

Robert PILCH

AGH University of Science and Technology (Akademia Górniczo-Hutnicza)

APEKS 2 AS A MODIFICATION OF THE APEKS METHOD

APEKS 2 jako modyfikacja metody APEKS

Abstract: *The study presents the APEKS 2 method as a proposal of modification of the APEKS method, used to evaluate and select one of the many variants of organizational and technical solutions using their multi-criteria evaluation. The proposed modification of the method consists mainly in changing the procedure of determining the numerical weights of the evaluation criteria. As a result of the proposed change, the possibility of disregarding the influence of a given criterion on the final score is eliminated, unless it is an action intended by the evaluator. Moreover, the introduced change increases the accuracy of the method and allows to better reflect the preferences of the evaluator. Thanks to this, the APEKS 2 method gives the possibility of a better evaluation and, as a result, a more precise selection of the best of the compared technical solutions. The original method and its modification are also suitable for multi-criteria evaluation and selection of the best solution in non-technical applications.*

Keywords: APEKS, multi-criteria evaluation, selection methods

Streszczenie: *W opracowaniu przedstawiono metodę APEKS 2 jako propozycję modyfikacji metody APEKS, służącej do oceny i wyboru jednego z wielu wariantów rozwiązań organizacyjno-technicznych przy zastosowaniu ich oceny wielokryterialnej. Zapropozowana modyfikacja metody polega przede wszystkim na zmianie sposobu określania liczbowych wag kryteriów oceny. W efekcie eliminuje się możliwość pominięcia wpływu danego kryterium na ocenę końcową, chyba że będzie to działanie zamierzone przez oceniającego. Ponadto wprowadzona zmiana zwiększa dokładność metody i pozwala w większym stopniu odzwierciedlić preferencje oceniającego. Dzięki temu metoda APEKS 2 daje możliwość lepszej oceny i w efekcie precyzyjniejszego wyboru najlepszego z porównywanych rozwiązań technicznych. Analizowana metoda oraz jej modyfikacja nadaje się również do wielokryterialnej oceny i wyboru najlepszego rozwiązania w zastosowaniach pozatechnicznych.*

Słowa kluczowe: APEKS, ocena wielokryterialna, metody wyboru

1. Introduction

In many situations, during the design, manufacture or operation of technical objects, there is a need and necessity to assess, compare and select the best from among various possible design solutions [7], production methods or maintenance strategies of objects [3, 4, 10]. This issue is also important when selecting suppliers in an enterprise [1, 8]. The problems of assessing and selecting one of the possible variants also occur outside the field of technology and concern, for example, business decisions, trading strategies, etc. and many decisions made in everyday life.

In each of these cases, if the decision being made is important and may have significant effects, it is important that the decision is made not only on the basis of experience, intuition or first impression (although these may be sufficient in some situations), but that it is possible to consider a number of different evaluation criteria, which enables a more precise evaluation and a more accurate selection as a result. Supporting the choice made with the results of calculations allows the decision-maker to confirm the suitability of the choice, the possibility of its documentation, subsequent reproduction and use, and obtaining a numerically expressed assessment of the compared solutions also reveals the differences between them and allows to specify the advantages and disadvantages of each of them [11, 12].

A properly conducted methodology of proceedings includes a set of semantically separate criteria, arranged according to the priorities set by the person conducting the proceedings. The criteria are also divided into two subsets, i.e. quantitative and qualitative [5, 11]. Their direct comparison is always difficult because the evaluation values according to the various criteria are expressed in different units or are completely dimensionless and all the adopted criteria should be taken into account in the evaluation. Additionally, it is often the case that the criteria adopted for the evaluation have different significance and therefore, in the evaluation and calculations performed, appropriate weights should be assigned to them, resulting from the requirements or preferences of the decision-maker.

Making decisions based on multi-criteria methods is important. The methods and techniques in this area have been widely known and developed for many years [11, 12]. In most studies, within the classification of methods and their application, the following are primarily distinguished: The Weighted Sum Model (WSM), the Weighted Product Model (WPM) method similar to the WSM method, the Analytic Hierarchy Process (AHP), a method of elimination through pairwise comparisons according to each criterion (ELECTRE - Elimination and Choice Transcription Reality) and the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) [1, 9, 10]. The ELECTRE and TOPSIS methods are the most widely and most frequently used and have various modifications. The distinguished methods are also used as combined solutions, called hybrid solutions [7].

One of the interesting, effective and relatively simple to apply (and therefore useful in many practical situations) methods for assessing and selecting the best solution option is the APEKS method [4], and its modification (APEKS 2) is presented in this article. The proposed modification is aimed at improving the method by increasing its flexibility and

sensitivity to the preferences of the decision-maker, and in particular by increasing the effectiveness with a small number of criteria adopted for the assessment.

2. APEKS method

The APEKS method presented in [4] can be classified as a TOPSIS method. Its main element compares the existing (assessed) solutions to the best (here fictitious) variant, called APEKS in this method. This method allows the assessment and selection of the best of the compared variants using mixed evaluation criteria. This should be understood as the possibility of using both quantitative and qualitative criteria in the assessment. Quantitative criteria are expressed in direct units defining e.g. durability, weight, costs, time, and reliability. The qualitative criteria include those expressed in terms of conventional values, such as: ease of use, simplicity of construction, and aesthetic value, etc. The evaluation values for quantitative criteria should be determined by direct size measurements or calculations. Assessment values for qualitative criteria should be determined by a decision-maker or a group of experts in a given field, and one of the possibilities of expressing their value is to adopt an appropriate scale, e.g. a ten-point scale. It is important that the criteria adopted for evaluation are different and independent of each other. The APEKS, to which the other considered variants are compared, is a fictitious one, which is created as a result of assigning it the best evaluation values that the actual variants have according to the individual evaluation criteria. The course of action in the APEKS method is illustrated in fig. 1.

