

dr inż. Agnieszka Dziadosz^{1*)}

ORCID: 0000-0002-2258-4057

mgr inż. Krzysztof Baczyński¹⁾

dr inż. Mariusz Rejment²⁾

ORCID: 0000-0001-8230-3627

dr inż. Damian Wieczorek³⁾

ORCID: 0000-0002-3191-2438

Wielokryterialna analiza porównawcza wybranych rozwiązań naprawczych jednorodzinnego budynku mieszkalnego

Multi-criteria comparative analysis of selected repair solutions of a single-family residential building

DOI: 10.15199/33.2022.10.12

Streszczenie. Strategia zrównoważonego rozwoju sprzyja dążeniu do optymalizacji procesów budowlanych, w tym do optymalnego wykorzystania materiałów i rozwiązań technologicznych z perspektywy generowania kosztów utrzymania budynku, wynikających z różnej trwałości zastosowanych materiałów i wpływu ich zużycia na częstotliwość napraw. W artykule zaprezentowano wielokryterialną analizę porównawczą wybranych rodzajów robót naprawczych na podstawie oceny stopnia zużycia technicznego budynku metodą wizualną. W celu wyboru najlepszej technologii i materiałów do pokrycia dachu oraz wykonania posadzki wykorzystano trzy różne metody wielokryterialne: TOPSIS; AHP oraz PROMETHEE. Na podstawie uzyskanych wyników określono najkorzystniejsze rozwiązanie, pokazując jednocześnie przydatność wykorzystanych metod w procesie podejmowania decyzji.

Słowa kluczowe: porównawcza analiza wielokryterialna; zużycie techniczne; utrzymanie; strategia remontowa.

Abstract. The sustainable development strategy favors the pursuit of optimization of construction processes, including the optimal use of materials and technological solutions from the perspective of generating the maintenance costs of the building resulting from the different durability of the materials used and the impact of wear on the frequency of repairs. The aim of the work is a multi-criteria comparative analysis of the proposed types of repair works based on the assessment of the degree of technical wear of the building using the visual method. In order to select the best technology and materials for roofing and flooring, three different multi-criteria methods were used, i.e.: TOPSIS, AHP and PROMETHEE. On the basis of the obtained results, the most favorable solution was determined, while showing the usefulness of the methods used in the decision-making process.

Keywords: comparative multi-criteria analysis; technical wear; maintenance; renovation strategy.

W ostatnich latach cykl życia budynku stał się głównym parametrem jego oceny. Kluczową fazą w całym cyklu życia budynku jest faza projektowania, podczas której o wyborze rozwiązań materiałowo-technologicznych decyduje wiele czynników, takich jak skala i złożoność projektu, architektura budynku, a także trwałość materiałów, ich wpływ na środowisko oraz późniejsza możliwość utylizacji bądź recyklingu [1, 4, 5]. Kolejna faza obejmuje budowę obiektu budowlanego, gdzie jakość wykonania ma istotny wpływ na częstotliwość napraw i re-

montów w fazie eksploatacji. W tej fazie uwaga skupiona jest na robotach remontowych i naprawczych, mających na celu wymianę elementu bądź jego konserwację lub naprawę o charakterze zapobiegawczym. Dodatkowo w fazie eksploatacyjnej ponosimy koszty pośrednio związane z decyzjami fazy projektowania i planowania budynku, wynikające z zaproponowanych przez projektanta rozwiązań. W artykule skupiliśmy uwagę na trzech kluczowych aspektach w ramach fazy eksploatacyjnej, tj. ocenie stanu technicznego budynku, identyfikacji działań naprawczych z jednoczesnym określeniem ich zakresu oraz selekcji zaproponowanych robót remontowych wg ustalonych kryteriów, bazując na metodach wielokryterialnych. Przyjęty układ analizy pozwolił na kompleksową ocenę budynku z wykorzystaniem różnych metod analitycznych.

