

Economic sub-criteria included in multi-criteria analyses of different national road route options

Podkryteria ekonomiczne ujmowane w analizach wielokryterialnych różnych wariantów przebiegu dróg krajowych

DOI: 10.15199/33.2024.12.15

Abstract. The possibility of achieving a single, common result in the face of the existence of a multidimensional, complex decision problem is the domain of multi-criteria analyses, often used in the evaluation of road investment options. The lack of standardised guidelines for carrying out analyses affects the freedom to select criteria, sub-criteria, and their impact weights. The article emphasizes particularly the economic sub-criteria included in sample design documents for the construction of bypasses and ring roads in Poland. It has been found that the most frequently occurring sub-criterion was the development cost/construction cost and the economic internal rate of return. **Keywords:** multi-criteria analysis; economic criterion; sub-criteria of the economic criterion.

Streszczenie. Możliwość osiągnięcia jednego, wspólnego rezultatu w obliczu wielowymiarowego, złożonego problemu decyzyjnego to domena analiz wielokryterialnych, wykorzystywanych często w ocenie wariantów inwestycji drogowych. Brak ujednoczonych wytycznych wykonywania analiz wpływa na swobodę w doborze kryteriów, podkryteriów i wag ich oddziaływania. W artykule zwrócono szczególną uwagę na podkryteria ekonomiczne ujmowane w przykładowych dokumentacjach projektowych budowy obwodnic i dróg ekspresowych na terenie Polski. Ustalono, że najczęściej pojawiającym się podkryterium jest koszt realizacji inwestycji/koszt budowy oraz ekonomiczna wewnętrzna stopa zwrotu. **Słowa kluczowe:** analiza wielokryterialna; kryterium ekonomiczne; podkryteria kryterium ekonomicznego.

The multi-criteria analyses are a variety of methods, tools, and techniques (as early as in the 1980s more than 100 different approaches have been identified) [1], through which an optimal selection of criteria relevant to the implementation and operation of the solution can be made. Originating in mathematical sciences and operations research [2 ÷ 4], they have developed rapidly in recent years. They owe their popularity primarily to their ability to achieve a single common outcome when faced with the existence of a multidimensional complex decision-making problem (often viewed from conflicting perspectives, containing conflicting data).

An example of the inevitable complex decision-making process are „transport” projects [5 ÷ 8]. In addition to several important aspects, often described both quantitatively and qualitatively (economic, environmental, technical, spatial, and social aspects) they include possible alternatives (solutions) and significant number of stakeholders. The basis for such a „broad” approach are, among other things, the legal requirements that have been introduced to limit the negative impact of investments (not only roads) on the environment, as set out, inter alia, in:

- Directive 2001/42/EC of the European Parliament and of Council of 27 June 2001 on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment (SEA) [9];
- Council Directive 85/337/EEC of 27 June 1985 on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment (EIA) [10].

Analizy wielokryterialne to różne metody, narzędzia i techniki (już w latach osiemdziesiątych XX wieku zidentyfikowano ponad 100 różnych podejść) [1], dzięki którym można dokonać optymalnego wyboru kryteriów istotnych z punktu widzenia realizacji i funkcjonowania rozwiązania. Zapoczątkowane w naukach matematycznych i badaniach operacyjnych [2 ÷ 4] rozwinęły się dynamicznie w ostatnich latach. Popularność swą zawdzięczają przede wszystkim możliwości osiągnięcia jednego, wspólnego rezultatu, w obliczu istnienia wielowymiarowego, złożonego problemu decyzyjnego (często postrzeganego ze sprzecznych perspektyw, zawierającego sprzeczne dane).

Przykładem nieuniknionego, złożonego procesu decyzyjnego są projekty „transportowe” [5 ÷ 8]. Zawierają one, oprócz kilku ważnych aspektów, często opisywanych zarówno ilościowo, jak i jakościowo (aspekty ekonomiczne, środowiskowe, techniczne, przestrzenne i społeczne), również możliwe alternatywy (rozwiązania) oraz niemałą liczbę interesariuszy. Podstawą tak „szerokiego” podejścia są m.in. wymagania prawne, które wprowadzono, by ograniczyć negatywny wpływ inwestycji (nie tylko dróg) na środowisko, określone m.in. w:

- Dyrektywie 2001/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 27 czerwca 2001 r. w sprawie oceny wpływu niektórych planów i programów na środowisko (SEA) [9];
- Dyrektywie Rady 85/337/EWG z 27 czerwca 1985 r. w sprawie oceny skutków wywieranych przez niektóre przedsięwzięcia publiczne i prywatne na środowisko (OOŚ) [10].

