

WIELOKRYTERIALNA ANALIZA PORÓWNAWCZA JAKO SKUTECZNE NARZĘDZIE DO OCENY I WYBORU NAJLEPSZEGO WARIANTU ROZWIĄZANIA PROJEKTOWEGO STOLARKI OKIENNEJ W BUDYNKACH MIESZKALNYCH

1. WSTĘP

Podczas podejmowania decyzji trzeba upewnić się, że jest to rozstrzygnięcie najlepsze i najbardziej efektywne. Wyboru najlepszej decyzji można dokonać tylko i wyłącznie w wyniku analizy porównawczej, co oznacza, że powinny zostać określone kryteria oceny. Ocena porównawcza ewentualnych decyzji w aspekcie kryteriów wybranych przez decydenta daje możliwość stwierdzenia, która z nich w największym zakresie odpowiada stawianym wymaganiom. Decyzja najlepsza z możliwych, która najprecyzyjniej odpowiada warunkom decydenta, nosi miano decyzji optymalnej. Potrzeba optymalizacji jest tym większa, im większe jest poczucie odpowiedzialności za ewentualne skutki podejmowanych decyzji.

Procesowi decyzyjnemu można poddać problemy ze wszystkich dziedzin życia zarówno jednostkowego, jak i społecznego czy gospodarczego. Potrzeba optymalizowania decyzji inwestycyjnych ma swoje źródło w zasadach sensownego gospodarowania. Wśród decyzji inwestycyjnych na etapie projektowania budynków mieszkalnych można wymienić takie przykłady jak wybór najkorzystniejszego rozwiązania projektowego stolarki okiennej lub drzwiowej czy dobór odpowiedniego typu konstrukcji budynku lub wybór najkorzystniejszego wariantu docieplenia budynku. W takich przypadkach sytuacji decyzyjnych warto zastosować wielokryterialną analizę porównawczą.

Celem wielokryterialnej analizy porównawczej w niniejszej pracy jest wybór, ze zbioru opracowanych wariantów rozwiązania projektowego stolarki okiennej dla budynków mieszkalnych, jednego projektu okna, najkorzystniejszego w aspekcie wymagań inwestora.

2. OKREŚLENIE WSTĘPNEGO ZBIORU KRYTERIÓW I ICH CHARAKTERYSTYKA

Wielokryterialna analiza porównawcza w tej pracy dotyczy rozwiązania projektowego stolarki okiennej wykorzystywanej do budynków mieszkalnych. Opisana we wstępie koncepcja została zrealizowana w siedmiu wariantach projektowych (tab. 1):

* Politechnika Białostocka

Tabela 1. Obiekt wielokryterialnej analizy porównawczej przedstawiony za pomocą siedmiu wariantów projektowych [6, 7]

Warianty Okna	U_f (W/m ² K)	U_g (W/m ² K)	Ilość pakietów szybowych	Gaz	Materiał ramy	Emisyjność powłoki	Proponowana osłona p/s	g (%)	Powierzchnia okna (m ²)
W1	1,0	0,3	4	krypton	PVC	0,04	żaluzja listewkowa	75	1,82
W2	1,3	1,0	3	argon	PVC	0,35	markiza	70	2,25
W3	1,2	1,1	2	powietrze	PVC	0,65	markiza	65	1,65
W4	1,0	0,7	4	krypton	PVC	0,32	żaluzja elektryczna	74	1,75
W5	1,2	0,5	3	krypton	drewno	0,10	łamacz światła	72	1,82
W6	1,0	1,1	2	powietrze	PVC/ drewno	0,42	nawiewniki okienne	63	2,25
W7	1,1	0,3	4	krypton	aluminium	0,05	łamacz światła	73	0,96

Opisując obiekt oceny, trzeba mieć na względzie jakie cechy, czy kryteria tegoż obiektu są istotne dla decydenta. Mogą to być różne cechy zarówno fizyczne, jak i chemiczne czy techniczne, ekonomiczne, estetyczne itp. [4].

W procesie dokonywania oceny dopuszcza się stosowanie zarówno kryteriów niemierzalnych, których nie można bezpośrednio wyrazić za pomocą liczb oraz kryteriów mierzalnych, wyrażonych wielkościami liczbowymi. Kryteria niemierzalne w dalszym etapie należy poddać kwantyfikacji, przez co ostatecznie wyrażone są za pomocą liczb. Dzięki czemu możliwe jest porównanie i ocena wszystkich kryteriów. W tym celu wprowadza się przyjętą arbitralnie skalę ocen [4].

