

ANALIZA WIELOKRYTERIALNA W OCENIE WARIANTÓW ORGANIZACYJNYCH INWESTYCJI BUDOWLANYCH

Elżbieta Szafranko 

Wydział Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Olsztyn

STRESZCZENIE

Obiekty budowlane ze względu na dużą różnorodność mogą być realizowane wieloma metodami. Specyfika robót budowlanych oraz warunki, w jakich realizuje się prace, generują liczne ograniczeń i czynników, które wpływają na przebieg prac. Pierwszą grupę uwarunkowań stanowią okoliczności wynikające z zasad organizacji oraz ze specyfiki planowanej inwestycji. Drugą grupą warunków ograniczających mogą być możliwości wykonawców, a kolejną warunki związane z konkretną lokalizacją, w której roboty będą realizowane. Decyzja o zastosowaniu określonych standardów organizacyjnych przy dużej liczbie czynników ograniczających może być trudna do podjęcia. Chcąc zaplanować przebieg robót i podjąć właściwą decyzję, można zastosować metody analizy porównawczej. W artykule przedstawiono możliwości zastosowania metod analizy wielokryterialnej do oceny organizacji robót budowlanych oraz przeanalizowano przykładowe inwestycje z uwzględnieniem wariantów ich realizacji.

Słowa kluczowe: analiza wielokryterialna, organizacja prac budowlanych, warianty

WSTĘP

Realizacja robót budowlanych jest zazwyczaj skomplikowana. Ze względu na dużą różnorodność procesów oraz konieczność zatrudnienia brygad o różnej specjalności konieczne jest dobre przygotowanie organizacyjne całego procesu. Dodatkowo przebieg prac powinien uwzględniać specyfikę terenu, na którym będzie realizowana budowa, oraz uwarunkowania wynikające z możliwości wykonawcy.

Literatura podaje trzy podstawowe (klasyczne) metody organizacji robót budowlanych: metodę kolejnego wykonania, metodę równoczesnego wykonania oraz, często zalecaną, metodę pracy równomiernej lub metodę potokową, które pozwalają na równomierne wykorzystanie zasobów i środków produkcji (Marcinkowski, 2013). W zakresie omawianego tematu opublikowano także wiele prac, które w bardziej zaawan-

sowany sposób ujmują zagadnienia harmonizacji robót na budowie, np. zastosowanie teorii szeregowania (Podolski, 2008), metody sieciowe (Połoński, 2003), zastosowanie hybrydowego algorytmu ewolucyjnego (Rogalska, Bożejko i Hejducki, 2006) czy planowanie z zastosowaniem buforów czasowych (Połoński i Pruszyński, 2008; Jaśkowski i Biruk, 2010).

Problematykę planowania robót budowlanych można również rozpatrywać pod kątem podejmowania decyzji (Sobotka, 2005; Kapliński, 2008a; Kapliński, Dziadosz i Zioberski, 2011). Cały proces realizacji i organizacji robót wymaga sprawnego zarządzania, a procedury oraz metody wspomagania procesów decyzyjnych mogą być bardzo przydatne na tym etapie procesu inwestycyjnego (Kapliński, 2008b; Gajzler, 2010; Gicala i Sobotka, 2017). Niektóre z tych metod pozwalają uwzględnić czynniki niepewności i ryzyka w planowaniu czasowo-kosztowym robót (Ka-

 elasz@uwm.edu.pl

sprowicz, 2008; Jaśkowski, Sobotka i Czarnigowska, 2014).

Jedną z możliwości wspomagania procesów decyzyjnych jest zastosowanie metod analizy wielokryterialnej opisanych w literaturze przedmiotu (Nag i Sinha, 1991; Hapke, Jaszkiwicz i Słowiński, 1998).

Specyfika robót budowlanych oraz warunki, w jakich realizuje się prace, generują wiele ograniczeń i czynników, które wpływają na przebieg prac. Pierwszą grupę uwarunkowań stanowią okoliczności wynikające z zasad organizacji oraz ze specyfiki planowanej inwestycji. W zależności od rozmiarów przedsięwzięcia i przyjętych założeń może nastąpić kumulacja prac w krótszym okresie lub przedłużenie czasu realizacji z wykorzystaniem mniejszych zasobów i środków. Drugą grupą warunków ograniczających mogą być możliwości wykonawców, a kolejną warunki związane z konkretną lokalizacją, w której roboty będą realizowane. Część uwarunkowań jest ze sobą ściśle związana i mają na nią wpływ różne czynniki. Na przykład nagromadzenie środków produkcji związane z szybką realizacją prac jest uzależnione od specyfiki inwestycji (niektóre technologie nie pozwalają na kumulację robót), możliwości wykonawców posiadających określone środki produkcji oraz warunków panujących na terenie budowy. Przy ograniczonym terenie kumulacja środków może być trudna, a czasami wręcz niemożliwa. W tak skomplikowanej sytuacji podjęcie decyzji o metodzie i sposobie organizacji prac może być trudne, a ustalenia dotyczące zastosowania określonych technologii realizacji robót wymagają wspomagania specjalistycznymi metodami.