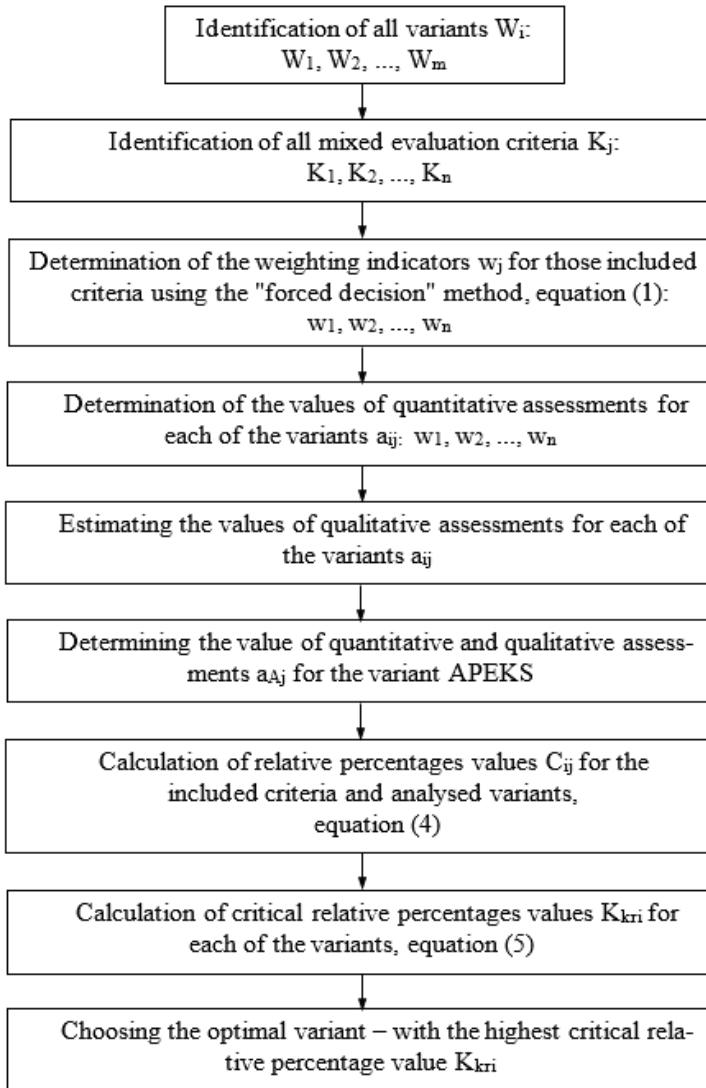


Fig. 1. Diagram of the procedure to be followed in the APEKS method

In order for the evaluation and comparison to be possible and meaningful, at least two variants must be compared and it is necessary to adopt at least two different and independent evaluation criteria. In accordance with the procedure in fig. 1, in the first two steps, the solutions should be compared, from which the best one is to be selected, and criteria should be defined according to which they will be assessed. Then the weights w_j are determined

for the adopted evaluation criteria using the so-called "forced decision" method [5]. This involves pairing each criterion with others and assigning a value of 1 to the one the evaluator believes is more important in the pair currently being compared, and a value of 0 to the less important one in that pair. The necessity to assign the value 1 to one of the compared pair and the value 0 to the other reflects the principle of forced decision making. The final weight w_j for a given criterion is defined by the formula [5]:

$$w_j = \frac{d_j}{N} \tag{1}$$

where:

d_j – sum of the values obtained by the j -th criterion in all comparisons,

N – the number of all forced decisions defined by formula (2),

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \tag{2}$$

where:

n – number of evaluation criteria adopted in the analysis.

The method of determining the weighting of the criteria is presented, for example, in tab. 1.

Table 1

Determining the weighting of criteria by the method of "forced decisions"

Criterion	Forced decisions N=10										Sum of values d_j	Criterion weight value w_j
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
K1	1	0	1	1							$d_1 = 3$	$w_1 = 0.3$
K2	0				0	1	1				$d_2 = 2$	$w_2 = 0.2$
K3		1			1			0	0		$d_3 = 2$	$w_3 = 0.2$
K4			0			0		1		0	$d_4 = 1$	$w_4 = 0.1$
K5				0			0		1	1	$d_5 = 2$	$w_5 = 0.2$

From the adopted method of determining weights w_j it also follows that always:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \tag{3}$$

In the next step, the decision-maker or a group of experts determines or estimates the evaluation values a_{ij} for each of the variants according to each of the adopted evaluation criteria. On this basis, the APEKS variant is determined, which is assigned the best evaluation values according to each of the criteria, marked as a_{Aj} .

Then, based on the estimated values of the assessments of the variants a_{ij} and a_{Aj} , the relative percentage values of the estimates C_{ij} are determined for the criteria and analysed variants [5]:

$$C_{ij} = \left[\left(\frac{a_{ij}}{a_{Aj}} \right)^{\pm 1} \cdot 100 \right]^{w_j} \quad (4)$$

where:

a_{ij} – evaluation value for the i-th variant according to the j-th evaluation criterion,

a_{Aj} – evaluation value for the APEKS variant according to the j-th evaluation criterion.

The exponent (marked ± 1) in equation (4) is assumed to be +1 for those criteria for which the higher rating value is better, while for those criteria for which the lower rating value is better, the exponent used is equal to -1 . In the case of qualitative criteria, when the score on a point scale is adopted and it is assumed that a better score is awarded more points and a worse score - less points, the exponent +1 is used.

In the penultimate step, the critical relative percentages values K_{kri} are determined for each of the variants [5], using the formula (5):

$$K_{kri} = \prod_{j=1}^{j=m} C_{ij} \quad (5)$$

The last step in the standard APEKS method is to select the best of the compared variants, which is the one that has the highest value of the critical relative percentage value K_{kri} . The obtained value of K_{kri} determines the extent to which a given variant reflects the best variant, which is APEKS. The closer the value obtained is to the value of 100, the closer the given variant is to the APEKS variant. On this basis, it can also be concluded which criteria should be improved in a given variant to make it better. An example of the use of the method can be found, inter alia, in [9].

3. Modification of the APEKS method – APEKS 2

The proposed modification of the APEKS method concerns the principle of "forced decisions" used in it, according to which the weights of the criteria adopted in the assessment are determined. Undoubtedly, the advantage of the APEKS method is that it allows the weights of criteria to be determined, although the compared criteria can be both qualitative and quantitative and are normally difficult to compare with each other. Nevertheless, a disadvantage of the "forced decisions" principle is the possibility of completely eliminating the influence of a certain criterion on the performed evaluation. This occurs when the given criterion, as a result of the comparison operation, obtains the sum of points d_j equal to 0. The weight indicator w_j for this criterion will then have a value equal

to 0 and the value of C_{ij} calculated according to formula (4) will then be equal to 1 for all compared variants. If this is the case, the variants which, according to this criterion, have high a_{ij} rating values completely lose this advantage and it is not included in the final evaluation, and those variants that, according to this criterion have a worse rating than the others, lose nothing. The probability of the occurrence of such a case decreases with the increase in the number of criteria, it increases when the number of criteria decreases, and it is a certain case when only two criteria are adopted for the evaluation. However, it can be stated that since a criterion has been adopted for the evaluation, it means that it has a significant meaning and variants with high a_{ij} scores according to this criterion should not lose them. Thus, such a method of determining criteria weights, especially with a small number of criteria, may be ineffective and this is a disadvantage of the standard APEKS method. An example of such a situation is presented in tab. 2, in which the criterion K4 lost its influence.

Table 2

An example of the loss of the impact of a criterion in the method of "forced decisions"

Criterion	Forced decisions N=10										Sum of values d_j	Criterion weight value w_j
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
K1	1	0	1	1							$d_1 = 3$	$w_1 = 0.3$
K2	0				0	1	1				$d_2 = 2$	$w_2 = 0.2$
K3		1			1			1	0		$d_3 = 3$	$w_3 = 0.3$
K4			0			0		0		0	$d_4 = 0$	$w_4 = 0$
K5				0			0		1	1	$d_5 = 2$	$w_5 = 0.2$

In order to eliminate the presented disadvantage of the APEKS method, the APEKS 2 method proposes a change in the method of determining the weighting criteria according to the principle of "forced decisions". The change involves the possibility of dividing the assigned value of 1 into both criteria compared in a pair, but so that the assigned values in total give a value exactly equal to 1. The comparison of criteria in pairs and the value assignment should be resolved here on the basis of answers to the question: if there were only these two criteria, in what proportion (the values of which give a total value of 1) would the evaluator assign them importance (significance) in the assessment? It follows that there is a possibility that one of the criteria will have a value of 1 and the other 0 in their direct comparison, if so decided by the evaluator, but not forced to decide that, in each compared pair, one of the criteria is absolutely more important than the other. Thanks to the proposed change, however, it is possible to freely divide the numerical weight in the compared pairs of criteria, at the discretion of the evaluator. It also allows users to take into

account the situation where, for example, both criteria are equally important for the assessor.

