

prof. dr hab. inż. Czesław Miedziałowski^{1)*}

ORCID: 0000-0002-7901-7598

mgr inż. Jan Klimasara¹⁾

ORCID: 0000-0001-7366-4957

Zastosowanie analizy wielokryterialnej do wyboru technologii realizacji domu mieszkalnego

Application of multiple-criteria decision analysis to choose the technology of building a residential house

DOI: 10.15199/33.2023.02.05

Streszczenie. Wyboru technologii realizacji domu mieszkalnego z zastosowaniem analizy wielokryterialnej dokonano, stosując do kodowania standaryzację oraz metodę Pattern. Przyjęto 3 warianty technologii realizacji budynku, a jako miary wariantów przyjęto 5 kryteriów. W przypadku poszczególnych wariantów założono 2 zestawy wag (priorytet czasu oraz ceny) oraz określono wskaźniki sumacyjne i skorygowane. Metoda pozwala na optymalny wybór rozwiązania technologicznego.

Słowa kluczowe: domy mieszkalne; analiza wielokryterialna; warianty; kryteria; wagi.

Abstract. The issue of choosing the technology for the construction of a residential house using multiple-criteria decision analysis, which was carried out using standardization and the Pattern method for coding. 3 variants of the building construction technology were adopted, 5 criteria were adopted as the measures of the variants. For individual variants, 2 sets of weights were assumed (priority of time and price), summative corrected indicators were defined. The method allows for the optimal selection of a technological solution.

Keywords: residential house; multiple-criteria decision analysis; variants; criteria; weights.

Wraz z rozwojem technologii wznoszenia obiektów inwestorzy mają do wyboru coraz więcej rozwiązań technicznych i materiałowych. Zadaniem projektanta jest wybór takiego, które spełnia warunki techniczne danego typu budownictwa oraz wymagania inwestora. Jednym ze sposobów uwzględnienia wymienionych uwarunkowań jest zastosowanie analizy wielokryterialnej. Stosuje się ją wówczas, gdy podjęcie decyzji wymaga uwzględnienia więcej niż jednego kryterium oceny [1]. Uwzględnia się przy tym warianty realizacji zadania, kryteria oceny i wagi poszczególnych kryteriów. Analizę stosuje się w przypadku m.in. lokalizacji inwestycji, wyboru rozwiązań architektonicznych oraz technologii realizacji zadań [2–5]. To podejście analityczne cieszy się dosyć dużą popularnością [6], ponieważ umożliwia rozwiązanie wielu problemów w budownictwie.

Wyróżniamy wiele metod analizy wielokryterialnej – metody addytywne (np. SAW), hierarchizacji i metody pokrewne (np. AHP), werbalne (np. VDA, ZAPROS),

¹⁾ Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku

^{*} Adres do korespondencji: c.miedzialowski@pb.edu.pl

ELECTRE, PROMETHEE, z wykorzystaniem punktów referencyjnych (np. TOPSIS), interaktywne (np. INSDECM) i inne. W artykule zastosowano relatywnie prostą wersję analizy wielokryterialnej o nazwie SAW (ang. *Simple Additive Weighting Method*) polegającą na zastosowaniu skorygowanego wskaźnika sumacyjnego [1]. Obecnie jest najbardziej rozpowszechnioną oraz najczęściej stosowaną dyskretną metodą wielokryterialną, która polega na przygotowaniu macierzy znormalizowanych ocen, a następnie wyborze wariantu decyzyjnego, w przypadku którego uzyskano najwyższą sumę ocen. Zalety metody, to prostota oraz szybkość analiz, gdyż podczas określania preferencji decydenta należy posłużyć się funkcją liniową [7]. Natomiast za wadę można uznać potrzebę precyzyjnego doboru współczynników wagowych, dlatego zaleca się wykonywanie tego zadania przez osoby doświadczone w analizowanej branży. Przykładowe zastosowanie tej metody można znaleźć m.in. w publikacjach [4, 8]. W artykule przedstawiono problem zastosowania analizy wielokryterialnej na przykładzie wyboru technologii realizacji jednorodzinnej domu mieszkalnego.

