion labelled E3 determining the issuing terms of connection to the transmission grid. Such a large impact of the subcriterion is related to a substantial increase in funding for the expansion of the transmission grid distribution or the reduction of previously planned production of electricity being forced to minimise the cost, which could err on the financial investment profitability.

Final conclusions

AHP method, although it is a time-consuming one, when there are large number of the main criteria and subcriteria, is an excellent tool for analysing issues related to the analysis of the location of investment in the energy sector. As shown in the example of the comparison of criteria, used for choosing the localization of a wind farm, the AHP method allows one to analyse the problems already in the way. In addition to this, using the AHP method allows one to have a detailed look at the issue in question with the need to present the problem in a hierarchical structure. Moreover, it contributes to make a precise statement of the

criteria, which further expertise assessed and analysed by means of adequate mathematical methods, shows a hierarchy of work in achieving the overall goal. Analysis of the hierarchical structure can be educational, because it illustrates the complexity of the process and includes almost all of its aspects. The problem of analysis criteria affecting the time to obtain a permit for the construction of a wind farm is a multi-threaded as well as a multi-variate issue. Hence, the author decided to use the AHP method to indicate the validity of the criteria and subcriteria themselves. Result analysis indicates that the dominant influence on the time to obtain a permit for the construction of a wind farm has the receipt of the environmental conditions for the wind farm area and obtaining issue terms of connection to the transmission grid. As mentioned before, the AHP method is, undoubtedly time-consuming in case when there is a large number of the main criteria and subcriteria. It is also a subject of many scientific papers and research dividing scientist supporters and opponents of the method. Despite critical voices supported by a variety of evidence, the decision making process by the AHP method is used in practice, mostly due to participation of experts in the course of analysing. Both the proper selection of a group of experts as well as the correct execution of mathematical calculations and the critical analysis of the result determine the meaning of the AHP method in the analysis of investments in the energy sector.

REFERENCES

1. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych z dnia 23 kwietnia 2009.
2. T.L. Saaty, How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process, *Eur. J. Oper. Res.*, 1990.
3. N. Plazibat, Z. Babic, Ranking of enterprises based on multicriterial analysis, *Int. J. Prod. Econ.*, No. 97, 1998, pp. 29–35.
4. O. Downarowicz et al., Zastosowanie metody ahp do oceny i sterowania poziomem bezpieczeństwa złożonego obiektu technicznego, *Politechnika Gdańska*, 2000, pp. 7–42.
5. W. Adamus, A. Gręda, Wspomaganie decyzji wielokryterialnych w rozwiązywaniu wybranych problemów organizacyjnych i menedżerskich, *Badania operacyjne i Decyz.*, Vol. 2, No. 2, 2005, pp. 5–36.

Alicja Stoltmann

Politechnika Gdańska

e-mail: alicja.stoltmann@pg.gda.pl

Graduated in inter-faculty studies in the Power Systems from the Faculty of Electrical and Control Engineering from Gdańsk University of Technology, specialization: design and modelling of energy systems. Her research areas include investment process in power engineering. She is also interested in designing and performance valuation of thermal power plant systems in the GateCycle Software.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 144–149. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Zastosowanie metody AHP do porównania kryteriów wyboru lokalizacji budowy farmy wiatrowej

Autor

Alicja Stoltmann

Słowa kluczowe

Analytic Hierarchy Process, proces inwestycyjny w energetyce

Streszczenie

Artykuł przedstawia opis oraz porównanie kryteriów wyboru lokalizacji farmy wiatrowej. Kryteria te uwzględniają pomiary wietrzności na rozpatrywanym terenie, lokalizację turbin wiatrowych, lokalizację linii elektroenergetycznej służącej do przesyłu wyprodukowanej energii elektrycznej od farmy wiatrowej do stacji elektroenergetycznej (GPZ), infrastrukturę towarzyszącą, warunki techniczne przyłączenia do sieci elektroenergetycznej oraz otoczenie projektu.

Do porównania kryteriów zastosowano metodę AHP (ang. *Analytic Hierarchy Process*), przyporządkowując skalę ocen preferencji od 1 do 9. Przyporządkowanie preferencji do danego kryterium uwzględnia problematykę uzyskania decyzji i pozwoleń wynikających z prawa polskiego oraz wiedzę ekspercką.

Celem artykułu jest ustalenie rankingu kryteriów, biorąc pod uwagę ich wpływ na powodzenie projektu budowy farmy wiatrowej, co jest wstępem do dokonania analizy porównawczej planowanych projektów budowy farm wiatrowych ze względu na czas uzyskania pozwolenia na budowę.