W ramach oceny oddziaływania na środowisko niezbędne jest przeanalizowanie racjonalnych propozycji projektowych i wybór

¹⁾ Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku; e.oldakowska@pb.edu.pl

As part of the environmental impact assessment it is necessary to analyse reasonable project proposals and select the one that is most beneficial from an environmental point of view, which means the least possible impact on people, fauna, flora, soil, water, air, climate, landscape, as well as material assets and cultural heritage. The selection methods are not specified, but they should be objective and based upon reliable information, as subjective evaluation and the selection of inappropriate analysis methods may lead to wrong decisions.

Criteria included in multi-criteria analyses of various road investment options

A road investment is a project that is realized in many years and for many years. The cycle of its execution begins with preparatory work, with the corridor study being the basic design document presenting the new investment project. It identifies the location of the strip of land to be used for the new road, together with an analysis of the project area to enable a decision to be made on whether to proceed. The next stage is the development of a “Technical-Economic-Environmental Study” (STEŚ), often combined with the production of elements of a programme concept (STEŚ – R). STEŚ makes it possible to make a preliminary estimate of the material, financial, and economic scope, to concretise the course of individual road variants, to finally establish the types and basic technical parameters of the facilities, and provides a great deal of information relevant from the investor's point of view. This is also the phase of public consultations, thanks to which various entities who are the recipients of the planned project have the opportunity to learn about the plans and express their own comments and suggestions on the final shape of the adopted solutions. The route options presented are considered from various angles, the most common of which are criteria of a functional-technical, environmental, economic, and social nature [11 ÷ 17]. Among the main criteria, there are sub-criteria that are a meaningful representation of a specific set of characteristics. It is also sometimes the case that sub-criteria are characterised by individual characteristics that are relevant within a given criterion. It is advisable to base the analysis upon as many evaluation criteria and appropriately selected weights as possible, because only then a structured decision-making space will be provided that will help project stakeholders to make a choice in a transparent manner. It will also enable a compromise to be made between costs and benefits when selecting the best of the alternatives. Regardless the number of criteria, they should be characterised by [18 ÷ 21]:

- clarity;
- completeness (check if all important criteria have been taken into account);
- universality (should characterise each option);
- measurability (quantitative, qualitative);
- mutual independence;
- easiness of “managing” (without unnecessary analytical effort);
- lack of redundancy (criteria that are considered to be excessively similar to others should be excluded from the list

takiej, która jest najkorzystniejsza z punktu widzenia środowiska, co oznacza jak najmniejsze oddziaływanie na: ludzi; faunę; florę; glebę; wodę; powietrze; klimat; krajobraz oraz dobra materialne i dziedzictwo kulturowe. Nie określono metod wyboru, ale powinny one być obiektywne i opierać się na wiarygodnych informacjach, bowiem subiektywna ocena i dobór niewłaściwych metod analizy może prowadzić do mylnych decyzji.

Kryteria ujmowane w wielokryterialnych analizach różnych wariantów inwestycji drogowych

Inwestycja drogowa to projekt realizowany przez lata i na lata. Cykl jej wykonania rozpoczyna się od prac przygotowawczych, a podstawowym dokumentem projektowym prezentującym nowe przedsięwzięcie inwestycyjne jest studium korytarzowe. Określa ono lokalizację pasa terenu przeznaczonego pod nową drogę wraz z analizą obszaru projektu, umożliwiającą podjęcie decyzji o prowadzeniu dalszych prac. Etap kolejny to opracowanie „Studium techniczno-ekonomiczno-środowiskowego” (STEŚ), często łączonego z wykonaniem elementów koncepcji programowej (STEŚ – R). STEŚ umożliwia wstępne oszacowanie zakresu rzeczowego, finansowego i ekonomicznego, konkretyzację przebiegu poszczególnych wariantów dróg, ostateczne ustalenie typów oraz podstawowych parametrów technicznych obiektów, a także dostarcza wielu informacji istotnych z punktu widzenia inwestora. To również faza konsultacji społecznych, dzięki którym różne podmioty, będące odbiorcami planowanego przedsięwzięcia, mają możliwość zapoznania się z zamierzeniami i wyrażenia własnych uwag oraz sugestii co do ostatecznego kształtu przyjętych rozwiązań. Prezentowane warianty przebiegu tras rozpatrywane są pod różnymi względami, wśród których najczęściej wymienia się kryteria o charakterze funkcjonalno-technicznym, środowiskowym, ekonomicznym i społecznym [11 ÷ 17]. Wśród kryteriów głównych wyróżnia się podkryteria będące miarodajną reprezentacją określonego zespołu cech. Bywa też tak, że podkryteria cechują się indywidualną charakterystyką istotną w ramach danego kryterium. Wskazuje się, by analiza oparta była na jak największej liczbie kryteriów oceny i odpowiednio dobranych wagach, bowiem tylko wtedy zostanie zapewniona uporządkowana przestrzeń decyzyjna, która pomoże interesariuszom projektu w przejrzysty sposób dokonać wyboru. Umożliwi też osiągnięcie kompromisu pomiędzy kosztami i korzyściami przy wyborze najlepszego spośród alternatywnych wariantów. Niezależnie od liczby kryteriów powinny one charakteryzować się [18 ÷ 21]:

- czytelnością;
- kompletnością (należy sprawdzić, czy uwzględniono wszystkie ważne kryteria);
- uniwersalnością (charakteryzować każdą opcję);
- mierzalnością (ilościowo, jakościowo);
- wzajemną niezależnością;
- łatwością „zarządzania” (bez niepotrzebnego wysiłku analitycznego);
- brakiem redundancji (kryteria, które uznano za nadmierne podobne do innych należy wykluczyć z wykazu, by unik-

to avoid problems of double counting, i.e. criteria that take into account effects recalled by other criteria);

- should cover all relevant aspects of the problem under consideration (“satisfy the subject”).

Analysis of economic sub-criteria

The lack of standardised guidelines for performing analyses affects the freedom to choose criteria, sub-criteria and their impact weights. In order to determine the number and „quality” of the economic sub-criteria considered in multi-criteria analyses of national road route options, 46 project documents made available by the General Directorate for National Roads and Motorways have been assessed, mostly concerning the construction of bypasses and expressways in Poland. The 46 studies included 28 bypass projects, 1 motorway extension project (photo 1), and 17 motorway construction documents (photo 2). In the documents analysed, the economic criterion was represented by a minimum of two sub-criteria (cost of investment implementation and EIRR (economic internal rate of return)) and a maximum of 11 sub-criteria, among which there were: total investment cost; cost of construction works; cost of construction of 1 km of road; cost of facilities; cost of land acquisition; ENPV (economic present value of investment); EIRR; BCR (ratio of economic benefit stream to economic cost stream); accidents cost reduction; time cost reduction in passenger transport, and time cost reduction in freight transport. Among the many studies, there was also one that did not identify economic criteria as important from a decision-making point of view. This has been justified by the non-significant differences in the estimated monetary values relating to the options considered. Eighteen documents have used four sub-criteria, twelve have used five sub-criteria, and eight have used three.

In the multi-criteria analyses presented, the maximum impact of the economic criterion as the main criterion was 50%, while in only 5% of cases did the indicated criterion determine the evaluation.

The most frequently occurring sub-criterion was the development/construction cost and this occurred in forty two cases (91% of occurrences). In some, those costs have been indicated as net costs, while in others as gross costs. It is worth emphasising that sometimes the investment costs were equivalent to the construction

nać problemów z podwójnym liczeniem, czyli kryteria, które uwzględniają skutki przywołane przez inne kryteria);

- powinny objąć wszystkie istotne aspekty rozważanego problemu („wyczerpać temat”).

Analiza podkryteriów ekonomicznych

Brak ujednoczonych wytycznych wykonywania analiz wpływa na swobodę w doborze kryteriów, podkryteriów i wag ich oddziaływania. W celu ustalenia liczby i „jakości” rozpatrywanych podkryteriów ekonomicznych ujmowanych w analizach wielokryterialnych wariantów przebiegu dróg krajowych dokonano oceny 46 dokumentacji projektowych udostępnionych przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad, dotyczących w większości budowy obwodnic i dróg ekspresowych na terenie Polski. Wśród 46 opracowań znalazło się 28 projektów budowy obwodnic, 1 projekt rozbudowy autostrady (fotografia 1) i 17 dokumentacji budowy dróg ekspresowych (fotografia 2). W analizowanych dokumentach kryterium ekonomiczne reprezentowane było minimalnie przez dwa podkryteria (koszt realizacji inwestycji i wskaźnik EIRR (ekonomiczna wewnętrzna stopa zwrotu)) i maksymalnie 11 podkryteriów, wśród których były: całkowity koszt inwestycji; koszt robót budowlanych; koszt budowy 1 km drogi; koszt obiektów; koszt nabycia gruntów; ENPV (ekonomiczna wartość bieżąca inwestycji); EIRR; BCR (stosunek strumienia korzyści ekonomicznych do strumienia kosztów ekonomicznych); redukcja kosztów wypadków; redukcja kosztów czasu w przewozach pasażerskich i redukcja kosztów czasu w przewozach towarowych. Wśród