After comparing the criteria in pairs and assigning weight values, the final weight w_j of a given criterion is determined identically as in the standard version of the APEKS method, i.e. according to formula (1). An example of such an approach is presented in tab. 3.

Table 3

An example of determining the weighting of criteria with the modified method

Criterion	Forced decisions N=10										Sum of values d_j	Criterion weight value w_j
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
K1	0.5	0.4	0.9	0.7							$d_1 = 2.5$	$w_1 = 0.25$
K2	0.5				0.2	0.6	0.5				$d_2 = 1.8$	$w_2 = 0.18$
K3		0.6			0.8			0.6	0.3		$d_3 = 2.3$	$w_3 = 0.23$
K4			0.1			0.4		0.4		0.4	$d_4 = 1.3$	$w_4 = 0.13$
K5				0.3			0.5		0.7	0.6	$d_5 = 2.1$	$w_5 = 0.21$

In the proposed solution, there is no need to reset the final weight w_j of one of the criteria (if only two were adopted in the assessment) and, at the same time, it leaves such a possibility if it was intended and resulted from the decision and preferences of the evaluator. This possibility also remains with more than two evaluation criteria. The changed method for determining the weights of individual criteria becomes more precise and gives a greater opportunity to reflect the preferences of the evaluator. It can also be seen that it is more flexible and hence the assessment and comparison made will be more accurate and reliable.

4. An example of using the APEKS 2 method

The manner of proceeding and the impact of the proposed changes on the assessment and selection of one of the solution options are presented using example concerning the selection of one of the two possible bicycle frames used in trekking bikes. The A frame is a frame made of 6061 aluminium alloy, and the B frame is a frame made of carbon fibre, the so-called carbon frame. Frame price (K1) and frame weight (K2) were selected as quantitative criteria used for the evaluation. Mechanical damage resistance (K3) and frame stiffness (K4) were selected as qualitative (qualitative) criteria. An appropriate evaluation method was adopted for the criteria used. The criteria K1 and K2 for both variants have the values specified by the manufacturer (frame weight) and the seller (frame price). Moreover, in terms of both price and weight, the lower the value the better. For the qualitative criteria, an assessment on a five-point scale was adopted, which will be performed by the assessor, assigning more points when the assessment according to the given criterion is better. In the

case of the criterion of resistance to mechanical damage, the higher the resistance, the better, of course. However, in the case of stiffness, the lower the stiffness of the frame, the better the score and more points. This is due to the fact that this feature determines the possibility of damping vibrations and reducing the effect of transferring them to the rider's body (the damping is greater in a less stiff frame). This is important in off-road driving and therefore lower stiffness is the desired effect in this case. A frame with a lower stiffness will therefore receive more points in the evaluation.

Since 4 evaluation criteria have been adopted, the number of necessary comparisons N is 6. Table 4 shows the comparison of the criteria made in accordance with the modified APEKS 2 method and the weights w_j determined on this basis for each criterion.

Table 4

Determining the weights of the criteria adopted in the comparison of bicycle frames

Criterion	Forced decisions N=6						Sum of values d_j	Criterion weight value w_j
	1	2	3	4	5	6		
K1 (price)	0.5	0.7	0.8				$d_1 = 2.0$	$w_1 = 0.33$
K2 (mass)	0.5			0.4	0.6		$d_2 = 1.5$	$w_2 = 0.25$
K3 (damage resistance)		0.3		0.6		0.7	$d_3 = 1.6$	$w_3 = 0.27$
K4 (stiffness)			0.2		0.4	0.3	$d_4 = 0.9$	$w_4 = 0.15$
								$\Sigma w_j = 1$

Then, each of the considered variants was assessed according to each of the adopted evaluation criteria. The determined values of the a_{ij} ratings are presented in tab. 5. With the rating values, the APEKS variant was determined as having the best ratings awarded for the considered bicycle frames according to each of the criteria. The APEKS variant is also presented in tab. 5.

Table 5

Evaluation values of the compared frames according to the adopted criteria and evaluation values of the APEKS variant

Criterion	Variant		APEKS variant
	A (aluminium frame)	B (carbon frame)	
K1 (price [PLN])	1490	2650	1490
K2 (mass [g])	1800	1290	1290
K3 (damage resistance: 1-5)	5	3	5
K4 (stiffness: 1-5)	2	4	4

Using the evaluation values a_{ij} and a_{Aj} , according to formula (4), the relative percentage values of the estimates C_{ij} were calculated and the results of the calculations are presented in tab. 6.

Table 6**Relative percentage of the estimates**

Criterion	Variant	
	A (aluminium frame)	B (carbon frame)
K1 (price [PLN])	$C_{11} = 4.57$	$C_{21} = 3.78$
K2 (mass [g])	$C_{12} = 2.91$	$C_{22} = 3.16$
K3 (damage resistance: 1-5)	$C_{13} = 3.47$	$C_{23} = 3.02$
K4 (stiffness: 1-5)	$C_{14} = 1.80$	$C_{24} = 2.00$

The critical relative percentages values K_{kri} for each of the variants, calculated on the basis of the formula (5), are presented in tab. 7.

Table 7**The critical relative percentages values K_{kri} for the compared frames**

	Variant	
	A (aluminium frame)	B (carbon frame)
K_{kri}	$K_{kr1} = 83.06$	$K_{kr2} = 72.14$
	$K_{kr1} = \max$	

Comparing the K_{kri} values obtained by the evaluated frames, it can be seen that the aluminium frame obtained a higher value. Hence, with such assessment criteria, based on the assessment and comparison made, an aluminium frame is the better solution and should be chosen.

If, for the sake of comparison, this assessment was carried out according to the standard APEKS method, leaving, of course, the same assessment values of the compared frames according to the adopted criteria (tab. 5), the results could look as presented in tabs. 8-10.

Table 8

Determining the weights of the criteria adopted in comparison according to the standard APEKS method

Criterion	Forced decisions N=6						Sum of values d_j	Criterion weight value w_j
	1	2	3	4	5	6		
K1 (price)	1	1	1				$d_1 = 3$	$w_1 = 0.5$
K2 (mass)	0			0	1		$d_2 = 1$	$w_2 = 0.17$
K3 (damage resistance)		0		1		1	$d_3 = 2$	$w_3 = 0.33$
K4 (stiffness)			0		0	0	$d_4 = 0$	$w_4 = 0$
								$\Sigma w_j = 1$

Table 9

Relative percentages of estimates according to the standard APEKS method

Criterion	Variant	
	A (aluminium frame)	B (carbon frame)
K1 (price [PLN])	$C_{11} = 10$	$C_{21} = 7.50$
K2 (mass [g])	$C_{12} = 2.07$	$C_{22} = 2.19$
K3 (damage resistance: 1-5)	$C_{13} = 4.57$	$C_{23} = 3.86$
K4 (stiffness: 1-5)	$C_{14} = 1.00$	$C_{24} = 1.00$

Table 10

The critical relative percentages values K_{kri} for the compared frames according to the standard APEKS method

	Variant	
	A (aluminium frame)	B (carbon frame)
K_{kri}	$K_{kri1} = 94.60$	$K_{kri2} = 63.40$
	$K_{kri1} = \max$	

In such a comparison, the aluminium frame also turns out to be better, but the difference in the final scores between the variants (K_{kri} values) is much greater. This is due to the fact that, by using the principle of "forced decisions", the influence on the assessment of the K4 criterion has been completely eliminated. According to this criterion, it is the carbon frame that has a better rating, but with w_4 equal to 0 it had no effect on the final

score (the values of C_{14} and C_{24} are equal to 1). In addition, for the remaining criteria, their weights had to be set by a less flexible principle of assigning values to 1 and 0, which increased the differences between the final weights of the criteria, thus reducing the possibility of accurately reflecting the preferences of the evaluator.