W procesie oceny wielokryterialnej należy określić charakter dla przyjętych kryteriów. Kryterium uważa się za stymulantę, jeżeli jego wyższa wartość powoduje bardziej korzystną globalną ocenę jakości obiektu. Destymulantą nazywa się takie kryterium, którego wyższa wartość wpływa negatywnie na globalną ocenę jakości obiektu [4]. Z uwzględnieniem powyższych założeń został utworzony Wstępny Zbiór Kryteriów (WZK) dla rozpatrywanego obiektu analizy. Kryteria wybrano dzięki analizie źródeł [1, 2].

Kryteria obejmowały:

- K_1 – współczynnik przenikania ciepła ramy okiennej U_f (pozwala ocenić izolacyjność cieplną ramy okiennej; zależy od materiału, z którego jest wykonana rama okienna i grubości profilu; kryterium mierzalne; destymulanta),

- *K2* – *współczynnik przenikania ciepła szyby U_g* (pozwala ocenić izolacyjność cieplną części szklonej okna; zależy od: ilości i rodzaju pakietów szklących, rodzaju gazu znajdującego się pomiędzy szybami, rodzaju wykorzystanej powłoki niskoemisyjnej; kryterium mierzalne; destymulanta),
- *K3* – *liczba skrzydeł okiennych* (zwiększa powierzchnię ramy w stosunku do całkowitej powierzchni okna, przez co wpływa na zwiększenie współczynnika U_w okna; zależy głównie od preferencji konsumenta; okno o tych samych wymiarach może być zarówno jednoskrzydłowe jak i trójskrzydłowe; kryterium mierzalne; destymulanta),
- *K4* – *liczba pakietów szklących* (pozwala redukować współczynnik U_g ; wpływa na izolacyjność cieplną całego okna; kryterium mierzalne; stymulanta),
- *K5* – *wykorzystane gazy szlachetne w pakiecie szklącym* (pozwala redukować współczynnik U_g ; wpływa na izolacyjność cieplną całego okna; kryterium niemierzalne, wykorzystano 3-punktową skalę oceny; stymulanta),
- *K6* – *współczynnik g* (pozwala na ocenę przepuszczalności promieni słonecznych przez okno; zależy od wykorzystanych powłok emisyjnych i osłon przeciwsłonecznych; kryterium mierzalne; stymulanta),
- *K7* – *współczynnik c* (wyraża stosunek powierzchni szklonej do całkowitej powierzchni okna; zależy od powierzchni szyby i powierzchni całego okna; kryterium mierzalne; stymulanta),
- *K8* – *emisyjność powłoki na szkło* (pozwala redukować współczynnik izolacyjności termicznej całego okna; kryterium mierzalne; stymulanta),
- *K9* – *powierzchnia ramy* (wpływa na współczynnik c ; kryterium mierzalne; destymulanta),
- *K10* – *powierzchnia szyby* (wpływa na współczynnik c ; kryterium mierzalne; stymulanta),
- *K11* – *powierzchnia całego okna* (pozwala na ocenę efektywności rozwiązania projektowego; wpływa na współczynnik c ; jego wyższa wartość wpływa negatywnie na izolacyjność całego okna [1]; $K_9 = K_{10}/K_{11}$; kryterium mierzalne; stymulanta),
- *K12* – *współczynnik przewodzenia ciepła ramy okiennej* (wpływa na izolacyjność cieplną ramy; zależy od wykorzystanego materiału; kryterium mierzalne; destymulanta),
- *K13* – *wykorzystane osłony przeciwsłoneczne* (pozwala zredukować przepuszczalność promieni słonecznych przez część szkloną okna; wpływa na współczynnik g ; kryterium niemierzalne, przyjęto 4-punktową skalę; stymulanta).