Realizacja procesu decyzyjnego odbywa się w trzech fazach: **faza 1** – roz-

poznanie i sformułowanie procesu decyzyjnego łącznie z celem, który ma być osiągnięty; **faza 2** – poszukiwanie rozwiązań problemu przez przyjęcie modelu decyzyjnego oraz opracowanie zbioru rozwiązań; **faza 3** – analiza wyników, modyfikacje, podjęcie decyzji.

Realizacja procesu wymaga określenia następujących parametrów [1, 9]: sprecyzowanie celu analizy; sformułowanie warunków osiągnięcia celu (warianty rozwiązań); określenie zbioru kryteriów; wybór metody analizy; określenie wag kryteriów; przetworzenie danych o wariantach rozwiązania procesu decyzyjnego wg algorytmu wybranej metody; analiza porównawcza, podjęcie decyzji.

Analizuje się n wariantów realizacji przedsięwzięcia

$$W = \{W_i; i = 1, 2, 3, \dots, n\} \quad (1)$$

Do oceny porównawczej przyjmuje się skończony zbiór kryteriów

$$K = \{K_j; j = 1, 2, 3, \dots, m\} \quad (2)$$

w przypadku których wyznaczane są miary x_{ij} , gdzie x_{ij} jest miarą cząstkową wariantu W_i w świetle kryterium K_j .

$$X_{ij} = \{x_{ij}; i = 1, 2, 3, \dots, n, j = 1, 2, 3, \dots, m\} \quad (3)$$

Miary wariantów W_i wg kryteriów K_j , można zgrupować w tzw. macierz decyzyjną w postaci:

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1m} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{im} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

gdzie:

i -ty wiersz macierzy przedstawia miary cząstkowe poszczególnych wariantów w świetle kolejnych kryteriów, a j -ta kolumna miary cząstkowe kolejnych wariantów w świetle określonego kryterium.

W ten sposób odzwierciedlona jest wielokryterialność – mnogość czynników/kryteriów, które wpływają na analizę rozważanego problemu. W związku z tym, że ważność kryteriów przyjmowanych w analizach wielokryterialnych jest niejednakowa, wprowadza się tzw. wagi a_{ij} (współczynniki hierarchiczne) korygujące wartości kryteriów odpowiednio do preferencji dobranych przez decydenta (lub powołanych przez niego ekspertów). Aby możliwe było porównanie i ocena wariantów, wszystkim kryteriom należy nadać niemianowane wartości liczbowe. Proces zamiany wartości mianowanej na niemianowaną nazywa się normalizacją. W zależności od kierunku optymalizacji kryteriów normalizacja może być rozpatrywana jako maksymalizacja (do charakteru tzw. stymulant) lub minimalizacja (do charakteru tzw. destymulant). W jej wyniku następuje sprowadzenie pierwotnych wartości miar cząstkowych do przedziału $\{0, 1\}$.

Znane są różne sposoby przejścia z wartości mianowanych na niemianowane, a wśród nich m.in.: standaryzacja; normowanie; normalizacja metodą Neumana-Morgensterna lub metodą Pattern. W celu uwiarygodnienia wyboru sposobów realizacji zadań zaleca się, aby analizy przeprowadzać więcej niż jedną metodą. Algorytm stosowania tych metod matematycznych jest następujący:

1) dokonuje się wyboru cech-kryteriów, które będą decydowały o doborze rozwiązania;

2) ustala się wagi poszczególnych kryteriów przy udziale ekspertów;

3) określa się miary liczbowe wariantów rozwiązań wg przyjętego zbioru kryteriów – macierz danych;

4) liczbowe miary wariantów wg poszczególnych kryteriów cząstkowych poddane są kodowaniu;

5) dokonuje się oceny wariantowych rozwiązań przez obliczenie syntetycznych wskaźników.

Analiza problemu

Rozpatruje się wybór technologii realizacji jednorodzinny domu mieszkalnego o jednakowym posadowieniu, którego schemat przedstawia rysunek 1.