Celem pracy jest pokazanie możliwości wykorzystania wybranej metody analizy wielokryterialnej przy planowaniu robót budowlanych. Analiza trzech przykładowych inwestycji z uwzględnieniem rozwiązań wariantowych pozwoliła pokazać na przykładzie przebieg postępowania.

MATERIAŁ I METODY

Metody analizy wielokryterialnej dają wiele możliwości decyzyjnych. Ich podstawową cechą jest uwzględnienie wielu czynników istotnych z punktu widzenia rozpatrywanego problemu. W przypadku organizacji robót budowlanych konieczne jest rozważenie w pierw-

szej kolejności technologii robót oraz miejsca ich realizacji. Drugim istotnym aspektem analizy są możliwości wykonawców, które generujące kolejne warunki ograniczające. Proces analizy zostanie przedstawiony na przykładach. W badaniach uwzględniono realizację dużej inwestycji składającej się z wielu obiektów bez ograniczeń powierzchni oraz możliwości wykonawczych, inwestycję realizowaną na ograniczonym obszarze oraz inwestycję realizowaną przez wykonawcę o ograniczonych możliwościach wykonawczych.

Do analizy wariantów organizacji budowy zastosowano jedną z metod skalaryzacji punktowej, uwzględniającą średnią arytmetyczną ważoną (F_i), według formuły:

$$F_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} c_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij} c_{ij}}$$

gdzie:

- w_{ij} – ocena i -tego wariantu organizacyjnego odniesiona do j -tego kryterium,
- c_{ij} – waga j -tego kryterium w i -tym wariantcie organizacyjnym,
- m, n – liczba wariantów rozpatrywanych w analizie,
- n – liczba kryteriów rozpatrywanych w analizie.

W przeprowadzonych badaniach przeanalizowano trzy grupy kryteriów oceny wariantów organizacji budowy:

- C1 – (przez pryzmat technologii budowy) związane z technologią robót i możliwością zorganizowania procesów przebiegających na budowie,
- C2 – (przez pryzmat potencjału wykonawcy robót) warunki realizacyjne wynikające z możliwości wykonawców, tj. posiadane zasoby sprzętowe, kadrowe i finansowe,
- C3 – (przez pryzmat warunków przestrzennych budowy) warunki wynikające z lokalizacji budowy, przede wszystkim wielkość obszaru budowy, co warunkuje możliwości organizacji dużego zaplecza budowy, nagromadzenie środków czy realizację wielu procesów równocześnie.

W ocenach stopnia spełnienia poszczególnych kryteriów – stopnia wykorzystania możliwości technologicznych (C1), potencjału wykonawcy (C2) i wa-

runków terenu budowy (C3) – w poszczególnych wariantach organizacyjnych prowadzenia budowy zastosowano skalę 0–3, przy czym 3 oznacza maksymalne spełnienie danego kryterium, a 0 – całkowity brak możliwości jego spełnienia. Wagi kryteriów oceniono w skali 0–1, przy czym ich suma zawsze wynosi 1.

Przy ustalaniu wartości wag oraz ocen wariantów organizacyjnych zastosowano system ekspercki pozwalający na zebranie informacji za pomocą ankiet (Szafranko 2013). Badania te ze względu na ograniczenia edytorskie niniejszej pracy nie zostały przedstawione.

Inwestycja 1

Budowa planowana jest na dużym obszarze, na którym przewidziana jest realizacja kilku obiektów mieszkalnych, bez ograniczeń powierzchniowych czy technologicznych. Jedynym problemem może być możliwość produkcyjna wykonawców. W pierwszym wariantie rozpatrzono pracę równomierną. Rozpatrzono drugi wariant, w którym założono, że inwestorowi zależy na

przyspieszeniu prac, co wiąże się z zaangażowaniem większych środków i problemami z tym związanymi. Obliczenia przedstawia tabela 1.