If we consider one more situation, in which only two criteria would be selected for the evaluation - e.g. price (K1) and mass (K2), it can be easily noticed that using the standard APEKS method and determining the weights of the criteria, the evaluator would have to:

- either assign a value of 1 for K1 and a value of 0 for K2 and then $w_1 = 1$ and $w_2 = 0$, which obviously means that the aluminium frame would be better assessed with a better assessment for the price criterion,
- or assign a value of 0 for K1 and a value of 1 for K2 and then $w_1 = 0$ and $w_2 = 1$, which obviously means that the carbon frame would be better assessed with a better assessment for the weight criterion.

Therefore, there would be no other option than the variant with a better rating according to the criterion with the assigned value of 1.

Using the modified method (APEKS 2) in the same case, the evaluators have the option to divide the weights in the share corresponding to their recognition of both criteria, and hence the final grade would result from the division of weights for both criteria and the values of the grades and the differences between them according to both criteria assessment.

The presented calculation example and the indicated additional cases confirm that the proposed modification increases the effectiveness of the method and allows the preferences of the decision-maker to be better reflected in the assessment. This effect is particularly evident with a small number of evaluation criteria.

5. Summary

The proposed method (APEKS 2) for the evaluation and selection of the best solution with mixed evaluation criteria is an improvement of the standard APEKS method. The modified method is more flexible and better reflects the preferences of the evaluators, especially with a small number of evaluation criteria, thus eliminating the disadvantage of the standard method. Most importantly, it eliminates, inevitable in the standard version, the lack of influence of one of the evaluation criteria on the final result when there are only two criteria. Instead, it gives the possibility of dividing the numerical weight between the compared criteria when determining the value of their final weight w_j . The use of a modified method enables a more precise evaluation of the compared variants, allows the preferences and requirements of the evaluator to be better reflected, and thus guarantees a better and more accurate final choice. In the case of important problems, resulting in serious consequences of the decisions made, it gives greater certainty in making the right decision.

Acknowledgement

The research was performed in the framework of a research program done at the AGH University of Science and Technology in Cracow, at the Faculty of Mechanical Engineering and Robotics, the contract number – subsidy 16.16.130.942.

6. Literature

1. Burdzik R.: Parametryczna ważona ocena dostawców (PWOD), cz.1 – podstawowe założenia metody. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport*, 117, 2017.
2. Amiri M.: Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert Systems with Applications*, 37 (9), 2010.
3. Bevilacqua M., Braglia M.: The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection *Reliability Engineering & System Safety*, 70 (1), 2000.
4. Bona G., Forcina A., Falcone D.: Maintenance strategy design in a sintering plant based on a multicriteria approach, *International Journal of Management and Decision Making*, 17 (1), 29–49, 2018, DOI 10.1504/ijmdm.2018.088816.
5. Gałuszka Z., Szybka J.: Przydatność oceny metodą „APEKS” do podejmowania optymalnych decyzji przy mieszanych kryteriach ocen, *Zeszyty Naukowe AGH, Elektryfikacja i Mechanizacja Górnictwa i Hutnictwa*, 83, 1977.
6. Grum, Z.: *Analiza wartości*, PWE, 1973.
7. Jato-Espino D., Castillo-Lopez E., Rodriguez-Hernandez J., Canteras-Jordana J.C.: A review of application of multi-criteria decision making methods in construction, *Automation in Construction*, 45, 2014, DOI 10.1016/j.autcon.2014.05.013.
8. Nowakowski T., Werbińska-Wojciechowska S.: Metody oceny i wyboru dostawców w przedsiębiorstwie - studium przypadku. *Logistyka*, 2, 2012.
9. Szybka J., Pilch R.: APEKS – metoda wspomagająca ocenę jakości działań, in: Salamonowicz, T. (ed), *Niekonwencjonalne metody oceny trwałości i niezawodności*, 315–323, XXXIV Zimowa Szkoła Niezawodności, Szczyrk 2006.
10. Tiwary A.P., Pradhan B.B., Bhattacharyya B.: Application of multi-criteria decision making methods for selection of micro-EDM process parameters, *Advances in Manufacturing*, 2, 2014, DOI 10.1007/s40436-013-0050-1.
11. Triantaphyllou E.: *Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*, Springer 2000, DOI 10.1007/978-1-4757-3157-6.
12. Velasquez M., Hester P.T.: An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods, *International Journal of Operations Research*, 10 (2), 2013.

APEKS 2 JAKO MODYFIKACJA METODY APEKS

1. Wprowadzenie

W wielu sytuacjach, w trakcie projektowania, wytwarzania czy eksploatacji obiektów technicznych zachodzi potrzeba i konieczność dokonania oceny, porównania i wyboru najlepszego spośród różnych możliwych rozwiązań konstrukcyjnych [7], metod wytwarzania, czy strategii działania w eksploatacji obiektów [3, 4, 10]. Zagadnienie to jest również istotne przy wyborze dostawców w przedsiębiorstwie [1, 8]. Problemy oceny i wyboru jednego spośród możliwych wariantów występują również poza obszarem techniki i dotyczą np. decyzji biznesowych, strategii handlowych oraz wielu decyzji podejmowanych w życiu codziennym.

W każdym z takich przypadków, jeśli podejmowana decyzja jest ważna i może mieć znaczące skutki, istotne jest aby wybór nie opierał się wyłącznie na pierwszym wrażeniu, był podyktowany wyłącznie intuicją lub doświadczeniem, ale uwzględniał szereg miarodajnych kryteriów oceny. Dają one w efekcie nie tylko bardziej precyzyjny i trafny wybór, ale przede wszystkim umożliwiają merytoryczne jego uzasadnienie. Poparcie dokonanego wyboru wynikami obliczeń daje decydentowi potwierdzenie słuszności wyboru, możliwość jego udokumentowania, późniejszego odtworzenia oraz wykorzystania a uzyskanie liczbowo wyrażonej oceny porównywanych rozwiązań uwidacznia również istniejące między nimi różnice i pozwala wyspecyfikować wady i zalety każdego z nich [11, 12].

Właściwie przeprowadzona metodyka postępowania zawiera zbiór kryteriów rozłącznych znaczeniowo, uporządkowanych według określonych przez prowadzącego postępowanie priorytetów. Kryteria zostają również podzielone na dwa podzbiory, tj. ilościowe (kwantytatywne) oraz jakościowe (kwalitatywne) [5, 11]. Ich bezpośrednie porównywanie jest zawsze trudne, gdyż wartości ocen w świetle różnych kryteriów są wyrażone w różnych jednostkach lub ezwymiarowo. Dodatkowo częstym przypadkiem jest, że przyjęte do oceny kryteria mają zróżnicowane znaczenie i stąd w dokonywanej ocenie i obliczeniach należy przypisać im odpowiednie wagi wynikające z wymagań czy preferencji decydenta.