Wprowadzenie

Krajowy System Elektroenergetyczny (KSE) wymaga modernizacji ze względu na wyeksploatowane bloki elektrowni węglowych oraz konieczność realizacji postanowień dyrektywy UE [1], nakładającej na państwa członkowskie obowiązek rozwoju energetyki odnawialnej. Do odnawialnych źródeł energii należy zaliczyć m.in. energię wiatru, która przekształcona w energię elektryczną za pomocą turbin wiatrowych pozwala na produkcję energii bez emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Dynamiczny rozwój energetyki wiatrowej może przyczynić się do wypełnienia zobowiązań wynikających z pakietu energetyczno-klimatycznego UE. W niniejszym opracowaniu proces inwestycyjny farmy wiatrowej obejmuje czas od momentu prac przygotowawczych inwestycji budowy farmy wiatrowej do uzyskania pozwolenia na budowę. Proces inwestycyjny podzielono na dziewięć głównych zagadnień, uwzględniając: pomiary wietrzności, dokumenty planistyczne, decyzje o środowiskowych uwarunkowaniach (w skrócie: decyzje środowiskową) oraz prawo do terenu dla wyprowadzenia mocy, warunki techniczne przyłączenia do sieci, dokumenty planistyczne określające możliwość lokalizacji farmy wiatrowej, decyzję środowiskową oraz prawo do terenu dla farmy wiatrowej, a także otoczenie projektu. Mnogość wymienionych zagadnień świadczy o dużym stopniu komplikacji procesu inwestycyjnego i powoduje, że trwa on kilka lat.

Opis metody AHP

Metodę AHP (ang. *Analytic Hierarchy Process*) opracował T.L. Saaty [2]. Jest to metoda wielokryterialnej analizy problemów decyzyjnych. Mimo swojego zaawansowania matematycznego i czasochłonności obliczeń jest stosowana w wielu dziedzinach, np. polityce, socjologii, zarządzaniu, do ocen różnego rodzaju przedsięwzięć, a także w złożonych zagadnieniach techniczno-gospodarczych. Jest to także jedna z najszybciej rozwijających

się najbardziej znanych na świecie metod, ponieważ łączy ze sobą koncepcje z dziedziny matematyki i psychologii. Dużą jej zaletą jest porównywanie wybranych elementów parami i nadawanie im preferencji względnej określonej słownie, np. jednakowe znaczenie, słaba przewaga. Poszczególne preferencje odpowiadają konkretnym liczbom, w skali porównań T.L. Saaty'ego [2], którą przedstawiono w tab. 1. Nadawanie preferencji względnej jest ogromną zaletą metody, gdyż oceny są subiektywne i podlegają ocenie eksperckiej, co dodatkowo zwiększa poprawność merytoryczną wyników. Porównanie kryteriów parami pozwala na jednoczesne uporządkowanie ich pod względem jakościowym (dotyczącym porządku przewagi jednego kryterium nad drugim) i ilościowym (wskazuje o ile jedno kryterium jest ważniejsze od drugiego). Analiza kryteriów wyboru lokalizacji farmy wiatrowej metodą AHP składa się z dwóch etapów:

1. Zdefiniowanie celu głównego problemu decyzyjnego oraz kryteriów przyczyniających się do osiągnięcia celu i umieszczenie ich w modelu hierarchicznym. Na poziomie pośrednim znajdują się kryteria cząstkowe wpływające na stopień realizacji celu nadrzędnego.
2. Określenie preferencji względnej przez porównanie parami kryteriów głównych oraz kryteriów cząstkowych, następnie obliczenie względnej dominacji czynników. Wybór najistotniejszego kryterium mającego największy wpływ na realizację celu nadrzędnego.

Chcąc dokonać porównania parami poszczególnych kryteriów, należy umieścić je w kwadratowej macierzy porównań parami typu $(n \times n)$. Macierz porównań parami składa się z n jedynek umieszczonych na głównej diagonalnej. Porównania dokonuje się poprzez wskazanie wpływu elementów z lewej strony macierzy na elementy znajdujące się na górze

Skala ważności	Definicja	Opis
1	Równe znaczenie	Oba działania przyczyniają się w równym stopniu do osiągnięcia celu
3	Słaba przewaga	Słaba przewaga jednego elementu w stosunku do drugiego
5	Duża przewaga	Duża przewaga jednego elementu w stosunku do drugiego
7	Bardzo duża przewaga	Bardzo duża przewaga jednego elementu w stosunku do drugiego
9	Absolutna przewaga	Przewaga jednego elementu w stosunku do drugiego jest na najwyższym możliwym poziomie
2, 4, 6, 8	Wartości pośrednie	Wartości środkowe skali do wyrażenia opinii kompromisowych
Odwrotność skal (1/3, ..., 1/9)	Jeżeli element i otrzyma ocenę z powyższej skali, będącą porównaniem z elementem j , to j ma odwrotną wartość	

Tab. 1. Skala porównań parami wg [2]

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 144–149. When referring to the article please refer to the original text.