Jak można zauważyć, ocena wariantów wskazuje, że przy badanych warunkach realizacyjnych niewskazane byłoby narzucanie krótszych terminów. W przypadku gdyby inwestorowi zależało na skróceniu terminu realizacji, powinien on pomyśleć o wyborze innego wykonawcy.

Inwestycja 2

Jest to duża inwestycja realizowana na ograniczonym obszarze. Wykonawca o sporych możliwościach wykonawczych miał w pierwszym wariantcie możliwość zastosowania technologii ułatwiających organizację pracy, a w drugim wariantcie montażu „z kół”. Analizowana w tabeli 2 inwestycja, ze względu na swoją specyfikę, wymaga dobrego przygotowania technologicznego i organizacyjnego przez firmę wykonawczą.

Tabela 1. Ocena wariantów inwestycji 1 (W1 i W2) z zastosowaniem metody skalaryzacji punktowej

Table 1. Evaluation of investment 1 variants (W1 and W2) using the spot scaling method

Kryterium – Criterion	W1			W2		
	waga kryterium criterion weight (c_j)	ocena wariantu variant evaluation (w_j)	wynik oceny evaluation effect ($w_j c_j$)	waga kryterium criterion weight (c_j)	ocena wariantu variant evaluation (w_j)	wynik oceny evaluation effect ($w_j c_j$)
C1 (technologia – technology)	0,5	3	1,5	0,5	2	1,0
C2 (wykonawca – contractor)	0,2	2	0,4	0,2	1	0,2
C3 (teren budowy – construction site)	0,3	3	0,9	0,3	3	0,9
Suma punktów – Total points (F_j)	$2,8 / (2,8 + 2,1) = 0,57$			$2,1 / (2,8 + 2,1) = 0,43$		

Tabela 2. Ocena wariantów inwestycji 2 (W1 i W2) z zastosowaniem metody skalaryzacji punktowej

Table 2. Evaluation of investment 2 variants (W1 and W2) using the spot scaling method

Kryterium – Criterion	W1			W2		
	waga kryterium criterion weight (c_j)	ocena wariantu variant evaluation (w_j)	wynik oceny evaluation effect ($w_j c_j$)	waga kryterium criterion weight (c_j)	ocena wariantu variant evaluation (w_j)	wynik oceny evaluation effect ($w_j c_j$)
C1 (technologia – technology)	0,4	2	0,8	0,4	3	1,2
C2 (wykonawca – contractor)	0,5	3	1,5	0,5	3	1,5
C3 (teren budowy – construction site)	0,1	2	0,2	0,1	1	0,1
Suma punktów – Total points (F_j)	$2,5 / (2,5 + 2,8) = 0,47$			$2,8 / (2,5 + 2,8) = 0,53$		

Niska ocena warunków terenowych wynika z ograniczeń przestrzeni, a w drugim wariantcie wyżej oceniono kryteria technologiczne ze względu na dodatkowe zastosowanie montażu „z kół”. Pozwala to niewątpliwie ułatwić organizację robót przy ograniczonym terenie budowy.

Inwestycja 3

Budowa jest planowana na wystarczająco dużym terenie, bez ograniczeń technologicznych. Jedyne utrudnieniem organizacyjnym mogą być małe możliwości realizacyjne wykonawcy. Jest to firma o ograniczonych zasobach produkcyjnych. Drugi wariant uwzględnia wynajęcie dodatkowych jednostek sprzętowych oraz zatrudnienie podwykonawców (tab. 3).

Analiza przykładu, w którym wykonawca może mieć problemy realizacyjne, wykazuje, że zastosowanie rozwiązań poprawiających możliwości wykonawcy zostało wyżej ocenione i drugi wariant uzyskał lepszą ocenę.