Rodzaje zużycia a trwałość budynku

W praktyce jest wiele czynników determinujących trafną ocenę zużycia budynku wg trzech kategorii: technicznej, funkcjonalnej i środowiskowej [2, 6 – 9]. **Zużycie techniczne** określane jest jako utrata zdolności poszczególnych elementów budynku do zachowania określonych parametrów i wymagań na skutek upływu czasu. Zagadnienie to wiąże się z dodatkowym pojęciem jakim jest *trwałość*. **Trwałość** wg [10], **to właściwość materiałów lub wyrobów zapewniająca spełnienie w ciągu określonego czasu przypisywanych im niezbędnych funkcji**. Zużycie techniczne budynku zależy zatem od trwałości zastosowanych materiałów, wieku budynku (czas użytkowania), jakości wykonanych robót budowlanych, błędów projektowych oraz prowadzonej strategii remontowej. **Zu-**

¹⁾ Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu

²⁾ Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

³⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej

* Adres do korespondencji:

agnieszka.dziadosz@put.poznan.pl

życie funkcjonalne budynku (rozumiane w kontekście oceny nowoczesności) jest związane z porównaniem zastosowanych rozwiązań projektowych do aktualnie preferowanych z uwzględnieniem standardu wykończenia i wyposażenia w urządzenia techniczne. **Zużycie środowiskowe** budynku spowodowane jest planowanymi lub dokonanymi zmianami w otoczeniu nieruchomości, powodując przy tym uciążliwość w korzystaniu z obiektu. Najliczniejszą grupę czynników zużycia środowiskowego stanowią czynniki zewnętrzne, których uciążliwość polega na bliskim sąsiedztwie z drogami szybkiego ruchu i autostradami.

Stopień zużycia technicznego można wyznaczyć za pomocą metod czasowych korespondujących ze sposobem prowadzenia gospodarki remontowej lub na podstawie metody wizualnej jako średnioważony stopień zużycia budynku, na podstawie zużycia technicznego jego elementów. Miarą zużycia technicznego jest stopień zużycia, wyrażany w procentach lub rzadziej w postaci ułamka utraty wartości budynku w stosunku do kosztów nowego budynku. Metody czasowe charakteryzuje pewna niedokładność, a mianowicie parametr t jako wiek budynku w latach możemy wyznaczyć precyzyjnie, natomiast parametr T jako przewidywany okres trwałości nie jest dokładnie znany. Jest on zależny od jakości zastosowanych materiałów, sposobu eksploatacji oraz wielu innych czynników niemierzalnych, które mają wpływ na trwałość budynku. W analizie jest on przejmowany ogólnie z odpowiednich tablic.

Stopień zużycia technicznego budynku

Ocena średnioważonego stopnia zużycia technicznego budynku stanowiła podstawę doboru naprawczych rozwiązań materiałowo-technologicznych. Pierwszym etapem oceny stopnia zużycia technicznego było określenie procentowego udziału poszczególnych elementów budynku w całkowitej jego wartości (koszcie wykonania) oraz określenie procentowego stopnia zużycia poszczególnych elementów budynku na podstawie wizji lokalnej (fotografie 1 i 2). Ostatni etap oceny stopnia zu-



Fot. 1. Wygląd zewnętrzny analizowanego budynku
Photo 1. The exterior of the analyzed building

Opracowanie własne
Own elaboration



Fot. 2. Wnętrze analizowanego budynku
Photo 2. The interior of the analyzed building

Opracowanie własne
Own elaboration

życia obejmował wyznaczenie iloczynów procentowego udziału w kosztach oraz zużycia poszczególnych elementów. Suma ilorazów stanowi procentowe zużycie budynku.

Stopień zużycia budynku, wyznaczony za pomocą metody wizualnej, oszacowano na poziomie 30,97% (tabela 1). W kolejnym kroku porównano zużycie wyznaczone metodą wizualną oraz metodami czasowymi (rysunek). Z wytycznych [10] wynika, że jest to średnie zużycie budynku. W obecnym stanie budynek nie zagraża bezpieczeństwu, ale wskazany jest kapitalny remont najbardziej zużytych jego elementów. Szczególną uwagę należy skupić na pokryciu dachu, podłogach i posadzkach oraz stolarkie okiennej (fotografie 1 i 2).