PL

macierzy. Poniżej głównej diagonalnej znajdują się odwrotności porównań parami, wzór macierzy A zamieszczono poniżej:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Ze względu na odwrotności porównań parami, i -ty wiersz jest odwrotnością i -tej kolumny, a więc zachodzi równość:

$$Aw = nw \quad (2)$$

gdzie:

w – wektor kolumnowy o składowych w_1, w_2, \dots, w_n .

Składowe wektora własnego w stanowią wektor priorytetów poszczególnych kryteriów ze względu na cel główny analizy. Aby go wyznaczyć należy zastosować wzór:

$$w = \sum_{j=1}^n w_j a_{ij} \quad (3)$$

Jedną z najważniejszych wielkości wyznaczanych w metodzie AHP jest największa wartość własna macierzy λ_{max} i jest jedną z miar zgodności porównań odzwierciedlających proporcjonalność preferencji. Wartość własną macierzy wyznacza się ze wzoru:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{w_i} \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad (4)$$

Porównania parami są konsekwentne, jeśli λ_{max} jest zbliżone do n [3].

Drugą wielkością konieczną do uzyskania w metodzie AHP jest współczynnik niespójności CI (ang. *Consistency Index*), który wyznacza odchylenie od zgodności. Wyznacza się go ze wzoru:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

A Pomiary wietrzności	
A1	Kompletność pomiarów
A2	W jakim okresie wykonano pomiary
A3	Odległość pomiędzy urządzeniem pomiarowym a wysokością wieży
B Dokumenty planistyczne – wyprowadzenie mocy	
B1	Technologia wykonania linii
B2	Przewidywana długość linii
B3	Wysokość napięcia linii
B4	Liczba dokumentów do uzyskania
B5	Konieczność zmiany przeznaczenia gruntów rolnych i leśnych
C Decyzja środowiskowa – wyprowadzenie mocy	
C1	Linia zlokalizowana na terenach chronionych przyrodniczo
C2	Wykonanie raportu środowiskowego
C3	Wykonanie opracowań przyrodniczych
C4	Uzgodnienia raportu środowiskowego z RDOŚ i PIS
C5	Protesty społeczne w zakresie budowy linii
D Prawo do terenu – wyprowadzenie mocy	
D1	Długość linii
D2	Napięcie linii
D3	Technologia wykonania linii
D4	Koszt uzyskania prawa do terenu
D5	Lasy na trasie linii
D6	Liczba działek ewidencyjnych znajdujących się na trasie linii
D7	Przeprowadzenie rozmów z właścicielami terenów na temat możliwości lokalizacji linii
D8	Wstępne zgody właścicieli terenów na lokalizację linii
E Warunki techniczne przyłączenia do sieci elektroenergetycznej	
E1	Dokumenty planistyczne potwierdzające dopuszczalność lokalizacji FW
E2	Tytuł prawny do terenu
E3	Sieć elektroenergetyczna operatora umożliwiająca przyłączenie FW o planowanej mocy elektrycznej
E4	Inne podmioty ubiegające się o wydanie warunków przyłączenia w wybranym punkcie przyłączenia

F Dokumenty planistyczne – farma wiatrowa	
F1	Komplet dokumentów planistycznych umożliwiających lokalizację FW
F2	Stan planistyczny obszaru lokalizacji FW
F3	Konieczność zmiany przeznaczenia gruntów rolnych i leśnych
G Decyzja środowiskowa – farma wiatrowa	
G1	Obszar FW zlokalizowany na terenie chronionym przyrodniczo
G2	Obszary ochrony przyrody w sąsiedztwie FW
G3	Uzgodnienie raportu środowiskowego z RDOŚ i PIS
G4	Wykonanie opracowań przyrodniczych
G5	Istnienie zagrożeń wynikających z uwarunkowań środowiskowych, np. migracja ptaków, lokalizacje w pobliżu gniazd gatunków chronionych
G6	Obszar FW zlokalizowany w odległości pow. 200 m od terenów leśnych, zadrzewień, oczek wodnych
G7	Tereny chronione akustycznie znajdujące się w bezpiecznej odległości (700–800 m)
G8	Protesty społeczne w zakresie budowy FW
H Prawo do terenu – farma wiatrowa	
H1	Posiadane prawo do terenu obejmujące lokalizację infrastruktury towarzyszącej
H2	Koszt uzyskania terenu na cele budowlane
H3	Roczny koszt korzystania z gruntu po wybudowaniu FW
H4	Przeprowadzenie rozmów z właścicielami terenów na temat możliwości lokalizacji FW
H5	Wstępne zgody właścicieli terenów na lokalizację turbin wiatrowych
H6	Liczba turbin przypadająca na 1 działkę ewidencyjną
I Otoczenie projektu	
I1	Poparcie projektu budowy przez wójta/burmistrza/prezydenta miasta
I2	Poparcie projektu budowy przez radę gminy/miasta
I3	Akceptowalność projektu budowy przez lokalną społeczność
I4	Przeprowadzenie działań promocyjnych w ramach projektu