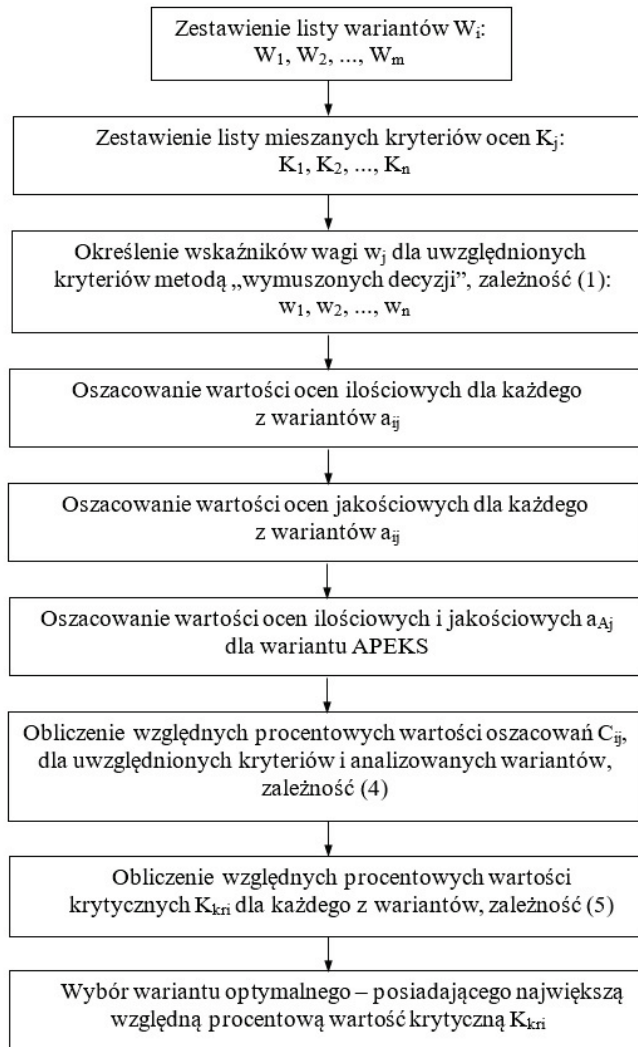
Podejmowanie decyzji na podstawie metod wielokryterialnych jest istotne. Metody oraz techniki w tym obszarze są powszechnie znane i rozwijane od wielu lat [11, 12]. W większości opracowań, w ramach klasyfikacji metod oraz ich stosowania, wyróżnia się przede wszystkim: metodę sumy ważonej (WSM - Weighted Sum Model), zbliżoną do niej metodę produktu ważonego (WPM - Weighted Product Model), proces analizy hierarchicznej (AHP

- Analytic Hierarchy Process), metodę eliminacji poprzez porównania parami w świetle każdego z kryterium (ELECTRE - Elimination and Choice Translating Reality) oraz metody porównywania do najlepszego rozwiązania (TOPSIS - Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) [2, 11, 12]. Metody ELECTRE i TOPSIS są najszerzej i najczęściej stosowane oraz posiadają różne modyfikacje. Wyróżnione metody są również stosowane jako rozwiązania połączone, nazywane hybrydowymi [7].

Jedną z ciekawych, efektywnych i relatywnie prostych w zastosowaniu (a przez to użytecznych w wielu praktycznych sytuacjach) metod służących do oceny i wyboru najlepszego wariantu rozwiązania jest metoda APEKS [5], której modyfikację (APEKS 2) przedstawiono w niniejszym opracowaniu. Zaproponowana modyfikacja ma na celu udoskonalenie metody, poprzez zwiększenie jej elastyczności i czułości na preferencje decydenta, a w szczególności zwiększenie efektywności przy niewielkiej liczbie przyjętych do oceny kryteriów.

2. Metoda APEKS

Metodę APEKS, przedstawioną w [4], można zaliczyć do metod z grupy TOPSIS. Jej głównym elementem jest porównywanie istniejących (ocenianych) rozwiązań do jednego, najlepszego (tutaj fikcyjnego) określanego mianem w tej metodzie wariantem APEKS. Metoda ta pozwala na dokonanie wyboru najlepszego wariantu przy zastosowaniu mieszanych kryteriów oceny. Należy to rozumieć jako możliwość wykorzystania w ocenie kryteriów zarówno ilościowych, jak i jakościowych. Kryteria ilościowe wyrażane są w bezpośrednich jednostkach określających np. trwałość, ciężar, koszty, czas, niezawodność. Do kryteriów jakościowych zaliczyć można te, które wyraża się za pomocą przyjętych umownie wielkości, jak np. łatwość obsługi, prostota konstrukcji, walory estetyczne itp. Wartości ocen dla kryteriów ilościowych powinny być wyznaczone przez bezpośrednie pomiary wielkości lub obliczenia. Natomiast dla kryteriów jakościowych powinny być określone przez decydenta lub grupę ekspertów z danej dziedziny, a jedną z możliwości wyrażenia ich wartości jest przyjęcie odpowiedniej skali, np. dziesięciopunktowej. Ważne jest, aby przyjęte do oceny kryteria były różne i niezależne od siebie. APEKS, do którego porównywane są pozostałe rozważane warianty, jest fikcyjny, powstający w efekcie przypisania mu najlepszych wartości ocen, jakie posiadają warianty rzeczywiste w świetle poszczególnych kryteriów oceny. Tok postępowania w metodzie APEKS zobrazowano na rys. 1.



Rys. 1. Schemat procedury postępowania w metodzie APEKS

Aby ocena i porównanie było możliwe i sensowne muszą być porównywane przynajmniej dwa warianty i konieczne jest przyjęcie przynajmniej dwóch różnych i niezależnych kryteriów oceny. Zgodnie z procedurą przedstawioną na rys. 1, w pierwszych dwóch krokach należy zestawić porównywane rozwiązania, z których ma zostać wybrane jedno najlepsze i należy określić kryteria, według których będą one oceniane. Następnie wyznacza się wagi w_j dla przyjętych kryteriów oceny, stosując tzw. metodę „wymuszonych decyzji” [5]. Polega ona na porównywaniu parami każdego kryterium z każdym i przypisywaniu wartości 1 temu, które według oceniającego jest ważniejsze

i odpowiednio wartości 0 dla kryterium mniej ważnego. Konieczność przypisania jednemu z porównywanej pary wartości 1, a drugiemu wartości 0 odzwierciedla zasadę wymuszenia podjęcia decyzji. Wartość wagi końcowej w_j dla danego kryterium określa równanie [5]:

$$w_j = \frac{d_j}{N} \quad (1)$$

gdzie:

d_j – suma wartości jaką uzyskało j -te kryterium we wszystkich porównaniach,

N – liczba wszystkich wymuszonych decyzji, którą określa zależność (2),

$$N = \frac{n \cdot (n-1)}{2} \quad (2)$$

gdzie:

n – liczba przyjętych kryteriów oceny.