Założono 3 warianty realizacji budynku:

1) Wariant 1 – W1:

- budynek w technologii murowanej z pustaków poryzowanych o grubości 24 cm klasy 10 na zaprawie cementowo-wapiennej M10 z ociepleniem ścian zewnętrznych wg technologii ETICS wełną mineralną (skalną) w postaci płyt o grubości 15 cm, wykończonych tynkiem mineralnym baranek 2 mm (tynk wyprawy elewacyjnej), natomiast do wykończenia wewnątrz zastosowano tynk cementowo-wapienny o grubości 1 cm;

- izolacja akustyczna stropu żelbetowego nad parterem ze styropianu akustycznego EPS T o grubości 5 cm, jastrych cementowy (niezbrojony) o grubości 5 cm jako warstwa dociskowa, strop żelbetowy o grubości 15 cm;

- ściany działowe z pustaków poryzowanych o grubości 12 cm klasy 5 na zaprawie cementowo-wapiennej M5;

a)

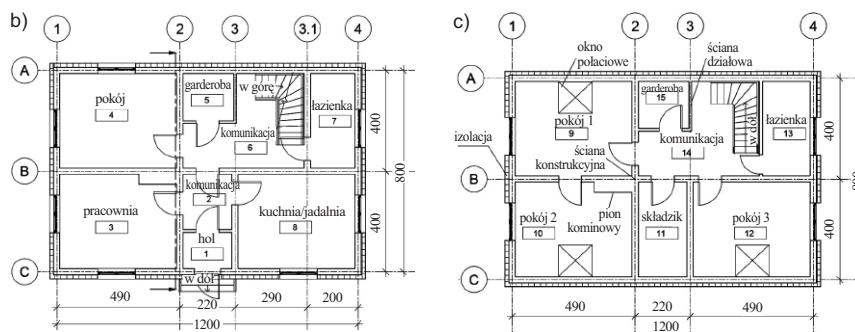
- żelbetowa płyta fundamentowa jako fundament bezpośredni o jednakowej grubości 40 cm z betonu klasy C16/20 na betonie podkładowym C8/12 o grubości 5 cm;

- konstrukcja dachu drewniana – jętkowa z drewna klasy C24 w rozstawie co 80 cm, folia paroprzepuszczalna, deskowanie (kontrłaty wzdłuż krokwi, łaty co 35 cm) na poszyciu z płyty OSB grubości 2,2 cm, pokrycie dachówką ceramiczną;

2) Wariant 2 – W2 (rysunek 2):

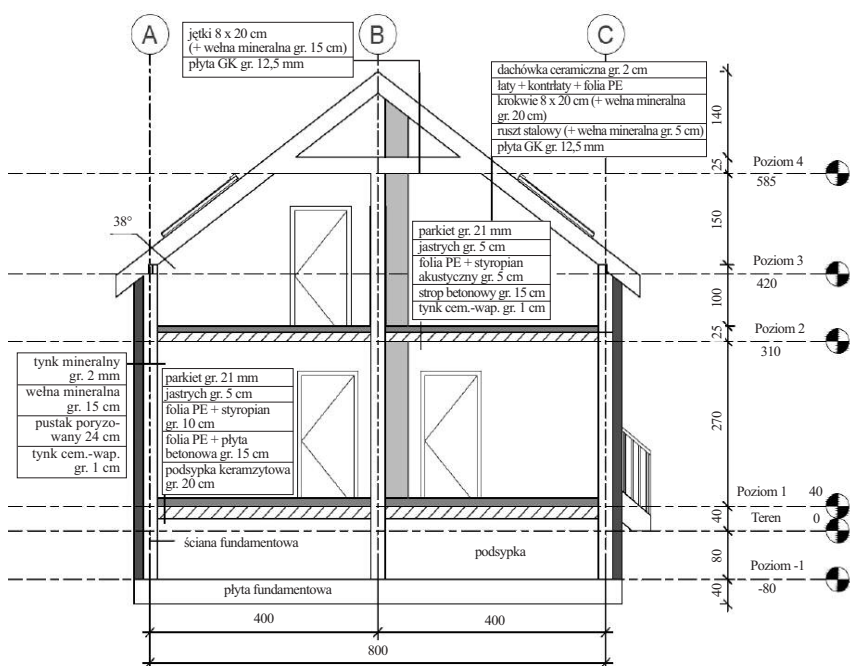
- budynek w technologii murowanej z bloczków z betonu komórkowego klasy wytrzymałości na ściskanie 5 na zaprawie cementowo-wapiennej M10, z ociepleniem ścian zewnętrznych wg technologii ETICS wełną mineralną (skalną) w postaci płyt o grubości 15 cm, wyprawa elewacyjna z tynku mineralnego baranek 2 mm jako warstwa fakturowa, natomiast do wykończenia wewnątrz – tynk cementowo-wapienny o grubości 1 cm;