Tab. 2. Zestawienie kryteriów głównych i kryteriów cząstkowych

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 144–149. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Ostatnim wskaźnikiem spójności porównań parami jest współczynnik niezgodności CR (ang. *Consistency Ratio*), określający stopień, w jakim porównania ważności charakterystyk są niezgodne ze sobą. Wskaźnik ten wyznacza się ze wzoru:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

gdzie:

RI (ang. *Random Indeks*) – losowy indeks niezgodności. Wielkości RI oszacowane przez T.L. Saaty'ego przedstawiono w opracowaniach [4, 5].

Opis kryteriów

W celu porównania kryteriów oceny lokalizacji budowy farmy wiatrowej wyróżniono kryteria główne, które następnie podzielono na kryteria cząstkowe. Kryteria główne to: pomiary wietrzności, dokumenty planistyczne, decyzja środowiskowa oraz prawo do terenu dla wyprowadzenia mocy, warunki techniczne przyłączenia do sieci, dokumenty planistyczne uwzględniające możliwość lokalizacji farmy wiatrowej, decyzja środowiskowa oraz prawo do terenu dla farmy wiatrowej, a także otoczenie projektu.

Oceniając daną lokalizację budowy farmy wiatrowej, należy ocenić obszar pod względem możliwości wykorzystania energii wiatru. W tym celu należy przeprowadzić pomiary wiatru, umieszczając urządzenia pomiarowe potencjału energetycznego wiatru na masztach pomiarowych. Maszty wyposażone są w czujniki prędkości i kierunku wiatrów, posadowione na różnych wysokościach. Zbyt duża różnica pomiędzy wysokością pomiaru a wysokością planowanej wieży turbiny prowadzi do błędnych oszacowań planowanej produkcji energii elektrycznej. Pomiary siły wiatru przeprowadza się zwykle przez okres 1 roku. Aby uzyskać bardziej miarodajne dane, zaleca się wykonywanie pomiarów przez dłuższy czas (zazwyczaj do 5 lat).

Energia elektryczna produkowana przez farmę wiatrową jest wyprowadzona linią elektroenergetyczną połączoną z siecią elektroenergetyczną. Należy zatem uwzględnić uwarunkowania planistyczne, terenowe i środowiskowe dla budowy wyprowadzenia mocy. W przypadku, gdy linia elektroenergetyczna nie jest uwzględniona w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego (MPZP), należy złożyć wniosek o zmianę bądź sporządzenie MPZP lub uzyskać decyzję o lokalizacji inwestycji celu publicznego. Jest to proces czasochłonny oraz wielowątkowy i wydłuża czas realizacji inwestycji. Istotny wpływ na czas uzyskania wymienionych dokumentów ma technologia wykonania, napięcie linii elektroenergetycznej oraz jej długość. W niektórych przypadkach farma wiatrowa jest oddalona od najbliższego głównego punktu zasilania o wiele kilometrów i linia elektroenergetyczna wyprowadzenia mocy przechodzi przez wiele działek ewidencyjnych i terenów o różnym przeznaczeniu. Komplikuje to i wydłuża proces inwestycyjny linii elektroenergetycznej, ponieważ należy uzyskać zgody właścicieli wielu działek ewidencyjnych lub zmienić przeznaczenie poszczególnych gruntów, aby budowa linii była możliwa.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	1,0	0,3	0,5	0,3	0,2	0,3	0,1	0,3	1,0
B	3,0	1,0	2,0	1,0	0,3	0,5	0,2	1,0	3,0
C	9,0	0,5	1,0	0,5	0,3	0,5	0,1	0,5	2,0
D	3,0	1,0	2,0	1,0	0,3	0,5	0,2	1,0	2,0
E	5,0	3,0	4,0	3,0	1,0	2,0	0,3	3,0	5,0
F	3,0	2,0	2,0	2,0	0,5	1,0	0,2	2,0	4,0
G	9,0	6,0	8,0	6,0	4,0	5,0	1,0	6,0	9,0
H	3,0	1,0	2,0	1,0	0,3	0,5	0,2	1,0	2,0
I	1,0	0,3	0,5	0,5	0,2	0,3	0,1	0,8	1,0