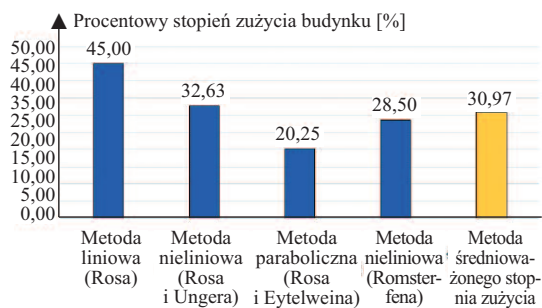
Analiza porównawcza rozwiązań naprawczych

Kryteria oceny wybranych robót naprawczych. Analiza wielokryterialna ma na celu wsparcie procesu decyzyjnego oraz dostarczenie dodatkowych argumentów przy wyborze najlepszego wariantu na podstawie ustalonych uprzednio kryteriów oceny (tabela 2 – 5). Kryteria te mogą mieć charakter mierzalny lub niemierzalny. W literaturze opisano metody wspierające proces decyzyjny, wymagające zaan-

Tabela 1. Ocena stopnia zużycia budynku

Opracowanie własne
Table 1. Assessment of the degree of wear of the building
Own elaboration

Element budynku	Udział w kosztach elementu α_i [%]	Stopień zużycia elementu Sz_i [%]	Zużycie budynku $Sz \cdot \alpha_i / 100$ [%]
Roboty ziemne	2,44	0,00	0,00
Fundamenty i ściany fundamentowe	7,85	14,00	1,10
Ściany konstrukcyjne	8,07	23,00	1,86
Strop	4,36	24,00	1,05
Schody wewnętrzne	0,56	20,00	0,11
Schody zewnętrzne	0,02	40,00	0,01
Ściany działowe	2,14	14,00	0,30
Dach – konstrukcja	11,52	20,00	2,30
Dach – pokrycie	5,11	51,00	2,61
Rynny i spusty rurowe	0,65	37,00	0,24
Stolarka okienna	4,16	63,00	2,62
Stolarka drzwiowa	4,18	39,00	1,63
Elewacje	10,88	45,00	4,90
Tynki wewnętrzne	7,15	29,00	2,07
Roboty malarskie	1,33	45,00	0,60
Podłogi i posadzki	11,81	61,00	7,20
Instalacja wodociągowa	2,59	11,00	0,28
Instalacja kanalizacyjna	1,42	12,00	0,17
Instalacja elektryczna	4,65	22,00	1,02
Instalacja c.o. i c.w.u.	8,13	10,00	0,81
Wentylacja	0,98	9,00	0,09
SUMA	100		30,97



Procentowy stopień zużycia technicznego budynku wyznaczony różnymi metodami

The percentage degree of technical wear of the building determined by various methods

gażowania decydenta w różnym stopniu oraz niekiedy wykorzystania odpowiedniego oprogramowania [3]. Do analizy wybrano trzy metody. Pierwsza metoda TOPSIS (ang. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) polega na porównywaniu wariantów z abstrakcyjnymi rozwiązaniami referencyjnymi: idealnym i „antyidealnym”. Natomiast metoda AHP (ang. *Analytical Hierarchy Process*) pozwala na hierarchiczne uszeregowanie wariantów, wykorzystując porównywanie parami kryteriów oraz wariantów decyzyjnych, w odpowiednio przygotowane macierze. Metoda PROMETHEE (ang. *Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations*) uwzględnia różni-

ce pomiędzy ocenami wariantów w przypadku wyodrębnionych kryteriów. Podstawą metody jest utworzenie kryteriów zastępczych, które są opracowane na podstawie dominacji jednego wariantu nad drugim. Większa różnica oznacza wyższą preferencję danego kryterium.

Wyznaczony stopień zużycia poszczególnych elementów wskazał na konieczność i kolejność wykonania napraw, dlatego też dalszej analizie poddano przede wszystkim pokrycie dachu oraz posadzkę (tabela 2 – 5).