wielu opracowań znalazło się też takie, które nie wskazało kryteriów ekonomicznych jako ważnych z decyzyjnego punktu widzenia. Uzasadniono to nieistotnymi różnicami w szacowanych wartościach pieniężnych, dotyczących rozpatrywanych wariantów. W osiemnastu dokumentach zastosowano cztery podkryteria, w dwunastu pięć podkryteriów, zaś w ośmiu trzy.

W przedstawionych analizach wielokryterialnych maksymalny wpływ kryterium ekonomicznego, jako głównego, wyniósł 50%, zaś tylko w 5% przypadków wskazane kryterium decydowało o ocenie.

Najczęściej pojawiającym się podkryterium był **koszt realizacji inwestycji/koszt budowy** i wystąpił on w czterdziestu dwóch przypadkach (91% wystąpień). W niektórych koszty te wskazane były jako wartości netto, w innych jako brutto. Warto podkreślić, że czasami koszty inwestycji równoznaczne były z kosztami budowy danego wariantu, a niekiedy w nakładach uwzględniano np. koszty prac projektowych, nadzoru czy wykupu



Photo 1. A4 Krzyżowa – Legnica motorway

Fot. 1. Autostrada A4 Krzyżowa – Legnica

[<https://drogowo-mostowy.pl/gddkia-planuje-rozbudowe-a4-krzyzowa-legnica/>]



Photo 2. S11 expressway

Fot. 2. Droga ekspresowa S11

[<https://www.muratorplus.pl/galeria/budowa-drogi-ekspresowej-s11/gg-1qkD-mUxS-TmLD/gp-DzM1-KDT2-pdKu/>]

costs of a particular variant, and sometimes the outlay included, for instance, the costs of design work, supervision, or land purchase. Straightforwardly, the cost of purchasing the property has been combined with the cost of construction twice. The cost of land/real estate purchase alone has been highlighted fifteen times. The sub-criterion „cost of building 1 km of road/investment” has been indicated as important twelve times. The cost of implementing bridges/engineering facilities also appeared sporadically (five times). Once there was also the cost of junction construction and the cost of motorway service area construction. Each time an increase in the aforementioned costs, expressed in PLN, had a negative impact on the values of the sub-criteria, causing them to drop, and thus negatively impacting the investment.

Among the “cost” sub-criteria, the maintenance costs have been included in ten cases, including twice as “annual maintenance cost per 1 km of road”, once as “infrastructure maintenance costs”, and once as ongoing maintenance with repair costs. In addition, the following unit costs appeared in the set of costs: the additional cost of the extension, the cost of reconstruction of the utility network per 1 km of the main route, the investment cost for the construction of the road body drainage system, the expenditure for "matching the route of the variant with the planned implementation".

The second group of “cost” sub-criteria, of a slightly different nature, are the costs that are reduced as a result of the project realization. The increase in their value definitely has a positive impact on the investment. Significant savings, converted into PLN, turned out to be time savings in five cases (in passenger, freight, and total traffic); reduced costs of road accidents have been considered and indicated twice, and the costs of measures to minimise environmental impact have been specified once.

Another set of sub-criteria, very common in multi-criteria analyses, is the set of economic indicators/metrics. In forty six project documents analysed, the economic internal rate of return (EIRR) has appeared in thirty eight cases, the economic present value of the investment (ENPV) in twenty eight studies, and the benefits to costs ratio in twenty five documents. Among those listed, the ENPV indicator is the most commonly suggested and reliable, due to the fact that it represents the project very well. It includes the capital expenditures, operating costs, benefits, takes into account the change in money over time, and easily connects different building objects. Analogous to the “cost-saving sub-criteria”, an increase in the value of the economic efficiency indicators/metrics indicates the benefits associated with the task realization.

