



## Systemy fasad aluminiowo-szklanych i ich ocena wielokryterialna

Monika Górka<sup>1</sup>, Agnieszka Leśniak<sup>2</sup>

### STRESZCZENIE:

Fasady aluminiowo-szklane to jedno z rozwiązań wykonania lekkiej ściany osłonowej. Jest to znak współczesności, jakości i estetyki. Powszechność wykorzystania fasad aluminiowo-szklanych wynika z dużej funkcjonalności oraz wysokiego standardu użytkowania. Różnorodność oferowanych przez producentów systemów fasad aluminiowych sprawia, że inwestor musi dokonać wyboru takiego, który spełni przez niego określone kryteria. Celem artykułu jest prezentacja i ocena wybranych i najczęściej stosowanych systemów fasad aluminiowych. Analizie poddano trzy warianty oferowanych na rynku systemów. Wybór wariantu został dokonany z wykorzystaniem metody analizy wielokryterialnej. Celem autorów jest przedstawienie i porównanie kilku metod stosowanych w analizie wielokryterialnej poprzez rozwiązanie problemu decyzyjnego, jakim jest wybór optymalnego systemu fasady aluminiowo-szklanej.

### SŁOWA KLUCZOWE:

fasady aluminiowo-szklane; analiza wielokryterialna; podejmowanie decyzji

## 1. Wprowadzenie

Fasady aluminiowo-szklane to jedno z rozwiązań wykonania lekkiej ściany osłonowej. Jest to znak współczesności, jakości i estetyki. Materiałem wykorzystywanym do tworzenia szkieletu konstrukcji ściany zewnętrznej jest aluminium. Do jego zalet należą: lekkość, elastyczność form i profili, trwałość i odporność na działania korozji. Wszystkie te walory pozwalają tworzyć krzywoliniowe płaszczyzny elewacji o niebanalnym wyglądzie i efekcie wizualnym. Powszechność wykorzystania fasad aluminiowo-szklanych wynika z dużej funkcjonalności oraz wysokiego standardu użytkowania.

Różnorodność oferowanych przez producentów systemów fasad aluminiowych sprawia, że inwestor musi dokonać wyboru takiego, który spełni określone przez niego kryteria. Najważniejsze są zazwyczaj kryteria kosztu [1] i czasu [2, 3]. Niestety, dość często wraz z obniżeniem kosztów spada jakość oferowanego materiału, a także ulegają pogorszeniu jego parametry techniczne. Dodatkowo na wybór odpowiedniego systemu fasady aluminiowej wpływają inne czynniki, jakimi są estetyka, efekt wizualny, wielkość przeszklenia, transparentność itp. Przyjęte rozwiązanie konstrukcyjne i technologiczne fasady wpływają nie tylko na efektywność inwestycji, ale także na późniejszą eksploatację danego obiektu. Do oceny oferowanych alternatywnych rozwiązań i wyboru najkorzystniejszego z nich można wykorzystać metody wspomagające podejmowanie decyzji. Ich zastosowanie w budownictwie przedstawiono w [4–7].

Celem artykułu jest prezentacja i ocena wybranych i najczęściej stosowanych systemów fasad aluminiowych jako jednego z rozwiązań wykonania lekkiej obudowy ściany osłonowej. Analizie poddano trzy warianty oferowanych na rynku systemów: system słupowo-ryglowy,

<sup>1</sup> Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31–155 Kraków, e-mail: mgorka@i3.pk.edu.pl, orcid id: 0000-0002-5958-2078

<sup>2</sup> Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31–155 Kraków, e-mail: alesniak@i3.pk.edu.pl, orcid id: 0000-0002-4811-5574

strukturalny oraz semistrukturalny. Wybór wariantu został dokonany z wykorzystaniem metody analizy wielokryterialnej. Taka metoda pozwala w prosty sposób przedstawić optymalne rozwiązanie ze względu na przyjęte kryteria oceny.