Tabela 3. Waga kryterium w celu selekcji pokrycia dachowego

Table 3. Weight of the criterion for the selection of roofing material

Kryterium	Waga kryterium	
	skala 1 – 100	$\Sigma = 1$
Koszt	100	0,33
Skomplikowanie wykonania	50	0,16
Odporność na warunki atmosferyczne	60	0,19
Trwałość	80	0,26
Tłumienie hałasu	20	0,06

Tabela 2. Kryteria oceny pokrycia dachowego

Table 2. Roofing assessment criteria

Kryterium	Charakterystyka	Skala
Koszt	w kategorii kosztów uwzględniono koszty różniące się w zależności od technologii i typu pokrycia, a więc: materiałów, przygotowania oraz montażu. W przypadku dachówek i blach jest to wykonanie rusztu z łąt i kontrłat, w przypadku gontów pełnego deskowania i jednej warstwy papy podkładowej. W każdym wariantcie doliczono koszty montażu.	zł/m ²
Skomplikowanie wykonania	uwzględnia trudność robót montażowych i obróbek. Zwraca uwagę na konieczność kwalifikacji i doświadczenie firm wykonawczych. Ocena jest rosnąca, czyli im większa wartość, tym trudność wykonania jest mniejsza, co wpływa korzystnie na wykonanie pokrycia dachowego.	skala oceny jest pięciostopniowa: bardzo trudne (1), trudne (2), średnie (3), łatwe (4), bardzo łatwe (5)
Odporność na warunki atmosferyczne	wskazuje na zachowania materiałów pod wpływem niekorzystnych warunków atmosferycznych oraz ich zniszczenie zależne od czasu trwania niekorzystnych warunków atmosferycznych	skala jest rosnąca, pięciostopniowa: bardzo niska (1), niska (2), średnia (3), wysoka (4), bardzo wysoka (5)
Trwałość	odpowiada za zachowanie parametrów technicznych w czasie, a także za odporność na uszkodzenia mechaniczne	skala jest rosnąca, pięciostopniowa: bardzo niska (1), niska (2), średnia (3), wysoka (4), bardzo wysoka (5)
Tłumienie hałasu	jest ważnym aspektem w przypadku poddaszy użytkowych. Hałas podczas deszczu w przypadku niektórych materiałów potrafi być bardzo wysoki. W analizowanym obiekcie poddasze nie jest użytkowe, dlatego to kryterium nie jest kluczowym kryterium oceny	skala oceny jest pięciostopniowa: bardzo słabe (1), słabe (2), średnie (3), wysokie (4), bardzo wysokie (5)

Opracowanie własne
Own elaboration

Selekcja i wybór pokrycia dachowego oraz posadzki. Dla każdego wariantu przygotowano wstępną klasyfikację rozwiązań materiałowych wg wybranych kryteriów (tabela 6 i 7).

Omówienie wyników

Analiza wielokryterialna uszeregowania materiałów pokryciowych pomiędzy dachówką ceramiczną, dachówką cementową, blachodachówką, blachą płaską oraz gontem bitumicznym wykazała, że najlepszym rozwiązaniem jest dachówka cementowa. Bardzo zbliżony wynik osiągnęła dachówka ceramiczna, której wybór również byłby korzystny ze względu na analizowane kryteria. Na ostatnim miejscu była we wszystkich metodach blacha płaska.

W przypadku wariantowania wyboru posadzki w poszczególnych pomieszczeniach zgodnie z wynikiem analiz najlepszym rozwiązaniem była wykładzina PVC. Analiza metodą TOPSIS oraz PROMETHEE wykazała, że gorszymi rozwiązaniami były kolejno: panele laminowane; panele winylowe; wykładzina dywanowa i płytki gresowe. Metoda AHP jako gorsze warianty od wykładziny PVC wskazała kolejno: wykładzinę dywanową; płytki gresowe; panele winylowe i panele laminowane.