Among the important sub-criteria of the economic criterion, there were also some that are difficult to classify into the listed groups of sub-criteria. The following have been identified as relevant in range of criterion under consideration: travel time/transport work [km/year]; accessibility to investment areas [km]; area of occupied land parcels [ha]; and passage through State-owned land [ha].

A summary of the economic sub-criteria in groups, together with the number of occurrences, is provided in the table. The presented economic sub-criteria included in the analysed project documents are a set that can be modified in each case,

gruntów. Wprost koszt wykupu nieruchomości łączył się z kosztem budowy dwukrotnie. Sam koszt wykupu gruntów/nieruchomości wyróżniono piętnaście razy. Podkryterium „koszt budowy 1 km drogi/inwestycji” wskazano, jako ważne dwanaście razy. Sporadycznie (pięć razy) pojawiał się też koszt realizacji obiektów mostowych/obiektów inżynierskich. Jednorazowo wystąpił też koszt budowy węzłów i koszt budowy MOP. Każdorazowo wzrost wspomnianych kosztów, wyrażonych w PLN, miał ujemny wpływ na wartości podkryteriów, powodując ich spadek, a tym samym negatywnie oddziałując na inwestycję.

W gronie podkryteriów „kosztowych” w dziesięciu przypadkach znalazły się **koszty utrzymania**, w tym dwa razy jako „roczny koszt utrzymania 1 km drogi”, jeden raz jako „koszty utrzymania infrastruktury” i jednorazowo jako bieżące utrzymanie wraz z kosztami remontów. Ponadto w zbiorze kosztów pojawiły się jednostkowo: dodatkowy koszt rozbudowy, koszt przebudowy sieci uzbrojenia terenu w przeliczeniu na 1 km trasy głównej, koszt inwestycyjny na budowę systemu odwodnienia korpusu drogowego, nakłady na „dopasowanie przebiegu wariantu do planowanej realizacji”.

Drugą grupą podkryteriów „kosztowych”, o nieco innym charakterze, są **koszty ulegające redukcji w wyniku realizacji przedsięwzięcia**. Wzrost ich wartości ma zdecydowanie pozytywny wpływ na inwestycję. Istotnymi oszczędnościami, przeliczonymi na PLN, okazały się w pięciu przypadkach oszczędności czasu (w przewozach pasażerskich, towarowych i łącznie); dwukrotnie rozpatrzono i wskazano zmniejszenie kosztów wypadków drogowych i jednorazowo wyszczególniono koszty działań minimalizujących oddziaływanie na środowisko.

Kolejny zbiór podkryteriów, bardzo często występujących w analizach wielokryterialnych, to zbiór wskaźników/ mierników ekonomicznych. W czterdziestu sześciu przeanalizowanych dokumentacjach projektowych ekonomiczna wewnętrzna stopa zwrotu (EIRR) pojawiła się w trzydziestu ośmiu przypadkach, ekonomiczna wartość bieżąca inwestycji (ENPV) w dwudziestu ośmiu opracowaniach, natomiast stosunek strumienia korzyści ekonomicznych do strumienia kosztów ekonomicznych (*Benefits to Costs ratio*) w dwudziestu pięciu dokumentach. Wśród wymienionych, najczęściej sugerowanym i wiarygodnym jest wskaźnik ENPV, z uwagi na to, że bardzo dobrze reprezentuje przedsięwzięcie. Ujmuje on nakłady inwestycyjne, koszty eksploatacyjne, korzyści, uwzględnia zmianę pieniądza w czasie i łatwo łączy różne obiekty budowlane. Analogicznie jak w przypadku „oszczędnościowych podkryteriów kosztowych” wzrost wartości wskaźników/mierników efektywności ekonomicznej oznacza korzyści związane z realizacją zadania.

Wśród ważnych podkryteriów kryterium ekonomicznego znalazły się też takie, które trudno zaklasyfikować do wymienionych grup podkryteriów. Jako istotne, w ramach rozpatrywanego kryterium, wskazano: czas przejazdu/pracę przewozową [poj.mln.km/rok]; dostępność do terenów inwestycyjnych [km]; powierzchnię zajętych działek [ha] oraz przebieg przez grunty Skarbu Państwa [ha].