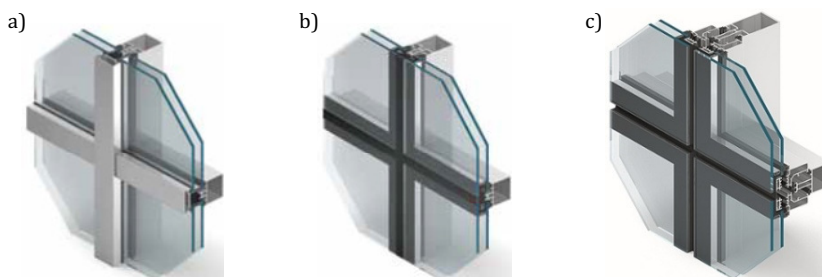
## 2. Systemy fasad aluminiowo-szklanych – analiza wielokryterialna

Elewacja budynku to jego wizytówka, musi cechować się wysoką estetyką, niebanalnym rozwiązaniem oraz lekkością, przyciągając swoim kształtem obserwatora. Ponadto musi spełniać wymagania i parametry techniczne, być funkcjonalna i szczelna. Wszystkie te kryteria spełnia fasada aluminiowo-szklana jako jedno z rozwiązań lekkich ścian osłonowych. Polska norma PN-EN 13830:2015 „Ściany osłonowe” definiuje ścianę osłonową jako zewnętrzną obudowę budynku o konstrukcji ramowej, wykonaną przeważnie z metalu, drewna lub PVC-U, składającą się zwykle z pionowych i poziomych elementów konstrukcyjnych, połączonych razem i zamocowanych do konstrukcji nośnej budynku.

Stosowanie systemów fasad aluminiowo-szklanych pozwala kształtować dowolne formy architektoniczne. Ponadto walorem takiego rozwiązania jest bardzo duża przejrzystość konstrukcji, co w efekcie daje bardzo wysokie zyski ciepła.

W pracy wybrano i przeanalizowano trzy warianty systemów fasad aluminiowo-szklanych (rys. 1). Każda z nich bazuje na ogólnym założeniu lekkich ścian osłonowych, gdzie szkielet tworzą profile aluminiowe, a wypełnienie stanowi szkło hartowane.

- Wariant I – fasada słupowo-ryglowa – rozwiązanie stosowane do wykonywania lekkich ścian osłonowych. Konstrukcja takiego systemu składa się z słupów i rygli wykonanych z kształtowników aluminiowych o przekroju skrzynkowym. Z zewnętrznej strony elewacji wykorzystuje się listwy dociskowe, które mają zabezpieczyć szyby przed wypadnięciem, oraz listwy maskujące zasłaniające połączenia konstrukcyjne.
- Wariant II – fasada semistrukturalna – Konstrukcję nośną stanowią kształtowniki aluminiowe oparte na rozwiązaniu zgodnym z systemem słupowo-ryglowym. Dodatkowo zaletą takiego systemu jest wykorzystanie specjalnego mocowania szyb, w efekcie którego otrzymuje się na zewnątrz zlicowaną formę ze szczelinami wypełnionymi silikonem o grubości 20 mm.
- Wariant III – fasad strukturalna – dedykowana jest dla lekkich ścian osłonowych tworzących całkowicie szklaną powierzchnię elewacji. Taki efekt można uzyskać poprzez połączenia szyb z profilami aluminiowymi za pomocą silikonu strukturalnego. Za tego typu rozwiązaniem przemawia wysoka estetyka oraz łatwość konserwacji.



Rys. 1. Systemy fasad aluminiowo szklanych: a) słupowo-ryglowa; b) semistrukturalna; c) strukturalna [8]

Ocena i wybór odpowiedniego systemu fasad przez inwestora czy projektanta jest dość często zadaniem złożonym i trudnym. Warunki techniczne precyzują wymagania stawiane obiektom budowlanym. Są to parametry czysto techniczne. Jednak na wybór optymalnego rozwiązania często mają wpływ inne czynniki, np.: użytkowe, estetyczne, ekologiczne i ekonomiczne. Trudno ocenić walory estetyczne i użytkowe budynku bez dogłębnej analizy oferowanych rozwiązań. Decydenci często wybierają rozwiązania, które nie spełniają wymogów określonych dla danej inwestycji, kierując się złymi kryteriami, co w efekcie zniekształca trafność podjętej decyzji.

Istnieje wiele metod wielokryterialnych wspomagających proces decyzyjny. Do najbardziej popularnych można zaliczyć [9, 10]:

- 1) metody matematyczne,
- 2) metody geometryczne,
- 3) metody taksonomiczne,
- 4) metody oparte na teorii grafów.