WYNIKI

Przedstawione przykłady są fragmentem szerszych analiz prowadzonych od kilku lat. Celem artykułu było pokazanie, że zastosowanie analizy wielokryterialnej może być przydatne w planowaniu inwestycji, a ich zastosowanie pozwala przeanalizować

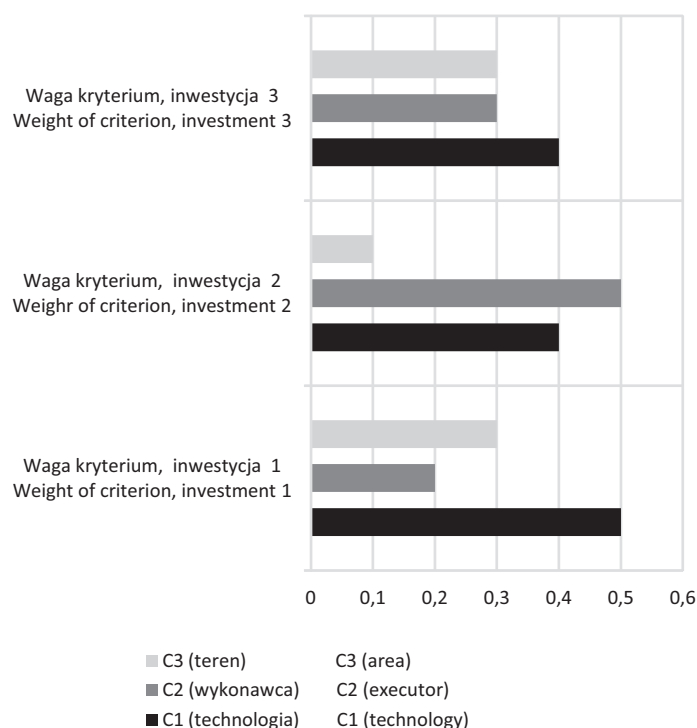
różne inwestycje i ich warianty. Pierwszą ważną cechą metody jest konieczność zdefiniowania kryteriów oceny. Zarówno ustalenie grupy kryteriów, jak ich późniejsza ocena oraz przypisanie im wag wymaga zaangażowania ekspertów – specjalistów związanych z inwestycjami budowlanymi. Ten etap pozwala często uzmysłowić, jakie problemy mogą pojawić się w związku z realizacją planowanej inwestycji. W celu głębszej i dokładniejszej analizy można dokonać oceny podkryteriów przypisanych do każdej grupy kryteriów głównych. Ze względu na ograniczone rozmiary publikacji nie zostały one jednak opisane w tym artykule. Rozkład wag przypisanych analizowanym inwestycjom można prześledzić na rysunku.

Na rysunku można zauważyć, że dla inwestycji 1, w której nie było problemów z terenem i wykonawcą, najwyższą wagę przypisano technologii realizacji. W drugim przypadku najwyższą wagę przypisano kryteriom związanym z wykonawcą, ponieważ to z tej strony mogły pojawić się problemy organizacyjne przy niewielkim obszarze realizacji robót. Inwestycja trzecia to realizacja robót przez niezbyt duże przedsiębiorstwo, jednak inicjatywy dyrekcji pozwalające na realizację dużych obiektów spowodowały, że najwyższą ocenę przypisano kryteriom technologicznym. Związane jest to z koniecznością zwrócenia uwagi na jakość robót w przypadku zlecenia robót podwykonawcom.

Tabela 3. Ocena wariantów inwestycji 3 (W1 i W2) z zastosowaniem metody skalaryzacji punktowej

Table 3. Evaluation of investment 3 variants (W1 and W2) using the spot scaling method

Kryterium – Criterion	W1			W2		
	waga kryterium criterion weight (c_j)	ocena wariantu variant evaluation (w_j)	wynik oceny evaluation effect ($w_j c_j$)	waga kryterium criterion weight (c_j)	ocena wariantu variant evaluation (w_j)	wynik oceny evaluation effect ($w_j c_j$)
C1 (technologia – technology)	0,4	3	1,2	0,4	2	1,2
C2 (wykonawca – contractor)	0,3	1	0,3	0,3	3	1,5
C3 (teren budowy – construction site)	0,3	2	0,6	0,3	2	0,1
Suma punktów – Total points (F_j)	2,1 / (2,1 + 2,8) = 0,43			2,8 / (2,1 + 2,8) = 0,57		



Rys. Wyniki oceny kryteriów przyjętych w analizie i wartość ich wag

Fig. The results of the evaluation of the criteria adopted and the value of their weights

WNIOSKI

Celem pracy było pokazanie możliwości zastosowania analizy wielokryterialnej do oceny założeń organizacyjnych inwestycji budowlanych. Analiza trzech przykładowych inwestycji z uwzględnieniem rozwiązań wariantowych pokazała możliwości zastosowania metod analizy wielokryterialnej poprzez ocenę różnych czynników. Co prawda, w celu pełniejszej analizy należałoby poddać analizie podkryteria, przynajmniej w wybranych grupach kryteriów głównych, jednak analiza kryteriów głównych daje możliwość oceny oraz analizy problemów, jakie możemy spotkać w trakcie realizacji robót. Zaproszenie do współpracy w trakcie ustalania kryteriów oceny i ich wag ekspertów pozwala na skuteczną i wieloaspektową analizę problemów już na etapie wstępnego przygotowania dalszych działań.