- izolacja akustyczna stropu żelbetowego nad parterem – styropian akustyczny EPS T o grubości 5 cm, jastrych cementowy (niezbrojony) o grubości 5 cm jako warstwa dociskowa, strop żelbetowy o grubości 15 cm;



Rys. 1. Schemat rozpatrywanego budynku w różnych technologiach: a) wizualizacja budynku; b) rzut parteru; c) rzut kondygnacji

Fig. 1. Scheme of the considered building in various technologies: a) visualization of the building; b) groundfloor plan; c) floor plan



Rys. 2. Przekrój domu w technologii murowanej ze stropem monolitycznym (schemat)
 Fig. 2. Cross-section of a house in brick technology with a monolithic ceiling (scheme)

- żelbetowa płyta fundamentowa jako fundament bezpośredni o jednakowej grubości 40 cm z betonu klasy C16/20 na betonie podkładowym C8/12 o grubości 5 cm;

- konstrukcja dachu drewniana – jętkowa z drewna klasy C24 w rozstawie co 80 cm, folia paroprzepuszczalna, deskowanie (kontrłaty wzdłuż krokwi, łąty co 35 cm) na poszyciu z płyty OSB (grubości 2,2 cm), pokrycie dachówką ceramiczną;

3) Wariant 3 – W3 (rysunek 3):

- budynek o konstrukcji drewnianej szkieletowej, słupki o przekroju 4,5 x 15 cm z drewna C24 w rozstawie co 60 cm (panel ścienny), wypełnienie wełną mineralną (skalną) w postaci płyt o grubości 15 cm, impregnowana płyta OSB (twarda grubości 2,2 cm) od strony zewnętrznej – wykończenie z deski elewacyjnej grubości 2 cm, wykończenie od wewnątrz płytą GK (grubości 12,5 mm), ocieplenie od zewnątrz wełną mineralną o grubości 5 cm i wykończeniu tynkiem mineralnym baranek 2 mm (tynk wyprawy elewacyjnej);

- strop drewniany belkowy, belki o przekroju 12 x 22 cm z drewna C24 w rozstawie co 60 cm, przestrzenie między belkami wypełniono izolacją z wełny mineralnej (skalnej) w postaci płyt o grubości 22 cm, wykończenie sufitu płytą GK 12,5 mm, poszycie wykonano

- z płyty OSB grubości 3,3 cm oraz płyty włókno-cementowej (suchy jastrych);

- żelbetowa płyta fundamentowa jako fundament bezpośredni o jednakowej grubości 40 cm z betonu klasy C16/20 na betonie podkładowym C8/12 o grubości 5 cm;

- konstrukcja dachu drewniana – jętkowa z drewna klasy C24 w rozstawie co 80 cm, folia paroprzepuszczalna, deskowanie (kontrłaty wzdłuż krokwi, łąty

co 35 cm) na poszyciu z płyty OSB grubości 2,2 cm, pokrycie dachówką ceramiczną.

Do analizy przyjęto następujące kryteria:

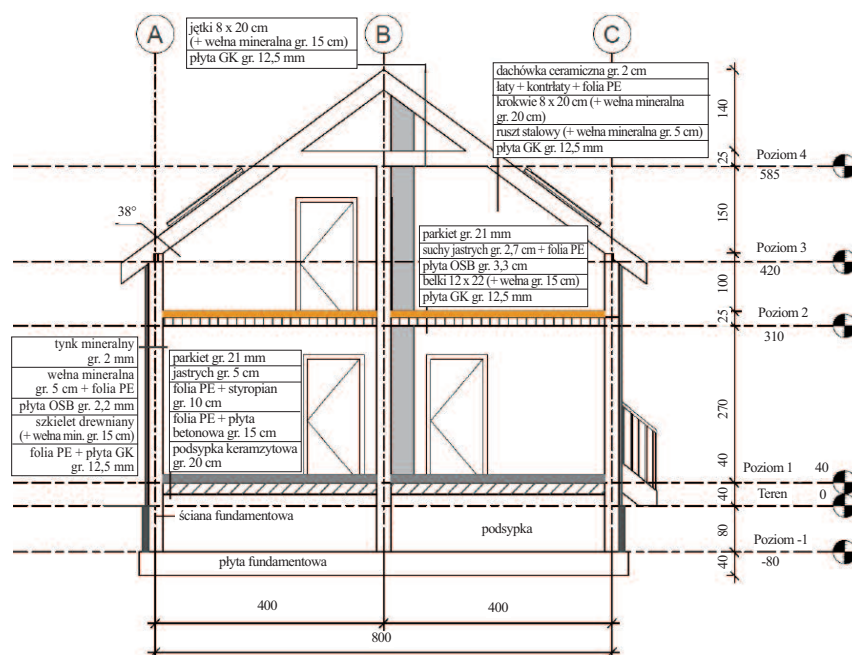
- **K1 – pracochłonność [$r\text{-g}/\text{m}^2$]** – zależy od łatwości dostaw materiałów, łatwości wykonania, udziału procesów mokrych; kryterium mierzalne; destymulanta.

- **K2 – cena budynku [$\text{zł}/\text{m}^2$]** – zależy od ceny materiałów składowych, złożoności wykonania, technologiczności, trwałości budynku, walorów estetycznych; kryterium mierzalne; destymulanta.

- **K3 – stopień społecznej akceptowalności (popularności) technologii [punkty]** – zależy od aspektów społecznych, tradycji panujących w danym regionie, np. budowa domu na pokolenia w Polsce (stabilność), chęć zmiany pracy i miejsca zamieszkania (kraje zachodnie); kryterium niemierzalne; stymulanta.

- **K4 – brak negatywnego oddziaływania na środowisko [punkty]** – zależy od technologii pozyskiwania materiału konstrukcyjnego oraz realizacji na placu budowy; kryterium niemierzalne; stymulanta.

- **K5 – łatwość realizacji technologii [punkty]** – zależy od stopnia skomplikowania rozwiązania technicznego i technologii realizacji; kryterium niemierzalne; stymulanta.



Rys. 3. Przekrój domu szkieletowego ze stropem drewnianym (schemat)
 Fig. 3. Cross-section of a skeletal house with a wooden ceiling (scheme)

Miary kryteriów w przypadku rozpatrywanych wariantów

Miary cząstkowe kryteriów ustalono następująco:

- miary kryterium K1 na podstawie Katalogu Nakładów Rzeczowych [10] oraz wywiadów z wykonawcami, biorąc pod uwagę następstwo robót i procesy mokre;
- miary kryterium K2, korzystając z Biuletynu cen SEKOCENBUD, II kwartał 2022 r. [11];
- miary kryterium K3 dotyczącego stopnia społecznej akceptowalności (popularności) na podstawie opinii inwestorów oraz obserwacji terenowych;
- miary kryterium K4 dotyczącego braku negatywnego wpływu na środowisko na podstawie oceny specjalisty z dziedziny ochrony środowiska;
- miary kryterium K5 dotyczącego łatwości realizacji danej technologii skonsultowano z wykonawcą podobnych obiektów; rozwiązania systemowe wymagają specjalistycznych szkoleń oraz narzędzi w porównaniu z metodami tradycyjnymi, a ponadto różnią się pod względem stosowania sprzętu ciężkiego.

Podstawą prawidłowego funkcjonowania człowieka jest stabilność finansowa oraz mieszkaniowa. W Polsce przyjęło się, że domy murowane są trwałe i zapewniają użytkownikom poczucie bezpieczeństwa. Buduje się z założeniem, że inwestycje będą służyć kilku pokoleniom – dzieciom, wnukom. Koszty materiałów przemawiają za domami murowanymi. Ponadto zdecydowanie łatwiej jest znaleźć ekipę budowlaną, której specjalizacją jest technologia tradycyjna. Dłuższy czas realizacji niż w przypadku innych technologii jest co prawda wadą, ale jednocześnie pozwala przygotować się finansowo w przypadku, gdy inwestor nie posiada środków na całą inwestycję. Domy szkieletowe są mniej trwałe w porównaniu z murowanymi i wymagane są dodatkowo prace konserwacyjne w pewnych cyklach czasowych. Trudniej jest również osiągnąć odpowiednią izolację akustyczną: elementy o większej masie, np. ceramika i beton, wygłuszają lepiej, co wynika z prawa masy – izolacyjność przeciwdźwiękowa przegrody jest wprost proporcjonalna do masy przegrody przypadającej na jednostkę powierzchni oraz do częstotliwości dźwię-