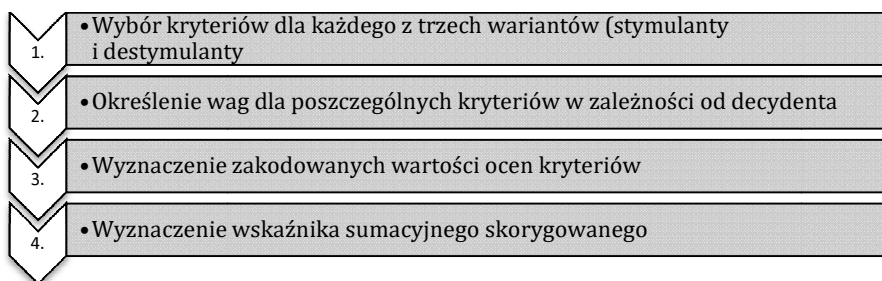
W artykule autorzy zaproponowali wykorzystanie jednej z metod matematycznych polegających na budowie skalaru, którego wartość liczbową stanowi syntetyczny wskaźnik oceny. Jej zaletami są prostota i intuicyjność w modelowaniu preferencji decydenta za pomocą addytywnej funkcji liniowej [10]. Wśród syntetycznych wskaźników oceny wskaźnik sumacyjny skorygowany stanowi najbardziej znaną i najczęściej stosowaną wielokryterialną metodę dyskretną [10]:

$$J_i = \sum_{j=1}^m (z_{ij} \cdot v_j) \quad (1)$$

gdzie:  $J_i$  – wskaźnik sumacyjny skorygowany,  $m$  – liczba kryteriów,  $z_{ij}$  – miara wariantu  $i$ -tego według kryterium  $j$ -tego,  $v_j$  – waga kryterium.

W metodzie wyznaczana jest macierz znormalizowanych ocen, a następnie wybierany wariant decyzyjny, dla którego suma ważona ocen jest największa.

Ocenę wielokryterialną przeprowadzoną według etapów zaprezentowano na rysunku 2.



**Rys. 2.** Etapy przeprowadzenia oceny wielokryterialnej z wykorzystaniem syntetycznego wskaźnika oceny

Autorzy zaproponowali cztery kryteria wpływające na wybór odpowiedniego systemu fasady aluminiowo-szklanej:

- Koszt wykonania 1 m<sup>2</sup> fasady – wyrażony w PLN. Na koszt wykonania 1 m<sup>2</sup> fasady aluminiowo-szklanej wpływa koszt robocizny, materiału i sprzętu. Prace montażowe muszą być wykonane przez wyspecjalizowanych monterów oraz realizowane z wykorzystaniem dedykowanego sprzętu typu wciągarki czy przysawki do szkła. Dodatkowym kosztem, który należy uwzględnić, są koszty kontroli jakości i badań wykonywanych przy klejeniu strukturalnym.
- Walory estetyczne – wyrażone punktowo z przedziału 1–3. Na ogólną ocenę mają wpływ forma i linia kształtu, transparentność, nasłonecznienie, detale architektoniczne.
- Czas montażu na placu budowy – wyrażony w godzinach. Każde przedsięwzięcie dąży do najkrótszego czasu realizacji i szybkiego osiągnięcia szczelności obiektu. Obecnie preferowane jest rozwiązanie prefabrykacji w zakładzie produkcyjnym, a następnie gotowe elementy montowane już na placu budowy.
- Funkcjonalność – grubość wypełnienia np. przez pakiet szklany – wyrażona w punktach z zakresu 1–3. Kryterium określające zakres zastosowania każdego szkła. Grubość wypełnienia determinuje rodzaj zestawu szyb, rozpoczynając od jednokomorowego, dwukomorowego, z szybą laminowaną, z panelami nieprzeziernymi czy nawet szkło zespolone. Większa grubość wypełnienia to większa możliwość i funkcjonalność danego systemu.

Wartości deklarowane dla poszczególnych wariantów zostały określone na podstawie własnych kalkulacji i badań. Kryteria oraz przyporządkowane im wagi, jakich autorzy zdecydowali się użyć do oceny, zostały zgrupowane w tabeli 1.