Zestawienia podkryteriów ekonomicznych w grupach wraz z liczbą ich wystąpień dokonano w tabeli. Zaprezentowane podkryteria ekonomiczne ujęte w analizowanych dokumentacjach projektowych to zestaw, który w zależności od specyfiki i uwa-

Summary of economic sub-criteria in groups

Zestawienie podkryteriów ekonomicznych w grupach

Group of sub-criteria/Grupa podkryteriów	Sub-criterion/Podkryterium	Occurences/Wystąpienia	
		[szt.]	[%]
"COST"/ „KOSZTOWE”	development/construction cost [PLN]/koszt realizacji inwestycji/koszt budowy [PLN]	42	91
	land/real estate purchase cost [PLN]/koszt wykupu gruntów/nieruchomości [PLN]	15	33
	construction of 1 km of road/investment cost [PLN/km]/koszt budowy 1 km drogi/inwestycji [PLN/km]	12	26
	maintenance costs [PLN]/koszty utrzymania [PLN]	10	22
	realization of bridge/engineering objects cost [PLN]/koszt realizacji obiektów mostowych/obiektów inżynierskich [PLN]	5	11
	nodes construction cost [PLN]/koszt budowy węzłów [PLN]	1	2
	motorway service areas construction cost [PLN]/koszt budowy MOP [PLN]	1	2
	additional expansion cost [PLN]/dodatkowy koszt rozbudowy [PLN]	1	2
	utilities network reconstruction cost per 1 km of the main route [PLN/km]/koszt przebudowy sieci uzbrojenia terenu w przeliczeniu na 1 km trasy głównej [PLN/km]	1	2
	investment cost for construction of road body dewatering system [PLN]/koszt inwestycyjny na budowę systemu odwodnienia korpusu drogowego [PLN]	1	2
outlays for "adapting the variant route to planned realization" [PLN]/nakłady na „dopasowanie przebiegu wariantu do planowanej realizacji” [PLN]	1	2	
"INDICATIVE"/ „WSKAŹNI-KOWE”	economic internal rate of return (EIRR) [%]/ekonomiczna wewnętrzna stopa zwrotu (EIRR) [%]	38	83
	economic present value of investment (ENPV) [PLN]/ekonomiczna wartość bieżąca inwestycji (ENPV) [PLN]	28	61
	BCR indicator [%]/wskaźnik BCR [%]	25	54
"OTHER"/ „INNE”	journey time/transport work [vehicles per 1 mln. km/year]/czas przejazdu/praca przewozowa [poj. mln km/rok]	1	2
	accessibility to investment areas [km]/dostępność do terenów inwestycyjnych [km]	1	2
	area of occupied parcels [ha]/powierzchnia zajętych działek [ha]	1	2
	passage through State Treasury land [ha]/przebieg przez grunty Skarbu Państwa [ha]	1	2

depending on the specifics and local conditions. When defining the sub-criteria, it is important to take into account the conditions imposed on them, inter alia in terms of their universality, measurability, easiness of establishing a value, limited number, lack of duplication, and to ensure that the measures, units and, nature of a sub-criterion are unambiguous.

In the multi-criteria decision-making analyses, in addition to the criteria/sub-criteria, their weights are taken into account, which should reflect the preferences of the decision-maker or the positions of the individual stakeholders. In relation to the groups of criteria including sets of criteria of a similar thematic scope, the values of weights of the individual criteria may or should be derived from their relative importance compared to the other criteria included in the group. In the project documents analysed, freedom has been observed in the selection of weights (as in the selection of sub-criteria) of the impact of the sub-criteria. The weights took on very different point and percentage values.

Summary

A multi-criteria analysis provides a structured decision space to support project stakeholders in methodical and transparent decision-making process. It also helps to make compromises between costs and benefits when selecting the best of the alternatives. Among its essential elements, there are various sub-criteria, which are parameters assigned to individual criteria that characterise certain features of the design solution and differentiate its variants. In case of roads, the criteria justified by the legislation and the typical functional division at the stage of design work are: functional and technical, environmental, economic, and social criteria.

runkowań lokalnych może być każdorazowo modyfikowany. Definiując podkryteria, należy uwzględnić warunki im stawiane, m.in. w zakresie ich uniwersalności, mierzalności, łatwości ustalenia wartości, ograniczonej liczby, braku powielania oraz dbać o jednoznaczność mierników, jednostek i charakteru podkryterium.

W wielokryterialnych analizach decyzyjnych oprócz kryteriów/ podkryteriów uwzględnienia się ich wagi, które powinny odzwierciedlać preferencje decydenta lub stanowisk poszczególnych interesariuszy. W odniesieniu do grup kryteriów obejmujących zestawy kryteriów o zbliżonym zakresie tematycznym, wartości wag poszczególnych kryteriów mogą lub powinny wynikać z ich względnego znaczenia na tle pozostałych kryteriów zaliczanych do danej grupy. W analizowanych dokumentacjach projektowych zaobserwowano swobodę w doborze wag (podobnie jak w doborze podkryteriów) oddziaływania podkryteriów. Wagi przyjmowały bardzo różne wartości punktowe oraz procentowe.