3. ANALIZA KRYTERIÓW Z OPRACOWANIEM MACIERZY I GRAFU KRYTERIÓW

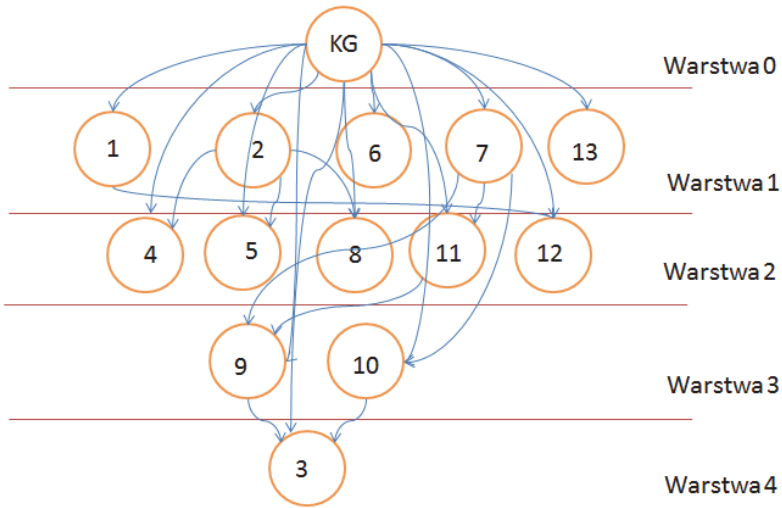
W sytuacjach decyzyjnych, kiedy przedmiot oceny opisany jest za pomocą kilkunastu kryteriów, analiza wstępnie przyjętego zbioru może wydawać się kłopotliwa, zwłaszcza pod względem wzajemnych relacji między kryteriami. W takim przypadku zaleca się zastosowanie macierzy i grafu kryteriów [3].

Tabela 2. Macierz $G_{14,14}$ zależności między kryteriami K_1, K_2, \dots, K_{13}

Nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	b_j
1	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
2	0	X	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3
3	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	X	0	1	1	1	0	0	0	3
8	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	1	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	1
$G_{ij} =$ 10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	X	0	0	0	2
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	X	
b_j	1	1	3	2	2	1	1	2	3	2	2	2	1		

Na podstawie opracowanej macierzy zbudowano graf kryteriów. Wykonano porządkowanie warstwowe grafu według następującego algorytmu: warstwę „0” grafu tworzy kryterium globalne K_G , które łączy się łukami skierowanymi do każdego z pozostałych kryteriów. Warstwę „1” grafu tworzą kryteria, dla których $b_j = 1$. Są to kryteria $K_1, K_2, K_6, K_7, K_{13}$, które łączą się łukami z kryterium globalnym K_G . Do ułożenia kolejnych warstw wybiera się kryteria, do których wchodzić łuki z niektórych wierzchołków jedynie wyżej położonych warstw. Jak widać w macierzy $G_{14,14}$, warstwę 2 grafu tworzą kryteria $K_4, K_5, K_8, K_{11}, K_{12}$. Warstwę 3 grafu tworzą jedynie kryteria K_9, K_{10} . Zaś warstwa 4 to już tylko kryterium K_3 . Wierzchołki ostatniej warstwy nie mają łuków wychodzących. Oznacza to, że graf jest zakończony.

Graf kryteriów, ilustrujący wzajemne relacje między kryteriami, przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Uporządkowany warstwowo graf kryteriów wg macierzy $G\{14,14\}$

Warstwowe uporządkowanie grafu ułatwia utworzenie ostatecznego zbioru kryteriów (OZK) tak, aby zbiór był reprezentatywny i zawierał możliwie najmniej elementów.

4. OKREŚLENIE OSTATECZNEGO ZBIORU KRYTERIÓW

Na podstawie opracowanych macierzy i grafu kryteriów zostały wybrane te, które pozwalają na utworzenie wystarczająco pełnego i reprezentatywnego opisu ocenianych wariantów decyzyjnych [5].

Do ostatecznego zbioru kryteriów (OZK) przyjmuje się wszystkie te kryteria, które łączą się jedynie z wierzchołkiem grafu, czyli z kryterium globalnym K_G . Są to:

- K_6 – współczynnik g ,
- K_{13} – wykorzystane osłony przeciwsłoneczne.

Do (OZK), oprócz wyżej wymienionych, przyjęto kryteria znajdujące się w jednej z warstw z największą liczbą wierzchołków. Są to kryteria z warstwy 2:

- K_4 – liczba pakietów szklących,
- K_5 – wykorzystane gazy szlachetne w pakiecie szklącym,
- K_8 – emisyjność powłoki na szkło,
- K_{11} – powierzchnia całego okna,
- K_{12} – współczynnik przewodzenia ciepła ramy okiennej.