Przykładowy sposób wyznaczania wag kryteriów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Wyznaczanie wag kryteriów metodą „wymuszonych decyzji”

Kryterium	Wymuszone decyzje N=10										Suma wartości d_j	Wskaźnik wagi kryterium w_j
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
K1	1	0	1	1							$d_1 = 3$	$w_1 = 0,3$
K2	0				0	1	1				$d_2 = 2$	$w_2 = 0,2$
K3		1			1			0	0		$d_3 = 2$	$w_3 = 0,2$
K4			0			0		1		0	$d_4 = 1$	$w_4 = 0,1$
K5				0			0		1	1	$d_5 = 2$	$w_5 = 0,2$

Z przyjętego sposobu wyznaczania wag w_j wynika warunek ich sumy, który zgodnie z zależnością (3) musi wynosić 1:

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

W kolejnym kroku decydent lub grupa ekspertów wyznacza lub szacuje wartości ocen a_{ij} dla każdego spośród wariantów w świetle przyjętych kryteriów oceny. Na tej podstawie określony zostaje wariant APEKS, któremu przypisuje się najlepsze wartości ocen w świetle każdego z kryteriów, oznaczone jako a_{Aj} .

Następnie, na podstawie oszacowanych wartości ocen wariantów a_{ij} i a_{Aj} wyznacza się względne procentowe wartości oszacowań C_{ij} , dla uwzględnionych kryteriów i analizowanych wariantów [5]:

$$C_{ij} = \left[\left(\frac{a_{ij}}{a_{Aj}} \right)^{\pm 1} \cdot 100 \right]^{w_j} \quad (4)$$

gdzie:

a_{ij} – wartość oceny dla i -tego wariantu w świetle j -tego kryterium oceny,

a_{Aj} – wartość oceny dla wariantu APEKS w świetle j -tego kryterium oceny.

Występujący w równaniu (4) wykładnik potęgowy (oznaczony ± 1) przyjmuje się równy $+1$ dla tych kryteriów, dla których większa wartość oceny jest lepsza, natomiast dla takich kryteriów, dla których mniejsza wartość oceny jest lepsza stosuje się wykładnik potęgowy równy -1 . W przypadku kryteriów jakościowych, gdy przyjęto ocenę w skali punktowej i przyjęto, że lepszej ocenie przyznaje się więcej punktów, a gorszej ocenie odpowiednio mniej, stosuje się wykładnik potęgowy $+1$.

W przedostatnim kroku następuje wyznaczenie względnych procentowych wartości krytycznych K_{kri} dla każdego z wariantów [5], przy zastosowaniu wzoru (5):

$$K_{kri} = \prod_{j=1}^{j=m} C_{ij} \quad (5)$$

Ostatnim etapem w standardowej metodzie APEKS jest wybór najlepszego z porównywanych wariantów, a jest nim ten, który ma największą wartość względnego procentowego oszacowania K_{kri} . Uzyskana wartość K_{kri} określa, w jakim stopniu dany wariant odzwierciedla wariant najlepszy, jakim jest APEKS. Im uzyskana wartość bliższa jest 100, tym bardziej dany wariant zbliżył się do wariantu APEKS. Na tej podstawie można również wnioskować, jakie kryteria należy poprawić w danym wariantcie, aby stał się lepszy. Przykład wykorzystania metody można znaleźć m.in. w [9].

3. Modyfikacja metody APEKS – APEKS 2

Proponowana modyfikacja metody APEKS dotyczy zastosowanej w niej zasady „wymuszonych decyzji”, zgodnie z którą wyznaczane są wagi kryteriów przyjętych w ocenie. Niewątpliwie zaletą metody APEKS jest to, że pozwala ona na wyznaczenie wag kryteriów, pomimo faktu, że porównywane kryteria mogą być zarówno jakościowe, jak i ilościowe i w praktyce są trudno porównywalne lub nieporównywalne. Niemniej jako wadę zasady „wymuszonych decyzji” można zauważyć możliwość całkowitego wyeliminowania wpływu dowolnego kryterium na przeprowadzaną ocenę. Dzieje się tak w przypadku gdy dane kryterium w wyniku przeprowadzenia operacji porównania uzyska sumę punktów d_j równą 0. Wskaźnik wagi w_j dla tego kryterium będzie miał wtedy wartość równą 0, a obliczona według zależności (4) wartość C_{ij} będzie wtedy równa 1 dla wszystkich porównywanych wariantów. Jeśli zajdzie taki przypadek, warianty, które w świetle tego kryterium mają duże wartości ocen a_{ij} , całkowicie tracą tę przewagę i w żaden sposób nie jest ona już uwzględniona w ocenie końcowej. Natomiast warianty, które w świetle tego

kryterium otrzymały gorsze oceny w stosunku do pozostałych, nic nie tracą. Prawdopodobieństwo wystąpienia takiego przypadku maleje ze wzrostem liczby kryteriów, a wzrasta, gdy liczba kryteriów maleje. Zawsze stanowi pewny przypadek w sytuacji, w której do oceny przyjęte są tylko dwa kryteria. Można jednak stwierdzić, że skoro jakieś kryterium zostało przyjęte do oceny, to znaczy, że ma ono istotne znaczenie i warianty mające w świetle tego kryterium wysokie wartości ocen a_{ij} nie powinny ich tracić. Taki sposób wyznaczania wag kryteriów, szczególnie przy niewielkiej ich liczbie, może być zatem mało efektywny i stanowi wadę standardowej metody APEKS. Przykład takiej sytuacji zamieszczono w tabeli 2, gdzie kryterium K4 straciło znaczenie.

Tabela 2

Przykład utraty znaczenia kryterium w metodzie „wymuszonych decyzji”

Kryterium	Wymuszone decyzje N=10										Suma wartości d_j	Wskaźnik wagi kryterium w_j
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
K1	1	0	1	1							$d_1 = 3$	$w_1 = 0,3$
K2	0				0	1	1				$d_2 = 2$	$w_2 = 0,2$
K3		1			1			1	0		$d_3 = 3$	$w_3 = 0,3$
K4			0			0		0		0	$d_4 = 0$	$w_4 = 0$
K5				0			0		1	1	$d_5 = 2$	$w_5 = 0,2$

W celu wyeliminowania przedstawionej wady metody APEKS, w metodzie APEKS 2 zaproponowano zmianę sposobu wyznaczania wag kryteriów według zasady „wymuszonych decyzji”. Zmiana polega na tym, że dopuszcza się możliwość podziału przydzielanej wartości 1 na obydwa porównywane ze sobą w parze kryteria, ale tak aby przydzielone wartości w sumie dawały wartość dokładnie równą 1. Porównanie kryteriów w parach i przydział wartości należy rozstrzygać na zasadzie odpowiedzi na pytanie: gdyby istniały tylko te dwa kryteria, to w jakiej proporcji (której wartości dają łącznie wartość równą 1) oceniający przydzieliłby im ważność (znaczenie) w dokonywanej ocenie. Wynika to stąd, że pozostawia się możliwość, iż jedno z kryteriów będzie miało wartość 1 a drugie 0 w ich bezpośrednim porównaniu, jeśli tak zdecyduje oceniający, ale nie wymusza się podjęcia decyzji, że w każdej porównywanej parze, jedno z kryteriów jest bezwzględnie ważniejsze od drugiego. Dzięki zaproponowanej zmianie pojawia się natomiast możliwość dowolnego, według uznania oceniającego, podziału liczbowej wagi w porównywanych parach kryteriów. Pozwala to również na uwzględnienie sytuacji, w której np. obydwa kryteria są jednakowo ważne dla oceniającego.