Podsumowanie

Analiza wielokryterialna zapewnia uporządkowaną przestrzeń decyzyjną, wspierającą interesariuszy projektu w metodycznym i przejrzystym podejmowaniu decyzji. Pomaga też w osiągnięciu kompromisu pomiędzy kosztami i korzyściami przy wyborze najlepszego spośród alternatywnych wariantów. Wśród jej istotnych elementów wymienia się różne podkryteria, będące parametrami przypisanymi do poszczególnych kryteriów, charakteryzujących określone cechy rozwiązania projektowego oraz różnicujących jego warianty. W przypadku dróg kryteria uzasadnione przepisami prawa oraz typowym podziałem funkcjonalnym na etapie prac projektowych to kryteria: funkcjonalno-techniczne, środowiskowe, ekonomiczne i społeczne. W ramach

The economic criterion takes into account various types of costs and benefits. Establishing the appropriate metrics for a given sub-criterion is necessary and reasonable for reliable comparison of the options. An analysis of forty six project documents made available by the General Directorate of National Roads and Motorways concerning the construction of bypasses and expressways in Poland has led to the following conclusions:

- in the analysed documents the economic criterion has been represented by a varying number of sub-criteria (a minimum of two and a maximum of eleven);
- the most frequently occurring sub-criterion was the development/construction cost and this occurred in forty two cases out of the forty six considered, accounting for over 90% of occurrences;
- among the economic indicators/metrics, the most popular was the economic internal rate of return (EIRR), which has been indicated in 83% of the documents analysed (thirty eight cases), while the frequently suggested and reliable ENPV indicator has been mentioned twenty eight times (61% of occurrences);
- in the project documents analysed, freedom was observed in the choice of impact weights for the sub-criteria (the weights took on very different point and percentage values);
- there is an urgent need to standardise the guidelines for performing analyses.

Received: 16.09.2024

Revised: 07.10.2024

Published: 20.12.2024

kryterium ekonomicznego uwzględnia się różnego rodzaju koszty i korzyści. Ustalenie właściwych mierników danego podkryterium jest konieczne i zasadne dla rzetelnego dokonania porównania wariantów. Przeprowadzona analiza czterdziestu sześciu dokumentacji projektowych udostępnionych przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad, dotyczących budowy obwodnic i dróg ekspresowych na terenie Polski, pozwoliła sformułować następujące wnioski:

- w analizowanych dokumentach kryterium ekonomiczne reprezentowane było przez różną liczbę podkryteriów (minimalnie przez dwie i maksymalnie przez jedenaście);
- najczęściej pojawiającym się podkryterium był koszt realizacji inwestycji/koszt budowy i wystąpił on w czterdziestu dwóch przypadkach spośród czterdziestu sześciu rozpatrywanych, co stanowi ponad 90% wystąpień;
- wśród wskaźników/mierników ekonomicznych najpopularniejsza okazała się ekonomiczna wewnętrzna stopa zwrotu (EIRR), którą wskazano w 83% przeanalizowanych dokumentacji (trzydzieści osiem przypadków), podczas gdy często sugerowany i wiarygodny wskaźnik ENPV wyszczególniono dwadzieścia osiem razy (61% wystąpień);
- w analizowanych dokumentacjach projektowych zaobserwowano swobodę w doborze wag oddziaływania podkryteriów (wagi przyjmowały bardzo różne wartości punktowe oraz procentowe);
- istnieje pilna potrzeba ujednoczenia wytycznych wykonywania analiz.

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy nr WZ/WB-III/7/2023 i sfinansowane ze środków na naukę MEiN.

Artykuł wpłynął do redakcji: 16.09.2024 r.

Otrzymał poprawiony po recenzjach: 07.10.2024 r.

Opublikowano: 20.12.2024 r.