ku padającego na przegrodę. Niewątpliwie jest to ważnym czynnikiem codziennej eksploatacji budynku. Biorąc pod uwagę wymienione argumenty, domy w technologii tradycyjnej są uważane za bezpieczniejsze i łatwiejsze w eksploatacji. Wartości miar poszczególnych kryteriów przedstawiono w formie macierzy danych (wg wzoru 4.) oraz w tabeli 1.

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} 25,74 & 3155 & 5 & 2 & 4 \\ 22,66 & 3075 & 4 & 2 & 5 \\ 20,52 & 3250 & 2 & 5 & 2 \end{bmatrix}$$

Wagi poszczególnych kryteriów ustalono z przedstawicielami wykonawców i inwestorów. Przyjęto do analizy dwa zestawy kryteriów. W zestawie 1 nadano większy priorytet okresowi wykonania, natomiast w zestawie 2 zwiększono priorytet kosztów i oddziaływania na środowisko (tabela 2).

Kodowanie kryteriów sprowadza wartości mianowane do niemianowanych, co umożliwi przeprowadzenie analizy porównawczej. Przyjęto kodowanie przez normowanie [12], które ma na celu zastąpienie miary cząstkowej przez jej stosunek do ekstremalnej wartości miary:

■ w przypadku stymulant miara wariantu i-tego wg kryterium j-tego:

$$z_{ij} = x_{ij}/x_{j,max} \tag{5}$$

gdzie:

$x_{j,max}$ – maksymalna wartość miary wg j-tego kryterium;

■ w przypadku destymulant:

$$z_{ij} = (x_{ij}/x_{j,min})^{-1} \tag{6}$$

gdzie:

$x_{j,min}$ – minimalna wartość miary wg j-tego kryterium;

Miary cząstkowe zestawiono w tabeli 3, a kodowanie kryteriów w tabeli 4.

Skorygowane wskaźniki sumacyjne obliczono wg wzoru:

$$I_i = \sum_{j=1}^m z_{ij} \cdot w_j \tag{7}$$

Uzyskane wyniki analizy wielokryterialnej metodą normowania przedstawiono w tabeli 5.

Ponadto zaprezentowano obliczenia drugą metodą, a mianowicie Pattern [12], której celem jest weryfikacja metody normowania. Istotą tego kodowania jest zastąpienie wartości miary cząstkowej x_{ij} przez z_{ij} wyrażoną jako iloraz danej miary i sumy miar wszystkich wariantów wg kryterium K_j . W przypadku stymulant:

$$z_{ij} = x_{ij}/\sum_{i=1}^n x_{ij} \tag{8}$$

natomiast w przypadku destymulant

$$z_{ij} = (1 - x'_{ij})/(n - 1) \tag{9}$$

gdzie: $x'_{ij} = x_{ij}/\sum_{i=1}^n x_{ij}$.

Tabela 1. Miary kryteriów w przypadku analizowanych wariantów

Table 1. Criteria measures for the analyzed variants

Charakterystyka	Kryterium				
	K1 destymulanta	K2 destymulanta	K3 stymulanta	K4 stymulanta	K5 stymulanta
Miary wariantów	[r-g/m ²]	[zł/m ²]	[punkty]	[punkty]	[punkty]
Wariant 1	25,74	3155	5	2	4
Wariant 2	22,66	3055	4	2	5
Wariant 3	20,52	3250	2	5	2
min v max	20,52	3055	5	5	5