Po dokonaniu porównań kryteriów w parach i przydzieleniu wartości wag ostateczną wagę w_j danego kryterium ustala się identycznie jak w standardowej wersji metody APEKS, czyli według zależności (1). Przykład takiego podejścia zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 3

Przykład wyznaczania wag kryteriów metodą zmodyfikowaną

Kryterium	Wymuszone decyzje N=10										Suma wartości d_j	Wskaźnik wagi kryterium w_j
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
K1	0,5	0,4	0,9	0,7							$d_1 = 2,5$	$w_1 = 0,25$
K2	0,5				0,2	0,6	0,5				$d_2 = 1,8$	$w_2 = 0,18$
K3		0,6			0,8			0,6	0,3		$d_3 = 2,3$	$w_3 = 0,23$
K4			0,1			0,4		0,4		0,4	$d_4 = 1,3$	$w_4 = 0,13$
K5				0,3			0,5		0,7	0,6	$d_5 = 2,1$	$w_5 = 0,21$

W proponowanym rozwiązaniu nie występuje już konieczność zerowania wagi końcowej w_j jednego z kryteriów (gdyby w ocenie przyjęte były tylko dwa), a jednocześnie pozostawia się taką możliwość, jeśli byłaby ona zamierzona i wynikała z decyzji i preferencji oceniającego. Możliwość ta pozostaje również w przypadku liczby kryteriów oceny większej niż dwa. Zmieniony sposób wyznaczania wag poszczególnych kryteriów staje się bardziej precyzyjny i daje większą możliwość odzwierciedlenia preferencji oceniającego. Można również zauważyć, że jest bardziej elastyczny, a stąd dokonana ocena i porównanie będą bardziej dokładne i wiarygodne.

4. Przykład stosowania metody APEKS 2

Sposób postępowania i wpływ proponowanych zmian na ocenę i wybór jednego z wariantów rozwiązania przedstawiono na przykładzie dotyczącym wyboru jednej z dwóch możliwych ram rowerowych, stosowanych w rowerach trekkingowych. Rama A jest ramą wykonaną ze stopu aluminium 6061, a rama B jest ramą wykonaną z włókna węglowego, czyli tzw. ramą karbonową. Jako kryteria ilościowe (kwantytatywne) oceny wybrano cenę ramy (K1) i jej masę (K2). Jako kryteria jakościowe (kwalitatywne) wybrano odporność na uszkodzenia mechaniczne (K3) oraz sztywność ramy (K4). Dla przyjętych kryteriów przyjęto odpowiedni sposób dokonywania oceny. Kryteria K1 i K2 dla obu wariantów mają wartości określone przez producenta (masa ramy) i sprzedawcę (cena ramy). Ponadto, zarówno w przypadku ceny, jak i masy, im wartość jest mniejsza tym lepiej. Dla kryteriów jakościowych przyjęto ocenę w skali pięciopunktowej, której dokona oceniający, przydzielając tym więcej punktów im lepsza będzie ocena w świetle danego kryterium. W przypadku kryterium odporności na uszkodzenia mechaniczne im odporność będzie większa, tym oczywiście lepiej. Natomiast w przypadku sztywności to im mniejsza sztywność ramy, tym lepsza ocena i więcej punktów. Wynika to z faktu, że cecha ta decyduje o możliwości tłumienia drgań i zmniejszania efektu przenoszenia ich na ciało rowerzysty (tłumienie to jest większe w mniej sztywnej ramie). Jest to istotne podczas jazdy

w terenie i stąd w tym przypadku mniejsza sztywność stanowi efekt pożądany. Rama o mniejszej sztywności otrzyma więc więcej punktów w ocenie.

Ponieważ przyjęto cztery kryteria oceny, liczba koniecznych porównań N będzie wynosiła 6. W tabeli 4 zamieszczono porównanie kryteriów wykonane zgodnie ze zmodyfikowaną metodą APEKS 2 i wyznaczone na tej podstawie wagi w_j dla poszczególnych kryteriów.

Tabela 4

Wyznaczenie wag kryteriów przyjętych w porównaniu ram rowerowych

Kryterium	Wymuszone decyzje N=6						Suma wartości d_j	Wskaźnik wagi kryterium w_j
	1	2	3	4	5	6		
K1 (cena)	0,5	0,7	0,8				$d_1 = 2,0$	$w_1 = 0,33$
K2 (masa)	0,5			0,4	0,6		$d_2 = 1,5$	$w_2 = 0,25$
K3 (odporność na uszkodzenia)		0,3		0,6		0,7	$d_3 = 1,6$	$w_3 = 0,27$
K4 (sztywność)			0,2		0,4	0,3	$d_4 = 0,9$	$w_4 = 0,15$
								$\Sigma w_j = 1$

Następnie dokonano oceny każdego z rozpatrywanych wariantów w świetle każdego z przyjętych kryteriów oceny. Wyznaczone wartości ocen a_{ij} zamieszczono w tabeli 5. Dysponując wartościami ocen, określono wariant APEKS jako posiadający najlepsze oceny przyznane w świetle każdego z kryteriów rozpatrywanym ramom rowerowym. Wariant APEKS również zamieszczono w tabeli 5.

Tabela 5

Wartości ocen porównywanych ram w świetle przyjętych kryteriów oraz wartości ocen wariantu APEKS

Kryterium	Wariant		Wariant APEKS
	A (rama aluminiowa)	B (rama karbonowa)	
K1 (cena [PLN])	1490	2650	1490
K2 (masa [g])	1800	1290	1290
K3 (odporność na uszkodzenia)	5	3	5
K4 (sztywność)	2	4	4

Wykorzystując wartości ocen a_{ij} oraz a_{Aj} , według zależności (4) obliczono względne procentowe wartości oszacowań C_{ij} a wyniki obliczeń przedstawia tabela 6.

Tabela 6

Względne procentowe wartości oszacowań

Kryterium	Wariant	
	A (rama aluminiowa)	B (rama karbonowa)
K1 (cena [PLN])	$C_{11} = 4,57$	$C_{21} = 3,78$
K2 (masa [g])	$C_{12} = 2,91$	$C_{22} = 3,16$
K3 (odporność na uszkodzenia: 1-5)	$C_{13} = 3,47$	$C_{23} = 3,02$
K4 (sztywność: 1-5)	$C_{14} = 1,80$	$C_{24} = 2,00$

Obliczone na podstawie zależności (5) względne procentowe wartości krytyczne K_{kri} dla każdego z wariantów przedstawiono w tabeli 7.

Tabela 7

Względne procentowe wartości krytyczne K_{kri} dla porównywanych ram

	Wariant	
	A (rama aluminiowa)	B (rama karbonowa)
K_{kri}	$K_{kr1} = 83,06$	$K_{kr2} = 72,14$
	$K_{kr1} = \max$	

Porównując wartości K_{kri} , jakie uzyskały oceniane ramy, widać, że większą wartość uzyskała rama aluminiowa. Stąd też przy takich kryteriach oceny, opierając się na przeprowadzonej ocenie i dokonanym porównaniu, lepszym rozwiązaniem jest rama aluminiowa i ją należałoby wybrać.

Gdyby dla porównania przeprowadzić tę ocenę standardową metodą APEKS, pozostawiając oczywiście takie same wartości ocen porównywanych ram w świetle przyjętych kryteriów (tabela 5), to wyniki mogłyby wyglądać tak jak przedstawiają tabele 8-10.