Dobrane w ten sposób kryteria pozwalają uniknąć w ocenie wielokrotnego uwzględnienia tych samych informacji i zapewnić możliwie jak najmniej elementów.

4.1. Określenie miar kryteriów dla rozpatrywanych wariantów

Miary cząstkowe kryteriów dla poszczególnych wariantów rozwiązań projektowych określono na podstawie danych z tabeli 1 (tab. 3).

Tabela 3. Miary kryteriów dla rozpatrywanych wariantów

Kryterium i charakter Warianty	K ₄ Stymulanta	K ₅ Stymulanta	K ₆ Stymulanta	K ₈ Destymulanta	K ₁₁ Destymulanta	K ₁₂ Stymulanta	K ₁₃ Stymulanta
Wariant 1	4	3	75	0,04	1,82	1,0	5
Wariant 2	3	2	70	0,35	2,25	1,3	2
Wariant 3	2	1	65	0,65	1,65	1,2	2
Wariant 4	4	3	74	0,32	1,75	1,0	4
Wariant 5	3	3	72	0,10	1,82	1,2	3
Wariant 6	2	1	63	0,42	2,25	1,0	1
Wariant 7	4	3	73	0,05	0,96	1,1	3

Dla kryteriów niemierzalnych miary określono na podstawie przyjętej arbitralnie skali ocen. Wartości miar i charakterystyki kryteriów przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Założona skala ocen dla kryteriów niemierzalnych

Gaz szlachetny		Rodzaj osłony przeciwsłonecznej	
krypton	3	Żaluzja listewkowa	5
argon	2	Żaluzja elektryczna	4
powietrze	1	Łamacz światła	3
		Markiza	2
		Nawiewniki okienne	1

4.2. Określenie wag kryteriów

W analizie wielokryterialnej należy pamiętać, że przyjmowane kryteria często mają niejednakową ważność. Fakt ten uwzględnia się w algorytmie oceny. W tym celu wprowadza się wagi v_i , korygujące wartości kryteriów odpowiednio do wyrażonych przez decydenta preferencji.

Proces ustalenia wag może być wspomagany, np. analizą par [3]. Analiza par polega na zbudowaniu macierzy kwadratowej A o wymiarach $n \times n$, gdzie n to liczba kryteriów. Elementom a_{ij} tej macierzy przypisuje się wartość zależnie od preferencji określonych przez decydenta kryteriów k_i i k_j :

- $a_{ij} = 1$, gdy k_i jest ważniejsze od k_j ;
- $a_{ij} = 0$ w pozostałych przypadkach

Sumując tak określone elementy macierzy A wzdłuż wiersza otrzymuje się pewien wskaźnik wagi i -tego kryterium, który można uznać bezpośrednio jako wagę i -tego kryterium lub przekształcić go tak, by wartość wskaźnika wagi należała do pożądanego przedziału np. $(0,1)$.

Suma wag kryteriów w danym opracowaniu przyjęto równą 1. Założono trzy zestawy wag, charakteryzujące w różny sposób wybrane priorytety dla kryteriów.

	Zestaw I	Zestaw II	Zestaw III
v_1 – waga kryterium K_4	$v_1 = 0,14$	$v_1 = 0,2$	$v_1 = 0,05$
v_2 – waga kryterium K_5	$v_2 = 0,14$	$v_2 = 0,1$	$v_2 = 0,25$
v_3 – waga kryterium K_6	$v_3 = 0,14$	$v_3 = 0,1$	$v_3 = 0,25$
v_4 – waga kryterium K_8	$v_4 = 0,15$	$v_4 = 0,15$	$v_4 = 0,05$
v_5 – waga kryterium K_{11}	$v_5 = 0,15$	$v_5 = 0,15$	$v_5 = 0,05$
v_6 – waga kryterium K_{12}	$v_6 = 0,14$	$v_6 = 0,15$	$v_6 = 0,1$
v_7 – waga kryterium K_{13}	$v_7 = 0,14$	$v_7 = 0,15$	$v_7 = 0,25$

5. KODOWANIE WARTOŚCI KRYTERIÓW

Do przeprowadzenia analizy w danej pracy wybrano wskaźnik sumacyjny skorygowany, który pozwala uwzględnić wagi kryteriów i dokładniej wybrać najkorzystniejszy wariant. Nie wymaga on również, aby kodowane miary kryteriów miały wartości większe od zera [5].