Podsumowanie

Metody wielokryterialne stanowią doskonałe wsparcie procesu decyzyjnego w przypadku rozpatrywania wielu kryteriów o różnym stopniu ważności dla decydenta. Dodatkowo dostępnych jest wiele gotowych programów ułatwiających wprowadzenie danych w celu wygenerowania ostatecznej oceny wariantu. Roboty naprawcze zaproponowane na podstawie oceny stanu technicznego oraz stopnia ich zużycia zostały poddane gruntownej analizie pokrycia dachowego oraz posadzek. Dokonano wyboru najkorzystniejszego rozwiązania na podstawie trzech metod wielokryterialnych, a mianowicie TOPSIS, AHP oraz PROMETHEE. Takie podejście zapewniło dodatkowe przesłanki determinujące ostateczny wybór. Niemniej jednak proponuje się rozwi-

Tabela 4. Kryteria oceny posadzki
Table 4. Criteria for floor evaluation

Opracowanie własne
Own elaboration

Kryterium	Charakterystyka	Skala
Koszt	w kategorii kosztów uwzględniono koszty różniące się w zależności od technologii i typu pokrycia, są to koszty: materiałów, przygotowania oraz montażu. W przypadku dachówek i blach jest to wykonanie rusztu z łąt i kontrłąt, w przypadku gontów jest to pełne deskowanie i 1 warstwa papy podkładowej. W każdym wariantcie doliczono koszty montażu	zł/m ²
Skomplikowanie wykonania	kryterium uwzględnia trudność wykonania posadzki. Trudność montażu, łączenie elementów, docinanie na wymiar, potrzebny sprzęt oraz materiały montażowe. Kryterium jest rosnące, czyli im wyższa punktacja, tym łatwiejsze wykonanie posadzki	skala jest pięciostopniowa: bardzo trudne (1), trudne (2), średnie (3), łatwe (4), bardzo łatwe (5)
Trwałość	kryterium jest określone na podstawie analizy literatury, uwzględnia zachowanie parametrów technicznych materiału, nie skupia się na aspektach wizualnych. Ocena kryterium jest rosnąca	skala oceny jest pięciostopniowa: bardzo niska (1), niska (2), średnia (3), wysoka (4), bardzo wysoka (5)
Łmumienie hałasu	kryterium ocenia tłumienie hałasu komunikacyjnego (ze względu na przemieszczenie się ludzi); najlepszą oceną jest największa wartość	skala oceny jest pięciostopniowa: bardzo słabe (1), słabe (2), średnie (3), wysokie (4), bardzo wysokie (5)
Gwarancja producenta	skupia się głównie na zachowaniu parametrów wizualnych. Gwarancja jest określona w latach; dłuższy czas gwarancji jest bardziej pożądany	lata
Trudność napraw i wymiany	uwzględnia możliwość naprawy drobnych uszkodzeń, a także wymiany całej posadzki po latach użytkowania. Ocena kryterium jest rosnąca	skala ocen jest pięciostopniowa: bardzo skomplikowana (1), skomplikowana (2), średnia (3), łatwa (4), bardzo łatwa (5)
Trudność konserwacji	trudność czyszczenia i konserwacji materiału, uwzględnia również podatność na zabrudzenia	skala jest pięciostopniowa rosnąca: bardzo trudna (1), trudna (2), średnia (3), łatwa (4), bardzo łatwa (5)

nięcie podejścia o analizę szacowania łącznych kosztów w cyklu życia obiektu, jako dodatkowego kryterium wyboru ostatecznego rozwiązania materiałowo-technologicznego.

Literatura

[1] Celińska M, Wiatr T. Budownictwo zrównoważone z przykładem analizy kosztów w ujęciu LCC. Przegląd Budowlany. 2018; 11: 45 – 50.
 [2] Dziadosz A, Meszek W. Selected aspects of determining of building facility deterioration for real estate valuation. Procedia Engineering. 2015; 122: 266 – 273.
 [3] Dziadosz A, Banach D, Meszek W, Rejment M. (2018). Impact of the adopted strategy on the result of multi-criteria analysis of technology solution based on AHP (BOCR). In MATEC Web of Conferences. 2018; 222: 01002. EDP Sciences.
 [4] Plebankiewicz E, Meszek W, Zima K, Wiczorek D. Probabilistic and fuzzy approaches for estimating the life cycle costs of buildings under conditions of exposure to risk. Sustainability. 2019; https://doi.org/10.3390/su12010226.
 [5] Zima K, Przesmycka, A. Koncepcja zintegrowanej analizy kosztów i generowanego śladu węglowego w cyklu życia budynku. Przegląd Budowlany. 2021; 92: 42 – 48.
 [6] Nowogońska B. A methodology for determining the rehabilitation needs of buildings. Applied Sciences. 2020; 10 (11): 3873.