Pokazane obliczenia są fragmentem szerszych badań, które zostaną przedstawione w kolejnych publikacjach.

PIŚMIENNICTWO

- Gajzler, M. (2010). Text and data mining techniques in aspect of knowledge acquisition for decision support system in construction industry. *Technological and Economic Development of Economy*, 16 (2), 219–232.
- Gicala, M. i Sobotka, A. (2017). Jaką strategię obrać? Cz. 1. Kluczowe czynniki sukcesu według badań. *Builder*, 21 (5), 66–69.
- Hapke, M., Jaszkiwicz, A. i Słowiński, R. (1998). Interactive analysis of multiple-criteria project scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, 107 (2), 315–324.
- Jaśkowski, P. i Biruk, S. (2010). Określanie wielkości buforów czasu w odpornych harmonogramach budowlanych. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych im. gen. T. Kościuszki*, 3, 366–377.
- Jaśkowski, P., Sobotka, A. i Czarnigowska, A. (2014). Decision model for selecting supply sources of road construction aggregates. *Engineering Economics*, 25 (1), 13–20.
- Kapliński, O. (2008a). Trendy rozwoju i przydatność technik planowania i podejmowania decyzji-polskie doświadcze-

- nia. *Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej. Studia i Materiały*, 91 (20), 69–77.
- Kapliński, O. (2008b). Development and usefulness of planning techniques and decision-making foundations on the example of construction enterprises in Poland. *Technological and Economic Development of Economy*, 14 (4), 492–502.
- Kapliński, O., Dziadosz, A. i Zioberski, J. L. (2011). Próba standaryzacji procesu zarządzania na etapie planowania i realizacji przedsięwzięć budowlanych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 58 (3/1), 79–100.
- Kasprowicz, T. (2008). Metoda analizy i wyboru rozwiązań technicznych i technologicznych obiektów budowlanych w warunkach ryzyka. *Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej. Studia i Materiały*, 91 (20), 79–87.
- Marcinkowski, R. (2013). Planowanie organizacji robót budowlanych na podstawie analizy nakładów pracy zasobów czynnych. *Budownictwo i Architektura*, 12 (1), 39–46.
- Nag, B. N. i Sinha, A. P. (1991). ESOM: An expert system for multicriteria scheduling. *Expert Systems with Applications*, 3 (4), 463–479.
- Podolski, M. (2008). *Analiza nowych zastosowań teorii szeregowania zadań w organizacji robót budowlanych* (praca doktorska). Raporty Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej.
- Połośki, M. (2003). Poszukiwanie maksymalnej liczby terminów wykonania czynności w harmonogramach sieciowych. *Acta Scientiarum Polonorum Architectura*, 2 (1), 79–88.
- Połośki, M. i Pruszyński, K. (2008). Wyznaczanie wielkości buforów czasu i terminu zakończenia przedsięwzięcia w harmonogramach budowlanych. *Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej*, 90, 289–297.
- Rogalska, M., Bożejko, W. i Hejducki, Z. (2006). Harmonogramowanie przedsięwzięć budowlanych z zastosowaniem hybrydowego algorytmu ewolucyjnego. *Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej. Studia i Materiały*, 87 (18), 157–164.
- Sobotka, A. (2005). Zarządzanie logistyczne w przedsięwzięciach budowlanych. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 29, 373–381.
- Szafranko, E., (2013). Ocena ekspertów w analizach prowadzonych metodą AHP przy wyborze wariantów inwestycji. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 5, 400–404.

MULTICRITERIAL METHODS IN THE ASSESSMENT OF ORGANIZATIONAL VARIANT OF CONSTRUCTION INVESTMENTS

ABSTRACT

Building structures, due to the large variety, can be implemented by various methods. The organization of works is not unambiguous either. There are many methods of organizing works and the adaptation of the chosen methodology can be complicated. The decision about using specific organizational standards usually depends on many factors. To plan the works optimally and make the right decision, you can use mathematical support methods. The article presents the possibilities of using multicriteria analysis methods to select the method of organizing construction works. Exemplary investments were analysed considering their implementation variants.

Key words: multicriteria methods, organization of construction works, optimization