Literature

- [1] Despotin M, Moscarola J, Spronk C. A User Oriented Listing of Multiple Criteria Decision Methods. *Revue Belge de Statistique, d'Informatique et de Recherche Operationnelle*. 1983; 23, No. 4, 4 – 110.
- [2] Charnes A, Cooper W. W. Management Models and Industrial Applications of Linear Programming. John Wiley & Sons, 1961.
- [3] Charnes A, Cooper W. W, Ferguson R. Optimal Estimation of Executive Compensation by Linear Programming. *Management Science*. 1955; <https://doi.org/10.1287/mnsc.1.2.138>.
- [4] Kuhn HW, Tucker AW. Nonlinear Programming. *Proceedings of the 2nd Berkeley Symposium on Mathematics, Statistics and Probability*, University of California Press, Berkeley. 1951; 481 – 492.
- [5] Awasthi A, Omrani H, Gerber P. Investigating ideal – solution based multi-criteria decision making techniques for sustainability evaluation of urban mobility projects. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Elsevier. 2018. DOI: 10.1016/j.tra.2018.06.007.
- [6] Broniewicz E, Ogrodnik K. Multi-criteria analysis of transport infrastructure projects. *Transportation Research Part D*, Elsevier. 2020; <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102351>.
- [7] Hamurcu M, Eren T. An Application of Multicriteria Decision-making for the Evaluation of Alternative Monorail Routes. *Mathematics*. 2019; <https://doi.org/10.3390/math7010016>.
- [8] Macharis C, Bernardini A. Reviewing the Use of Multi-Criteria Decision Analysis for the Evaluation of Transport Projects: Time for a Multi-Actor Approach. *Transport Policy*. 2015; <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.11.002>.
- [9] Dyrektywa 2001/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 27 czerwca 2001 r. w sprawie oceny wpływu niektórych planów i programów na środowisko (SEA).
- [10] Dyrektywa Rady 85/337/EWG z 27 czerwca 1985 r. w sprawie oceny skutków wywieranych przez niektóre przedsięwzięcia publiczne i prywatne na środowisko (OOŚ).
- [11] Dean M. Assessing the Applicability of Participatory Multi-Criteria Analysis Methodologies to the Appraisal of Mega Transport Infrastructure. Ph. D. Dissertation. The Bartlett School of Planning, University College London, UK.

(https://www.academia.edu/41754950/Assessing_the_Applicability_of_Participatory_Multi-Criteria_Analysis_Methodologies_to_the_Appraisal_of_Mega_Transport_Infrastructure), 2018.

- [12] Dean M. Multi-criteria analysis. Chapter 6 in Mouter. N. (ed.) *Appraisal Methods*. Series: *Advances in Transport Policy and Planning*, Elsevier. 2020 DOI: 10.1016/bs.atpp.2020.07.001.
- [13] Dean M. *A Practical Guide to Multi-Criteria Analysis* Dr Marco Dean Bartlett School of Planning, University College London, 2022.
- [14] Dean M, Hickman R. Comparing Cost-Benefit Analysis and Participatory Multi-Criteria Analysis Methodologies. In: Baudry, G. and Macharis, C. (Eds.), *Decision – making for Sustainable Transport and Mobility: Multi Actor Multi Criteria Analysis*. Edward Elgar. 2018; <https://doi.org/10.4337/9781788111805.00014>.
- [15] Dodgson JS, Spackman M, Pearman A, Phillips LD. *Multi-Criteria Analysis: A Manual*. Department for Communities and Local Government: London, 2009.
- [16] Mouter N. *New Methods, Reflections and Application Domains in Transport Appraisal*. *Advances in Transport Policy and Planning*; 7/2021. Academic Press. <https://www.elsevier.com/books/newmethods-reflections-and-application-domains-in-transport-appraisal/mouter/978-0-323-85559-4>.
- [17] Ward EJ, Dimitriou HT, Dean M. Theory and Background of Multi-Criteria Analysis (MCA): Toward a Policy-led MCA for megaproject transport infrastructure appraisal, Special 2016 Edition of *The Journal of Research in Transportation Economics*.
- [18] Belton V, Stewart T. *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Kluwer Academic Publisher, 2002.
- [19] Keeney R. L., Gregory R. S. Selecting Attributes to Measure the Achievement of Objectives. *Operations Research*. 2005, <https://doi.org/10.1287/opre.1040.0158>.
- [20] Mouter N, Dean M, Koopmans C, Vassallo JM. Comparing cost-benefit analysis and multi-criteria analysis. In N. Mouter (Ed.), *Standard Transport Appraisal Methods*, 225-254. (*Advances in Transport Policy and Planning* 6/2020). Elsevier <https://doi.org/10.1016/bs.atpp.2020.07.009>.
- [21] Roy B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Kluwer 1996.