Tabela 8

Wyznaczenie wag kryteriów przyjętych w porównaniu według standardowej metody APEKS

Kryterium	Wymuszone decyzje N=6						Suma wartości d_j	Wskaźnik wagi kryterium w_j
	1	2	3	4	5	6		
K1 (cena)	1	1	1				$d_1 = 3$	$w_1 = 0,5$
K2 (masa)	0			0	1		$d_2 = 1$	$w_2 = 0,17$
K3 (odporność na uszkodzenia)		0		1		1	$d_3 = 2$	$w_3 = 0,33$
K4 (sztywność)			0		0	0	$d_4 = 0$	$w_4 = 0$
								$\Sigma w_j = 1$

Tabela 9

Względne procentowe wartości oszacowań według standardowej metody APEKS

Kryterium	Wariant	
	A (rama aluminiowa)	B (rama karbonowa)
K1 (cena [PLN])	$C_{11} = 10$	$C_{21} = 7,50$
K2 (masa [g])	$C_{12} = 2,07$	$C_{22} = 2,19$
K3 (odporność na uszkodzenia)	$C_{13} = 4,57$	$C_{23} = 3,86$
K4 (sztywność)	$C_{14} = 1,00$	$C_{24} = 1,00$

Tabela 10

Względne procentowe wartości krytyczne K_{kri} dla porównywanych ram według standardowej metody APEKS

	Wariant	
	A (rama aluminiowa)	B (rama karbonowa)
K_{kri}	$K_{kr1} = 94,60$	$K_{kr2} = 63,40$
	$K_{kr1} = \max$	

W porównaniu metodą APEKS również lepsza okazuje się rama aluminiowa, jednak powstała różnica w ocenach końcowych między wariantami (wartości K_{kri}) jest zdecydowania większa. Wynika to z faktu, że poprzez wykorzystanie zasady „wymuszonych decyzji” doszło tu do całkowitego wyeliminowania wpływu na ocenę kryterium K4. W świetle tego kryterium to rama karbonowa ma lepszą ocenę, ale przy w_4 równym 0 nie miało to już żadnego wpływu na ocenę końcową (wartości C_{14} i C_{24} są równe 1). Ponadto przy pozostałych kryteriach ich wagi musiały być ustalane przez mniej elastyczną zasadę przydzielania wartości 1 i 0, co zwiększyło różnice między końcowymi wagami kryteriów, zmniejszając tym samym możliwość precyzyjnego odzwierciedlenia preferencji oceniającego.

Gdyby rozważyć jeszcze jedną sytuację, taką w której do oceny zostałyby wybrane tylko dwa kryteria – np. cena (K1) i masa (K2), to można łatwo zauważyć, że stosując standardową metodę APEKS i dokonując wyznaczenia wag kryteriów, oceniający musiałby:

- albo przydzielić wartość 1 dla K1, a wartość 0 dla K2 i wtedy $w_1=1$ a $w_2=0$, co w oczywisty sposób powoduje, że lepsza w ocenie byłaby rama aluminiowa, mając lepszą ocenę przy kryterium ceny,
- albo przydzielić wartość 0 dla K1, a wartość 1 dla K2 i wtedy $w_1=0$ a $w_2=1$, co w oczywisty sposób powoduje, że lepsza w ocenie byłaby rama karbonowa, mając lepszą ocenę przy kryterium masy.

Nie byłoby tu więc innej możliwości niż wygrana wariantu mającego lepszą ocenę w świetle kryterium, któremu przydzielono wartość 1.

Stosując w tym samym przypadku zmodyfikowaną metodę (APEKS 2), oceniający ma możliwość podzielić wagi, w odpowiadającym jego uznaniu udziale, na oba kryteria i stąd ocena końcowa wynikałaby zarówno z podziału wag dla obu kryteriów, jak i wartości ocen oraz różnic między nimi w świetle obu kryteriów oceny.

Przedstawiony przykład obliczeniowy i wskazane dodatkowe przypadki potwierdzają, że proponowana modyfikacja zwiększa efektywność metody i pozwala lepiej odzwierciedlać w ocenie preferencje decydenta. Efekt ten jest szczególnie widoczny przy małej liczbie kryteriów oceny.

5. Podsumowanie

Przedstawiona propozycja metody (APEKS 2) służąca do oceny i wyboru najlepszego rozwiązania przy mieszanych kryteriach oceny jest udoskonaleniem standardowej metody APEKS. Zmodyfikowana metoda jest bardziej elastyczna i lepiej oddaje preferencje oceniających szczególnie przy niewielkiej liczbie kryteriów oceny, niwelując tym samym wadę metody standardowej. Co najważniejsze, eliminuje, nieuniknione w standardowej wersji, brak wpływu jednego z kryteriów oceny na wynik końcowy, gdy występowały tylko dwa kryteria. W zamian daje możliwość podziału liczbowej wagi między porównywanymi kryteriami przy wyznaczaniu wartości ich wagi końcowej w_j . Stosowanie zmodyfikowanej metody umożliwia precyzyjniejszą ocenę porównywanych wariantów, pozwala lepiej odzwierciedlać preferencje i wymagania oceniającego, a przez to gwarantuje lepszy i bardziej trafny ostateczny wybór. W przypadku ważnych problemów, skutkujących poważnymi konsekwencjami podjętych decyzji, daje przez to większą pewność podjęcia słusznej decyzji.

Źródło finansowania

Pracę wykonano w ramach badań prowadzonych w Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, nr umowy – subwencja 16.16.130.942.

6. Literatura

1. Burdzik R.: Parametryczna ważona ocena dostawców (PWOD), cz.1 – podstawowe założenia metody. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, 117, 2017.
2. Amiri M.: Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods. Expert Systems with Applications, 37 (9), 2010.

3. Bevilacqua M., Braglia M.: The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection *Reliability Engineering & System Safety*, 70 (1), 2000.
4. Bona G., Forcina A., Falcone D.: Maintenance strategy design in a sintering plant based on a multicriteria approach, *International Journal of Management and Decision Making*, 17 (1), 29–49, 2018, DOI 10.1504/ijmdm.2018.088816.
5. Gałuszka Z., Szybka J.: Przydatność oceny metodą „APEKS” do podejmowania optymalnych decyzji przy mieszanych kryteriach ocen, *Zeszyty Naukowe AGH, Elektryfikacja i Mechanizacja Górnictwa i Hutnictwa*, 83, 1977.
6. Grum, Z.: *Analiza wartości*, PWE, 1973.
7. Jato-Espino D., Castillo-Lopez E., Rodriguez-Hernandez J., Canteras-Jordana J.C.: A review of application of multi-criteria decision making methods in construction, *Automation in Construction*, 45, 2014, DOI 10.1016/j.autcon.2014.05.013.
8. Nowakowski T., Werbińska-Wojciechowska S.: Metody oceny i wyboru dostawców w przedsiębiorstwie - studium przypadku. *Logistyka*, 2, 2012.
9. Szybka J., Pilch R.: APEKS – metoda wspomagająca ocenę jakości działań, in: Salamonowicz, T. (ed), *Niekonwencjonalne metody oceny trwałości i niezawodności*, 315–323, XXXIV Zimowa Szkoła Niezawodności, Szczyrk 2006.
10. Tiwary A.P., Pradhan B.B., Bhattacharyya B.: Application of multi-criteria decision making methods for selection of micro-EDM process parameters, *Advances in Manufacturing*, 2, 2014, DOI 10.1007/s40436-013-0050-1.
11. Triantaphyllou E.: *Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*, Springer 2000, DOI 10.1007/978-1-4757-3157-6.
12. Velasquez M., Hester P.T.: An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods, *International Journal of Operations Research*, 10 (2), 2013.