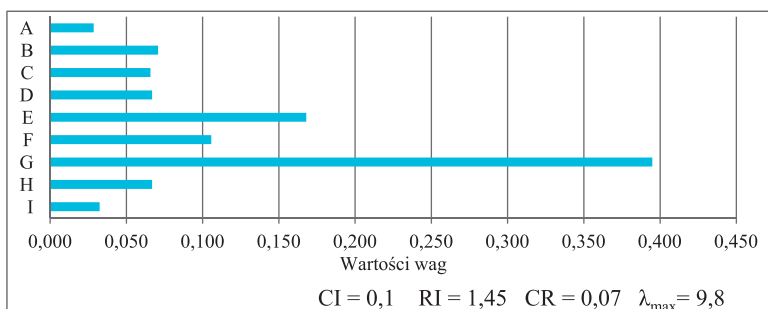
Tab. 3. Porównanie parami kryteriów głównych

Obszar farmy wiatrowej również musi być uwzględniony w MPZP, w przeciwnym wypadku plan należy zmienić lub – w przypadku braku MPZP lub studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego – chwalić plan lub studium.

Uzyskanie ostatecznej decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach dla farmy wiatrowej również jest procesem długotrwałym i wielowątkowym z uwagi na liczbę opracowań, jakie należy wykonać, aby decyzję uzyskać. Dokładna analiza otoczenia lokalizacji budowy farmy wiatrowej – określająca, czy w jej pobliżu nie znajdują się obszary lub formy ochrony przyrody oraz tereny chronione akustycznie – pozwala zminimalizować ryzyko uzyskania negatywnej decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach. Ważnym opracowaniem na drodze uzyskania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach jest wykonanie raportu środowiskowego, który następnie jest uzgadniany z regionalnym przyrodzie oraz ochrony środowiska oraz jest opiniowany przez odpowiedniego inspektora sanitarnego. W celu wykonania raportu środowiskowego należy przeprowadzić analizy przyrodnicze, które często muszą być realizowane w określonych porach roku (np. w czasie migracji ptaków) i w efekcie mogą doprowadzić do uzyskania negatywnej decyzji o środowiskowych oddziaływaniach farmy wiatrowej lub uzyskania pozwolenia na pracę farmy wiatrowej w określonych porach roku, co zmniejsza opłacalność inwestycji. Procedura uzyskiwania wymienionej decyzji zakłada

udział społeczeństwa w procesie jej wydawania. Odpowiednie działania informacyjne i promocyjne mogą zminimalizować ryzyko protestów społecznych w zakresie budowy farmy wiatrowej.