Tabela 5. Waga kryterium w celu selekcji posadzki
Table 5. Weight of the criterion for the selection of a floor

Opracowanie własne
Own elaboration

Kryterium	Waga kryterium	
	skala 1 – 100	Σ = 1,0
Koszt	75	0,18
Skomplikowanie wykonania	70	0,17
Trwałość	85	0,21
Łmumienie hałasu	55	0,13
Gwarancja producenta	50	0,12
Trudność napraw i wymiany	35	0,09
Trudność konserwacji	40	0,10

Tabela 7. Zestawienie danych i wstępnych ocen do analizy wielokryterialnej przy wyborze posadzki
Table 7. Summary of data and preliminary assessments for multi-criteria analysis when choosing a floor

Opracowanie własne
Own elaboration

Kryterium	Płytki gresowe	Panele winylowe	Wykładzina dywanowa	Panele laminowane	Wykładziny PVC
Koszt [zł/m ²]	115	150	90	85	40
Skomplikowanie wykonania	trudne (2)	łatwe (4)	bardzo łatwe (5)	średnia (3)	łatwe (4)
Trwałość	wysoka (4)	średnia (3)	niska (2)	średnia (3)	niska (2)
Łmumienie hałasu	słabe (2)	wysokie (4)	bardzo wysokie (5)	średnia (3)	wysokie (4)
Gwarancja producenta	6 lat	30 lat	2 lata	30 lat	15 lat
Trudność napraw i wymiany	skomplikowana (2)	średnia (3)	bardzo łatwa (5)	średnia (3)	łatwa (4)
Trudność konserwacji	bardzo łatwa (5)	łatwa (4)	trudna (2)	średnia (3)	łatwa (4)

Tabela 6. Zestawienie danych i wstępnych ocen do analizy wielokryterialnej przy wyborze pokrycia dachowego
Table 6. Summary of data and preliminary assessments for a multi-criteria analysis when choosing a roofing material

Opracowanie własne
Own elaboration

Kryterium	Dachówka ceramiczna	Dachówka cementowa	Blachodachówka	Blacha płaska	Gont bitumiczny
Koszt (cena jednostkowa) [zł/m ²]	188,36	144,46	156,21	243,95	148,89
Skomplikowanie wykonania	trudne (2)	średnie (3)	łatwe (4)	łatwe (4)	bardzo łatwe (5)
Odporność na warunki atmosferyczne	bardzo wysoka (5)	wysoka (4)	średnia (3)	średnia (3)	niska (2)
Trwałość	bardzo wysoka (5)	wysoka (4)	średnia (3)	średnia (3)	niska (2)
Łmumienie hałasu	wysokie (4)	wysokie (4)	bardzo słabe (1)	bardzo słabe (1)	średnie (3)

[7] Konior J, Rejment, M. Correlation between Defects and Technical Wear of Materials Used in Traditional Construction. Materials. 2021; https://doi.org/10.3390/ma14102482.
 [8] Nowogońska B, Korentz J. Value of technical wear and costs of restoring performance characteristics to residential buildings. Buildings. 2022; 10 (1): 9.
 [9] Plebankiewicz E, Leśniak A, Vitkova E, Hromadka V. Models for estimating costs of public buildings maintaining-review and assessment. Archives of Civil Engineering. 2022; 68 (1).
 [10] Winniczek W. Wycena budynków i budowli podejściem odtworzeniowym, Wydawca CUTOB-PZITB, Wrocław 1993.

Przyjęto do druku: 28.09.2022 r.