Tabela 2. Zestawy wag w przypadku poszczególnych wariantów

Table 2. Sets of weights for individual variants

Charakterystyka	Kryterium				
	K1 destymulanta	K2 destymulanta	K3 stymulanta	K4 stymulanta	K5 stymulanta
Zestaw 1	0,40	0,20	0,05	0,15	0,20
Zestaw 2	0,20	0,40	0,10	0,20	0,10

Tabela 3. Miary cząstkowe kryteriów w przypadku poszczególnych wariantów – metoda normowania

Table 3. Partial measures of criteria for individual variants – normalization metod

Charakterystyka	Kryterium				
	K1 destymulanta (min)	K2 destymulanta (min)	K3 stymulanta (max)	K4 stymulanta (max)	K5 stymulanta (max)
Wariant 1	1,254386	1,032733	1,000000	0,400000	0,800000
Wariant 2	1,104288	1,000000	0,800000	0,400000	1,000000
Wariant 3	1,000000	1,063830	0,400000	1,000000	0,400000

Tabela 4. Kodowane miary kryteriów w przypadku rozpatrywanych wariantów – metoda normowania

Table 4. Coded criteria measures for considered variants – normalization method

Charakterystyka	Kryterium				
	K1 destymulanta	K2 destymulanta	K3 stymulanta	K4 stymulanta	K5 stymulanta
Wariant 1	0,797203	0,968304	1,000000	0,400000	0,800000
Wariant 2	0,905560	1,000000	0,800000	0,400000	1,000000
Wariant 3	1,000000	0,940000	0,400000	1,000000	0,400000

Tabela 5. Wyniki wielokryterialnej analizy porównawczej – metoda normowania

Table 5. Results of multi-criteria comparative analysis – normalization method

Warianty	Zestaw 1	Zestaw 2
1	0,782542	0,806762
2	0,863334	0,841112
3	0,838000	0,856000
max	0,863334	0,856000

Kodowanie kryteriów zestawiono w tabeli 6. Skorygowane wskaźniki sumacyjne obliczone wg wzoru 7 zestawiono w tabeli 7.

W przypadku zestawu kryteriów nr 1 najkorzystniejszym rozwiązaniem jest wariant 2 (budynek w technologii murywanej z bloczków z betonu komórkowego), natomiast w przypadku zestawu nr 2 wskazano wariant 3 (budynek drewniany o konstrukcji szkieletowej). Metoda normowania oraz Pattern w kwestii gradacji daje takie same wyniki. W obu metodach najmniej korzystnym rozwiązaniem jest budynek murywany z pustaków poryzowanych. Należy wziąć pod uwagę, że w praktyce decyzje dotyczące wyboru technologii podejmuje się na podstawie doświadczenia zawodowego osób zaangażowanych w daną inwestycję. Ważnymi aspektami analizy są również uwa-

runowania lokalizacyjne, dostępność materiałów oraz terminy realizacji. W praktyce w ok. 90% realizowanych budynków stosowana jest technologia tradycyjna. Oczywiście analizy zakładają realizację budynków wg przepisów norm oraz wiedzy technicznej, a także uwzględniają poprawną eksploatację.

Podsumowanie

Przeprowadzona analiza wielokryterialna z zastosowaniem kryteriów: czasu; kosztów; akceptacji społecznej; oddziaływania na środowisko oraz łatwości realizacji technologii pokazała przydatność metody jako wsparcia procesu decyzyjnego w praktyce budowlanej. W przypadku rozpatrywania wielu kryteriów i o różnym stopniu ważności dla decydenta nie należy polegać wyłącznie na doświadczeniu i intuicji inżynierskiej, ale również na metodach naukowych. Wiedza inżynierska z pewnością powinna być stosowana do określania wstępnych danych wejściowych do późniejszych rozważań. Szczególnie jest to istotne, kiedy kryteria i ich wagi znacznie się różnią i w związku z tym mają różny stopień ważności. Metoda jest szybka i prosta w zastosowaniu. Wspo-

znaniowe określenie współczynników wagowych, szczególnie w przypadku dużej liczby zmiennych kryteriów.

Z przedstawionych analiz wynika, że w przypadku pierwszego zestawu wag najkorzystniejszym rozwiązaniem jest realizacja budynku w technologii murywanej z bloczków z betonu komórkowego (preferencja czasu), a wg drugiego zestawu wag (preferencja kosztów) najkorzystniejsza okazała się realizacja budynku w technologii szkieletu drewnianego, co jest ewidentnym wpływem ustalonych preferencji decydentów dotyczących miar i wag wariantów.