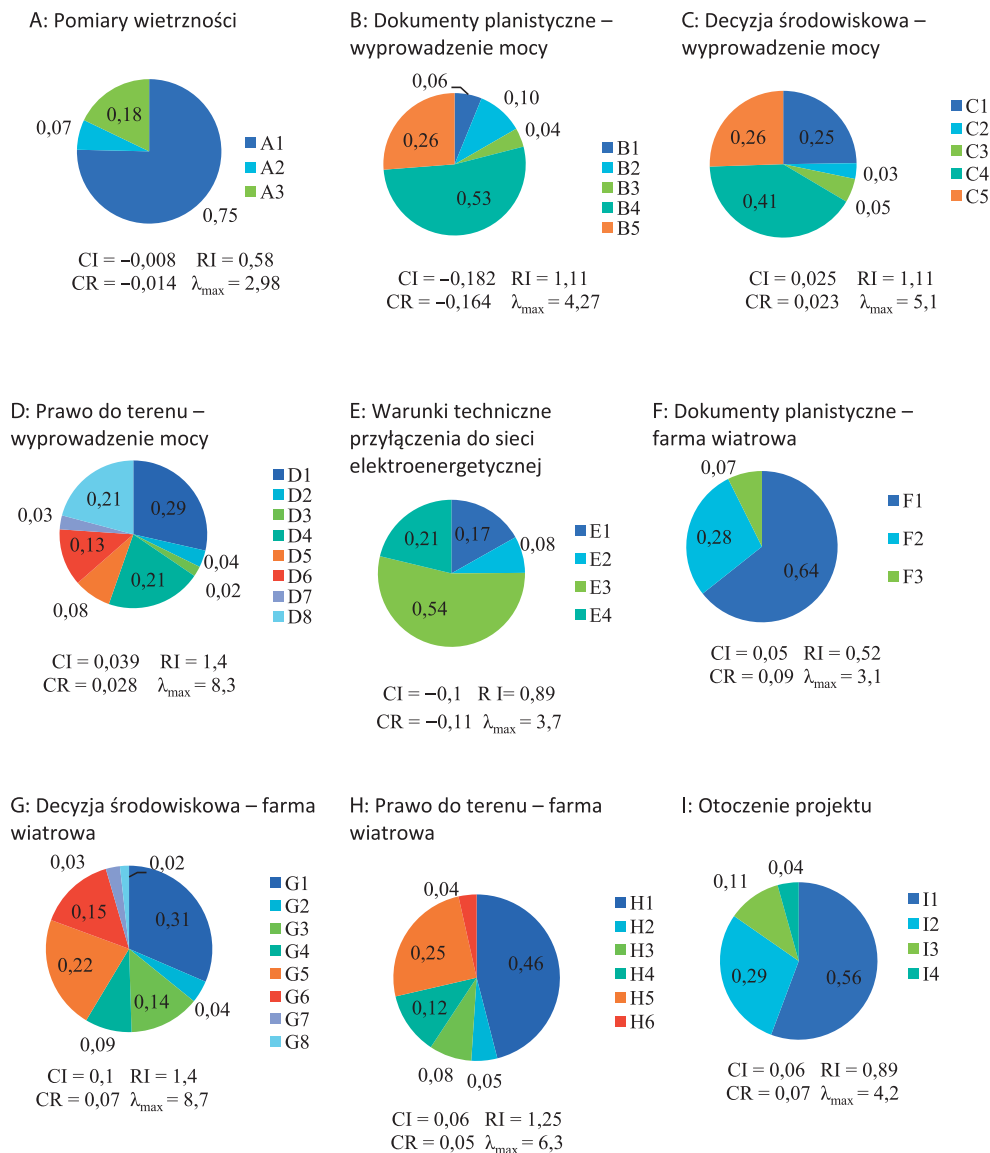
Na etapie planowania budowy farmy wiatrowej inwestor zabezpiecza nieruchomości gruntowe, tak aby po uzyskaniu wszystkich niezbędnych pozwoleń i decyzji móc rozpocząć budowę farmy wiatrowej oraz infrastruktury towarzyszącej, tj. linii elektroenergetycznych łączących turbiny i stację abonencką oraz samą stację abonencką. Korzystnym rozwiązaniem jest posadzenie kilku turbin na terenie jednego przychylnego inwestycji właściciela. Aby produkowana przez farmę wiatrową energia elektryczna dotarła do odbiorcy, niezbędne jest zawarcie umowy przyłączeniowej z operatorem sieci przesyłowej lub dystrybucyjnej. Pierwszym krokiem do zawarcia umowy jest uzyskanie warunków przyłączeniowych. Aby je uzyskać, inwestor musi wykazać, że planowany obszar farmy wiatrowej jest uwzględniony w MPZP lub posiada decyzję o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu potwierdzającą dopuszczalność lokalizacji inwestycji, oraz przedstawić posiadany tytuł prawny do terenu farmy wiatrowej. Jeśli sieć umożliwia przyłączenie farmy wiatrowej o planowanej mocy i w punkcie przyłączenia żaden z innych podmiotów nie ubiega się o wydanie warunków przyłączenia uniemożliwiających przyłączenie farmy wiatrowej, istnieje duża szansa na to, że umowa zostanie zawarta.



Rys. 1. Wyniki porównania parami kryteriów głównych

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 144–149. When referring to the article please refer to the original text.

PL



Rys. 2. Udziały subkryteriów dla poszczególnych kryteriów głównych

Model hierarchiczny

Problem decyzyjny w metodzie AHP przedstawia się w postaci hierarchicznej, ilustrującej podział wszystkich kryteriów na kryteria główne oraz kryteria cząstkowe (subkryteria). Kryteria cząstkowe są porównywalne parami w odniesieniu do kryteriów głównych. Kryteria te mają wpływ na cel główny problemu decyzyjnego, znajdującego się na czele hierarchii, i obejmują wszystkie elementy wskazane przez grupę ekspertów. Dla omawianego przykładu struktura hierarchiczna składa się z:

- celu głównego określającego wpływ czynników na czas uzyskania pozwolenia na budowę farmy wiatrowej
- kryteriów głównych (oznaczonych jako A, B, ..., I)
- kryteriów cząstkowych, są to kryteria szczegółowe wpływające na kryteria główne (oznaczone jako A1, A2, ..., B1, B2, ..., I4).

Metoda AHP pozwala na analizę rozbudowanych struktur hierarchicznych procesów decyzyjnych. W omawianym przykładzie wytypowano 9 kryteriów głównych oraz 46 kryteriów cząstkowych, co przedstawiono w tab. 2.