Rozpatrywane kryteria są wielkościami mianowanymi – np. dla kryterium K_4 – liczba pakietów szklących i K_6 – współczynnik g , miary cząstkowe wyrażone są odpowiednio w sztukach i procentach. Dlatego nie jest możliwe prowadzenie jakichkolwiek działań matematycznych bez wcześniejszego kodowania wartości z macierzy danych [5].

Kodowanie wartości kryteriów polega na sprowadzeniu wartości mianowanych do niemianowanych, dzięki czemu możliwe jest przeprowadzenie analizy porównawczej i oceny zbiorów rozwiązań. Przy tym rozpatruje się oddzielnie kryteria stymulanty i destymulanty.

Jako sposób kodowania w danej pracy wybrano normowanie przy założeniu maksymalizacji, czyli sprowadzaniu wartości kryteriów od malejących do rosnących. Normowanie sprowadza wartości mianowane do przedziału $[0,1]$. Zapewniony także zostaje warunek, aby kodowane miary kryteriów miały wartości wyższe niż zero (Tabela 5).

Tabela 5. Kodowane miary kryteriów dla rozpatrywanych wariantów

Kryterium i charakter Warianty	K ₄ Stymulanta	K ₅ Stymulanta	K ₆ Stymulanta	K ₈ Destymulanta	K ₁₁ Destymulanta	K ₁₂ Stymulanta	K ₁₃ Stymulanta
Wariant 1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5275	0,7692	1,0
Wariant 2	0,75	0,6667	0,9333	0,1142	0,4267	1,0	0,4
Wariant 3	0,5	0,3333	0,8667	0,0615	0,5818	0,9231	0,4
Wariant 4	1,0	1,0	0,9863	0,125	0,5486	0,7692	0,8
Wariant 5	0,75	1,0	0,96	0,40	0,5275	0,9231	0,6
Wariant 6	0,5	0,3333	0,84	0,0952	0,4267	0,7692	0,2
Wariant 7	1,0	1,0	0,9733	0,80	1,0	0,8461	0,6

6. WYNIKI WIELOKRYTERIALNEJ ANALIZY PORÓWNAWCZEJ

Wyniki wielokryterialnej analizy porównawczej przedstawiono w tabeli 6. Po obliczeniu wskaźnika sumacyjnego skorygowanego przy nadaniu praktycznie jednakowych wag (zestaw I) kryteriom, tzn. bez ich wyróżnienia (za wyjątkiem wagi o 0,01 wyższej dla kryteriów K₈ i K₁₁ w stosunku do pozostałych kryteriów), najkorzystniejszym wariantem okazał się wariant 1 z maksymalną wartością wskaźnika $J_1 = 0,8945$. Pozostałe warianty według wartości wskaźnika J_i mieściły się w rzędzie: $W_1 > W_7 > W_4 > W_5 > W_2 > W_3 > W_6$.

Tabela 6. Wyniki wielokryterialnej analizy porównawczej

Warianty projektowe	Zestaw wag I	Zestaw wag II	Zestaw wag III
Wariant 1	0,8945	0,8841	0,8968
Wariant 2	0,6011	0,6646	0,6061
Wariant 3	0,5146	0,5494	0,5237
Wariant 4	0,7844	0,5697	0,7388
Wariant 5	0,7616	0,8162	0,7318
Wariant 6	0,4410	0,4713	0,4482
Wariant 7	0,8042	0,8679	0,8887

Dalszym krokiem obliczeń było sprawdzenie wiarygodności wariantu 1 jako najlepszego przy wprowadzeniu preferencji do kryteriów. Jedną z najważniejszych cech projektowanej stolarki okiennej uznano kryterium K₄ – liczba pakietów szklanych, dla którego była nadana waga $v_3 = 0,2$. Pozostałe kryteria miały wagi $v_i = 0,1$ (K₅ i K₆) i $v_i = 0,15$ (K₈, K₁₁, K₁₂, K₁₃). Po obliczeniach najkorzystniejszym wariantem okazał się wariant 1 z maksymalną wartością

wskaźnika $J_1 = 0,8841$. Pozostałe warianty mieściły się w rzędzie: $W1 > W7 > W5 > W2 > W4 > W3 > W6$.