Literatura

[1] Szwabowski J, Deszcz J.; Metody wielokryterialnej analizy porównawczej: podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań w budownictwie, Wydaw. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.
 [2] Leśniak A, Górka M. Wielokryterialna ocena wybranych rozwiązań elewacji wentylowanych, Materiały Budowlane. 2022. DOI: 10.15199/33.2022.10.06.
 [3] Dziadosz A, Baczyński K, Rejment M, Wierczok D. Wielokryterialna analiza porównawcza wybranych rozwiązań naprawczych jednorodzinne budynek mieszkalnego. Materiały Budowlane. 2022. DOI: 10.15199/33.2022.10.12.
 [4] Apollo M, Grzył B. Zastosowanie analizy wielokryterialnej do oceny i wyboru rozwiązania pokrycia dachowego. Materiały Budowlane. 2022. DOI: 10.15199/33.2022.08.13.
 [5] Szafranko E.; Możliwości zastosowania metod analizy wielokryterialnej przy doborze rozwiązań materiałowo-technologicznych w konstrukcjach budowlanych. Materiały Budowlane. 2015; 5: 49 – 50.
 [6] Zavadskas EK, Antucheviciene J, Kapliński O. Multi-criteria decision making in civil engineering. Part II – applications. Engineering Structures and Technologies. 2015; 7 (4): 151 – 167.
 [7] Kukułka A, Wirkus M. Metody wielokryterialne wspomagania decyzji oraz ich zastosowanie w opracowaniu metody oceny niepotokowych procesów produkcyjnych, Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, Artykuły Tom I, Konferencja Przemysł 4.0 a Zarządzanie i Inżynieria Produkcji – Zakopane 2017.
 [8] Książek M, Nowak P, Rosłon J. Ocena wielokryterialna wybranych konstrukcji stropów. Logistyka, vol. 6, ISSN 1231-5478.
 [9] Invidiata A, Lavagna M, Ghisi E. Selecting design strategies using multi-criteria decision making to improve the sustainability of buildings, Building and Environment. 2018; 139: 58 – 68.
 [10] KNR 2-02 W T. 1 – konstrukcje budowlane, wyd. Wacetob Sp. z o.o, 2017.
 [11] Biuletyn cen obiektów budowlanych, Sekocenbud, z. 32/2022, Ośrodek Wdrożeń Ekonomiczno-Organizacyjnych Budownictwa PROMOCJA Sp. z o.o.
 [12] Koźniewski E, Tereskiewicz A. Matematyka w przykładach z budownictwa i architektury. Manuskrypt przygotowany do druku. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej. Białystok. 2022 (23).

Przyjęto do druku: 18.01.2023 r.

Tabela 6. Kodowane miary kryteriów w przypadku rozpatrywanych wariantów – metoda Pattern

Table 6. Coded criteria measures for considered variants – Pattern method

Charakterystyka	Kryterium				
	K1 destymulanta	K2 destymulanta	K3 stymulanta	K4 stymulanta	K5 stymulanta
Wariant 1	0,313262	0,333245	0,454545	0,222222	0,363636
Wariant 2	0,335607	0,338531	0,363636	0,222222	0,454545
Wariant 3	0,351132	0,328224	0,181818	0,555556	0,181818

Tabela 7. Wyniki wielokryterialnej analizy porównawczej – metoda Pattern

Table 7. Results of multi-criteria comparative analysis – Pattern method

Warianty	Zestaw 1	Zestaw 2
1	0,320742	0,322213
2	0,344373	0,328796
3	0,334885	0,348991
max	0,344373	0,348991

maganie procesu decyzyjnego z zastosowaniem analizy wielokryterialnej umożliwia wykorzystanie kryteriów o charakterze mierzalnym (dane ilościowe) i niemierzalnym (dane jakościowe). Ponadto jej zaletą jest zaangażowanie specjalistów (ekspertów) do ustalenia wariantów, kryteriów i wag oraz prostota obliczeń matematycznych. Natomiast wadą jest