Udział eksperta w analizie problemu decyzyjnego

Poprawność merytoryczna wyników analizy jest uzależniona od wiedzy i doświadczenia ekspertów dokonujących oceny kryteriów i stanów zaawansowania rozważanych projektów. Od ich oceny zależy autentyczność wyników analizy. Na potrzeby niniejszej analizy współpracowano ze specjalistami realizującymi projekty budowy farm wiatrowych po stronie inwestora. Rezultatem niniejszej współpracy jest wykonanie macierzy porównań parami zarówno dla kryteriów głównych, jak i cząstkowych. Przykład porównania parami wykonany dla

porównania kryteriów głównych zamieszczono w tab. 3.

Zgodnie z metodą AHP kryteria zostały umieszczone w tabeli i następnie porównane parami, uwzględniając kryterium ważności jednego elementu względem drugiego. Porównania dokonano według skali opisanej w tab. 1, uzyskując macierz, której następnie wyznaczono wartości własne, wektor własny oraz wartość własną. Wyznaczono także wskaźniki niespójności, spójności oraz niezgodności (odpowiednio CI , CR , RI).

Następnie powtórzono schemat czynności, analizując wpływ poszczególnych kryteriów cząstkowych na kryteria główne oraz na cel nadrzędny, co omówiono w dalszej części artykułu.

Wyniki analizy

Całość analizy metodą AHP przeprowadzono w arkuszu MS Excel. Problem

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 144–149. When referring to the article please refer to the original text.

PL

decyzyjny polegał na wyznaczeniu wpływu poszczególnych kryteriów, które należy wziąć pod uwagę, aby czas potrzebny na uzyskanie pozwolenia na budowę był możliwie najkrótszy. W procesie analizy eksperckiej wytypowano 9 kryteriów głównych opisujących obszary prac koniecznych do przeprowadzenia w ramach ubiegania się o pozwolenie na budowę. Dokonano porównania parami poszczególnych kryteriów zgodnie ze skalą opracowaną przez T.L. Saaty'ego [2] (tab. 1) oraz wyznaczono wektor preferencji, co przedstawiono na rys. 1.

Jak wynika z analizy metodą AHP, przeważający wpływ na czas uzyskania pozwolenia na budowę farmy wiatrowej ma zdobycie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach dla obszaru farmy wiatrowej (0,395). Spowodowane jest to skomplikowaniem procedury i wysokim ryzykiem nieuzyskania decyzji z przyczyn lokalnych uwarunkowań środowiskowych, często trudnych do wstępnego oszacowania. W drugiej kolejności na realizację celu nadrzędnego wpływa uzyskanie warunków technicznych przyłączenia do sieci elektroenergetycznej (0,168). Jest to spowodowane liczbą dokumentów (i długością procedur ich uzyskania), jakie należy uzyskać, aby móc ubiegać się o wydanie warunków przyłączeniowych (m.in. uwzględnienie lokalizacji farmy wiatrowej w dokumentach planistycznych na danym terenie). Najmniejszy wpływ na spełnienie celu głównego ma pomiar wietrzności na danym terenie (0,029), ponieważ nawet jeśli inwestor nie posiada pomiarów wietrzności, może prowadzić je równoległe wraz z procedurami uzyskiwania pozostałych pozwoleń oraz skorzystać z danych meteorologicznych lub statystycznych w celu oszacowania opłacalności inwestycji.

W trakcie badań dokonano także oceny wpływu poszczególnych kryteriów cząstkowych na kryteria główne. Wyniki analizy przedstawiono na rys. 2.

Wpływ kryteriów cząstkowych na kryterium główne pozwala ustalić chronologię działań, aby dane kryterium zostało spełnione. Porównanie parami kryteriów cząstkowych pomaga w podjęciu decyzji o rozkładzie nakładów finansowych na poszczególne elementy w danym kryterium. Na przykład, dla pomiaru wietrzności dużą wagę ma sam fakt wykonania pomiarów wietrzności. Aczkolwiek należy uwzględnić także odległość urządzeń pomiarowych od planowanej wysokości wieży, aby zminimalizować ryzyko błędnych oszacowań planowanej produkcji energii elektrycznej. Dla najważniejszego kryterium głównego, tj. uzyskania

decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach dla farmy wiatrowej, przeważającym kryterium cząstkowym jest lokalizacja farmy wiatrowej na obszarze chronionym przyrodniczo. Jest to bardzo ważny element, często blokujący możliwość uzyskania ww. decyzji, np. dla obszarów rezerwatów przyrody lub obszarów Natura 2000. Duże znaczenie mają także kryteria cząstkowe, związane z zagrożeniami wynikającymi z uwarunkowań środowiskowych, oraz zbyt bliska odległość farmy wiatrowej od terenów leśnych lub zadrzewień. Z analizy omawianego kryterium głównego wynika, że najmniejsze znaczenie mają protesty społeczne. Jest to związane z możliwością przeprowadzenia akcji promocyjnych i informacyjnych w obszarze sąsiadującym z planowaną farmą wiatrową.