Następnym krokiem obliczeń było sprawdzenie wiarygodności wariantu 1 jako najlepszego przy wprowadzeniu priorytetów do trzech kryteriów: K_5 – wykorzystane gazy szlachetne w pakiecie szklącym; K_6 – współczynnik g ; K_{13} – wykorzystane osłony przeciwsłoneczne. Uważa się powszechnie, że są to najważniejsze kryteria, charakteryzujące część szkloną okna, która ma kluczowy wpływ na izolacyjność całego kompleksowego wyrobu. Nadano tym trzem kryteriom jednakowe wagi równe 0,25. Wagi pozostałych kryteriów wynosiły 0,05. Dla K_{12} – współczynnik przewodzenia ciepła ramy okiennej nadana została waga 0,1. Po dokonaniu obliczeń, najkorzystniejszym wariantem okazał się ponownie wariant 1 – z maksymalną wartością wskaźnika $J_5 = 0,8968$. Pozostałe warianty klasyfikowały się następująco: $W1 > W7 > W4 > W5 > W2 > W3 > W6$. Należy zaznaczyć, że w każdym analizowanym przypadku to wariant 1 był najkorzystniejszy, z niewielką stratą, zaś na drugim miejscu za każdym razem występował wariat 7 projektu stolarki okiennej.

Wariant 1 charakteryzuje się bardzo niskim współczynnikiem przenikania ciepła U_g części szklonej okna na poziomie 0,3 W/(m²K), emisyjnością powłoki na szkle na świetnym poziomie 0,04, wykorzystaniem żaluzji listewkowych zewnętrznych, które są osłoną przeciwsłoneczną na bardzo wysokim poziomie, a także poczwórnym pakietem szklącym z wypełnieniem z kryptonu i ramą z PVC o $U_f = 1,0$ W/(m²K).

7. WNIOSKI

Metoda wielokryterialnej analizy porównawczej jest mało skomplikowanym i efektywnym narzędziem dla uporządkowania wariantów rozwiązań projektowych elementów czy obiektów budowlanych pod względem ich jakości.

Bez uwzględnienia preferencji kryteriów (tj. przy nadaniu prawie jednakowych wag kryteriom) nie udało się dokonać skutecznej oceny wariantów rozwiązania projektowego stolarki okiennej stosowanej w budownictwie mieszkalnym. Jednakże najkorzystniejszym wariantem okazał się wariant pierwszy. Warianty według wartości wskaźnika J_i mieściły się w rzędzie: $W1 > W7 > W4 > W5 > W2 > W3 > W6$.

Nadanie wyższej wagi dla jednego kryterium (K_4 – liczba pakietów szklących) nie wniosło zmian w szeregu dwóch pierwszych najkorzystniejszych wariantów. Najkorzystniejszym wariantem okazał się ponownie wariant 1, zapewniający najniższą wartość współczynnika U_g . Warianty według wartości wskaźnika J_i mieściły się w rzędzie: $W1 > W7 > W5 > W2 > W4 > W3 > W6$.

Nadanie preferencji trzem najważniejszym kryteriom (K_5 – wykorzystane gazy szlachetne w pakiecie szklącym; K_6 – współczynnik g ; K_{13} – wykorzystane osłony przeciwsłoneczne) nie zmieniło nic w uszeregowaniu wariantów w porównaniu z pierwszym doбором wag. Ponownie to wariant 1 rozwiązania projektowego okna został określony jako najkorzystniejszy. Tuż za nim uplasował

się wariant 7. Oznacza to, że dane techniczne tegoż wariantu projektowego stolarki okiennej najdokładniej odpowiadają oczekiwaniom decydenta.

LITERATURA

- [1] Borowska J., 2017. Parametry termiczne nowoczesnej stolarki okiennej. [W:] Monografie Inżyniera Środowiska – Młodym Okiem, t. 35. Ekoenergetyka, 11-21.
- [2] Borowska J., Jezierski W., 2017. Wpływ wybranych parametrów na izolacyjność termiczną stolarki okiennej. [W:] Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce: Nauki techniczne i Inżynieryjne 2, 15-21.
- [3] Ignasiak E., 1996, Badania operacyjne. PWE Warszawa.
- [4] Roy B., 1990, Wielokryterialne wspomaganie decyzji. WNT Warszawa.
- [5] Szwabowski J., Deszcz J., 2001. Metody wielokryterialnej analizy porównawczej. Politechnika Śląska Gliwice.
- [6] www.drutex.pl.
- [7] www.veka.pl.