**Tabela 1**  
Charakterystyki przyjętych kryteriów

Kryterium	Jednostka	Rodzaj	Waga	Wartości dla wariantu I	Wartości dla wariantu II	Wartości dla wariantu III
Koszt wykonania 1 m <sup>2</sup>	PLN	Destymulanta	0,3	377	534,20	561,45
Czas montażu	h	Destymulanta	0,3	20	26	15
Walory estetyczne	pkt	Stymulanta	0,2	1	2	3
Funkcjonalność	pkt	Stymulanta	0,2	2	2	1

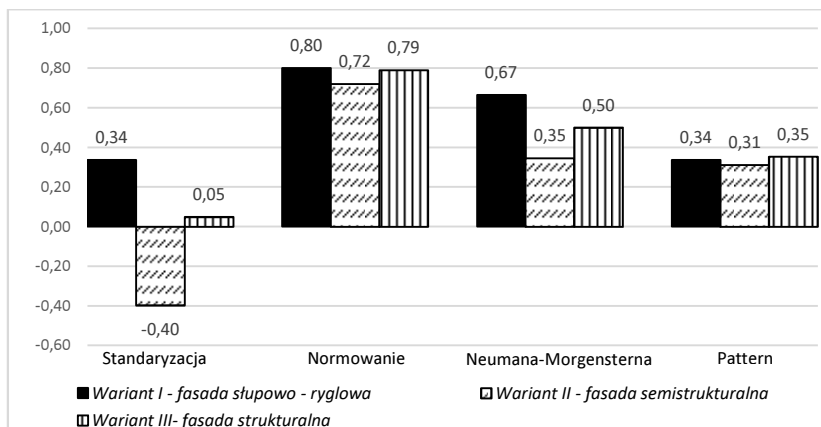
Do wyznaczenia ocen znormalizowanych autorzy zaproponowali cztery metody: standaryzację, normowanie, kodowanie wg Neumana–Morgensterna oraz kodowanie metodą Pattern. Jak wykazano m.in. w [11], metoda kodowania może mieć bowiem wpływ na wyniki analizy. Zakodowane wartości tych kryteriów przedstawiono w tabeli 2.

**Tabela 2**  
Macierz zakodowanych kryteriów i wartości wskaźnika  $J_i$

Warianty	Stymulanty		Destymulanty		Wskaźnik sumacyjny $J_i$	Ranking
	Walory estetyczne	Funkcjonalność	Koszt wykonania 1 m <sup>2</sup>	Czas montażu		
Waga kryterium	0,2	0,2	0,3	0,3		
<b>STANDARYZACJA</b>						
Wariant I	-1,22	0,7	1,4	0,07	0,34	1
Wariant II	0	0,7	-0,53	-1,26	-0,40	3
Wariant III	1,22	-1,44	-0,87	1,18	0,05	2
<b>NORMOWANIE</b>						
Wariant I	0,34	1	1	0,76	0,80	1
Wariant II	0,66	1	0,71	0,58	0,72	3
Wariant III	1	0,5	0,64	1	0,79	2
<b>KODOWANIE WG NEUMANA-MORGENSTERNA</b>						
Wariant I	0	1	1	0,55	0,67	1
Wariant II	0,5	1	0,15	0	0,35	3
Wariant III	1	0	0	1	0,50	2
<b>KODOWANIE WG PATTERN</b>						
Wariant I	0,17	0,40	0,42	0,32	0,34	2
Wariant II	0,33	0,40	0,30	0,25	0,31	3
Wariant III	0,50	0,20	0,28	0,43	0,35	1

Wartości wyznaczonego wg wzoru (1) syntetycznego wskaźnika sumacyjnego dla rozważanych wariantów w zależności od metody kodowania zaprezentowano na rysunku 3.

Analizując uzyskane wyniki, można zauważyć, że wariant I (fasada słupowo-ryglowa) nie uzyskał najwyższej oceny tylko przy zastosowaniu metody Pattern do zakodowania danych. Aby dokonać ostatecznego wyboru, autorzy zaproponowali proste rozwiązanie. Ostateczny wynik oceny otrzymano przez zsumowanie przyznanych punktów za miejsca w rankingach uzyskane przez poszczególne warianty. Za pierwsze miejsce przyznano 3 punkty, 2 punkty za drugie i 1 punkt za trzecie miejsce. Uzyskane w ten sposób wyniki (tab. 3) wskazują, że ostatecznie najlepszym rozwiązaniem przy przyjętych kryteriach jest wariant I – fasada słupowo-ryglowa.