Metoda AHP pozwala także na wyznaczenie wpływu globalnego kryteriów cząstkowych na realizację celu nadrzędnego. W analizowanym przypadku największy wpływ na czas potrzebny do uzyskania pozwolenia na budowę (0,124) ma kryterium cząstkowe oznaczone jako G1 i określające, czy obszar farmy znajduje się na terenach chronionych przyrodniczo. Jak opisano w rozdziale z wynikami analizy, jest to ważny aspekt mogący nieodwracalnie zablokować inwestycję. Drugim kryterium cząstkowym wpływającym globalnie na realizację celu nadrzędnego (0,09) jest kryterium E3, oznaczające możliwość przyłączenia farmy wiatrowej do sieci elektroenergetycznej. Tak duży wpływ tego kryterium cząstkowego jest związany z koniecznością znacznego zwiększenia nakładów finansowych na rozbudowę części sieci elektroenergetycznej operatora sieci dystrybucyjnej lub przesyłowej albo wymuszonego minimalizacją nakładów na sieć zmniejszenia mocy planowanej farmy wiatrowej, co może zaważyć na opłacalności finansowej przedsięwzięcia.

Podsumowanie

Metoda AHP, choć czasochłonna, przy dużej liczbie kryteriów głównych oraz kryteriów cząstkowych jest doskonałym narzędziem do analizowania zagadnień związanych z analizą lokalizacji inwestycji w energetyce. Jak pokazano na przykładzie porównania kryteriów, mających na celu skrócenie czasu potrzebnego na uzyskanie pozwolenia na budowę farmy wiatrowej, metoda AHP pozwala na analizę problemów realnie występujących. Ponadto zastosowanie metody AHP pozwala na szczegółowe zapoznanie się z danym zagadnieniem poprzez konieczność przedstawienia problemu w modelu hierarchicznym. Dzięki temu metoda pozwala na precyzyjne zestawienie kryteriów, które poddane ocenie eksperckiej

i odpowiedniej analizie matematycznej wskazują hierarchię prac w realizacji celu nadrzędnego. Analiza modelu hierarchicznego może mieć charakter edukacyjny, gdyż obrazuje złożoność procesu i uwzględnia niemal wszystkie jego aspekty.

Zagadnienie analizy kryteriów wpływających na czas potrzebny do uzyskania pozwolenia na budowę farmy wiatrowej jest zagadnieniem wielowątkowym i wielowymiarowym, dlatego zdecydowano się zastosować metodę AHP do wskazania ważności kryteriów. W wyniku analizy wskazano, że najważniejszymi kryteriami głównymi są: uzyskanie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach dla obszaru farmy wiatrowej oraz uzyskanie warunków technicznych przyłączenia do sieci elektroenergetycznej.

Jak wspomniano, metoda AHP jest czasochłonna dla dużej liczby kryteriów głównych i cząstkowych. Jest także tematem wielu prac naukowych i badawczych, dzieląc tym samym naukowców na zwolenników i przeciwników metody. Pomimo krytycznych głosów, popartych różnymi dowodami, proces podejmowania decyzji metodą AHP znajduje zastosowanie w praktyce ze względu na udział ekspertów w trakcie dokonywania analizy. Zarówno odpowiedni dobór grupy ekspertów, poprawne wykonanie obliczeń matematycznych oraz krytyczna analiza wyników warunkują sens stosowania metody AHP w analizach inwestycji w energetyce.

Bibliografia

1. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych z 23 kwietnia 2009.
2. Saaty T.L., How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process, Eur. J. Oper. Res., 1990.
3. Plazibat N., Babic Z., Ranking of enterprises based on multicriteria analysis, *International Journal of Production Economics* 1998, No. 97, s. 29–35.
4. Downarowicz O. i in., Zastosowanie metody AHP do oceny i sterowania poziomem bezpieczeństwa złożonego obiektu technicznego, Politechnika Gdańska, 2000, s. 7–42.
5. Adamus W., Gręda A., Wspomaganie decyzji wielokryterialnych w rozwiązywaniu wybranych problemów organizacyjnych i menedżerskich, *Badania Operacyjne i Decyzje* 2005, Vol. 2, No. 2, s. 5–36.

Alicja Stoltmann

mgr inż.
Politechnika Gdańska
e-mail: alicja.stoltmann@pg.gda.pl

Ukończyła studia na kierunku międzywydziałowym: energetyka, specjalizując się na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki w obszarze rynków energii oraz projektowania i modelowania systemów energetycznych. Obecnie obszar jej badań obejmują zagadnienia związane z procesami inwestycyjnymi w energetyce. Interesuje się także modelowaniem instalacji energetycznych elektrowni parowych i gazowych w środowisku GateCycle.