Rys. 3. Porównanie uzyskanych wartości wskaźnika sumacyjnego dla analizowanych wariantów w zależności od metody kodowania

Tabela 3

Ostateczna ocena wariantów

Wariant	Metoda kodowania				Suma	Ocena
	Standardyzacja	Normowanie	Neumana-Morgensterna	Pattern		
Wariant I	3	3	3	2	11	1
Wariant II	1	1	1	1	4	3
Wariant III	2	2	2	3	9	2

### 3. Wnioski

Stosowanie fasad aluminiowo-szklanych jako lekkich ścian osłonowych cieszy się bardzo dużą popularnością. Można je wykorzystać we wszystkich typach obiektów budowlanych, zarówno tych nowo powstających, jak i starszych, które podlegają remontom i renowacjom. Elewacja aluminiowo-szklana nadaje charakter i kształt bryle budynku. Nie tylko podkreśla formę architektoniczną, ale również poprawia jego estetykę.

W zależności od kodowania wartości kryteriów uzyskano różne wyniki. Można zatem wnioskować, że nie tylko wagi przyjętych kryteriów, ale także metoda kodowania ich wartości może mieć wpływ na wybór tego najkorzystniejszego. Biorąc pod uwagę kryteria określone przez autorów w artykule i przypisane im wagi, dochodzi się do wniosku, że efektywnym rozwiązaniem fasad aluminiowo-szklanych jest wybór systemu słupowo-ryglowego. Inwestor decyduje się na takie rozwiązanie, kiedy zależy mu na niskim koszcie realizacji oraz funkcjonalności.

### Literatura

- [1] Plebankiewicz E., Zima K., Wieczorek D., Life cycle cost modelling of buildings with consideration of the risk, Archives of Civil Engineering 2016, 62, 2, 149-166.
- [2] Głuszak M., Leśniak A., Construction delays in clients opinion – multivariate statistical analysis, Creative Construction Conference, Procedia Engineering, 2015, 21-24 June 2015, 182-189.
- [3] Plebankiewicz E., Juszczyk M., Malara J., Estimation of task completion times with the use of the PERT method on the example of a real construction project, Archives of Civil Engineering 2015, 61, 3, 51-62.
- [4] Jajac N., Marovic I., Hanak T., Decision support for management of urban transport projects, Gradevinar, 67, 2, 31-141.
- [5] Krzemiński M., Książek M., Nowak P., Rosłon J., Wieczorek T., Wielokryterialna ocena wybranych rozwiązań konstrukcyjnych ścian w aspekcie odporności ogniowej, Logistyka 2014, 5, 862-871.

- [6] Leśniak A., Radziejowska A., Supporting bidding decision using multi-criteria analysis methods, *Procedia Engineering* 2017, 208, 76–81.
- [7] Leśniak A., Szewczyk B., Selection of a sports flooring type, *Czasopismo Techniczne* 2015, 28, 4–B, 185–190.
- [8] [www.katalog.aluprof.eu/pl/produkty/intro](http://www.katalog.aluprof.eu/pl/produkty/intro) (dostęp 01.06.2018 r.)
- [9] Szwabowski J., Deszcz J., *Metody wielokryterialnej analizy porównawczej*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.
- [10] Trzaskalik T., Wielokryterialne wspomaganie decyzji. przegląd metod i zastosowań, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej* 2014, seria Organizacja i Zarządzanie z. 74, 239–263.
- [11] Żabicki P., Gardziejczyk W., Wybrane aspekty analizy wielokryterialnej w projektowaniu obejść drogowych, *Budownictwo i Architektura* 2014, 13(1), 213–222.

## **Aluminum and glass facade systems and their multicriteria assessment**

### **ABSTRACT:**

Aluminum-glass facades are one of the solutions for the light curtain wall. It is a sign of modernity, quality and aesthetics. The common use of aluminum and glass facades is due to the high functionality and high standard of use. The variety of aluminum facade systems offered by manufacturers means that the investor must choose one that meets certain criteria. The aim of the article is to present and evaluate selected and most frequently used aluminum facade systems. Three variants of systems offered on the market were presented and analyzed. The choice of the best variant was made using the multi-criteria analysis method. To enable the comparison and evaluation of the variants authors proposed four criteria. To encode the data four different methods were used to maximize the objectivity of the result.

### **KEYWORDS:**

aluminum and glass facade; multicriteria analysis; decision making