

Analiza porównawcza systemów fotowoltaicznych w aspektach kryteriów technicznych i architektonicznych z wykorzystaniem analizy wielokryterialnej MCE

Comparative analysis of photovoltaic systems in terms of technical and architectural criteria using the MCE multi-criteria analysis

mgr inż. arch. Yaryna Posuniak, dr hab. inż. Magdalena Rogalska, prof. PL (ORCID: 0000-0001-8408-3242), Politechnika Lubelska

DOI 10.5604/01.3001.0016.2707

Streszczenie: W artykule poddano analizie zastosowanie systemów fotowoltaicznych w budynku jednorodzinny. Analizowano dwa systemy fotowoltaiczne: panele fotowoltaiczne i dachówki solarne. Przeprowadzono wielokryterialną analizę porównawczą w aspektach kryteriów: wiatroodporności, obciążenia śniegiem, wytrzymałości termicznej, możliwości zdalnego sterowania, uniwersalności rozwiązania, kosztu instalacji, kosztu utrzymania w cyklu życia zastosowanej technologii, gwarancji na elementy systemu (zapewnienie producenta o sprawności systemu oraz gwarancji wykonania bezpłatnych napraw), estetyczności, ekologiczności. Opracowano metodykę badań. Wybrano kryteria, nadano im wagi, porównano kryteria parami, wykonano aplikację obliczeniową w programie EXCEL, prawidłowość obliczeń zweryfikowano obliczoną wartością współczynnika RI ($RI = 9,68\% < RI_{max} = 10\%$). Badaniom wielokryterialnym poddano zaprojektowany budynek jednorodzinny z zastosowaniem dwóch rodzajów systemów fotowoltaicznych. Wykonano analizę wielokryterialną, na podstawie, której sformułowano wnioski.

Słowa kluczowe: dachówka solarna, panele fotowoltaiczne, analiza wielokryterialna MCE, budownictwo ekologiczne, zrównoważone projektowanie.

Abstract: The article analyzes the use of photovoltaic systems in a single-family building. Two photovoltaic systems were analyzed: photovoltaic panels and solar roof tiles. A multi-criteria comparative analysis was carried out in the following aspects of the criteria: wind resistance, snow load, thermal resistance, remote control capability, universality of the solution, cost of installation, cost of maintenance in the life cycle of the technology used, warranty for system components (the manufacturer's assurance of the system's efficiency and guarantee of the performance of free repairs), aesthetics, eco-friendliness. Research methodology was developed. Criteria were selected, given weights, criteria were compared in pairs, a calculation application was made in the EXCEL program, the correctness of the calculations was verified by the calculated value of the RI coefficient ($RI = 9,68\% < RI_{max} = 10\%$). The designed single-family building with the use of two types of photovoltaic systems was subjected to multi-criteria tests. A multi-criteria analysis was performed, on the basis of which conclusions were formulated.

Keywords: solar tile, photovoltaic panels, MCE multi-criteria analysis, green building, sustainable design.

1. Wprowadzenie

Systemy fotowoltaiczne są znane od dekad, stosowane w istniejących i nowych budynkach, jako sprawdzone narzędzie do czerpania zasobów energetycznych z odnawialnej energii słonecznej. Postęp technologiczny w zakresie produkcji urządzeń fotowoltaicznych nieustannie rozszerza ofertę i różnorodność stosowanych elementów. W artykule poddano analizie zastosowanie paneli fotowoltaicznych: klasycznych (System LG NeON®) i dachówki fotowoltaicznej (System SunRoof). Analiza rynku paneli fotowoltaicznych pokazuje, że coraz chętniej stosowane są panele w nowo budowanych obiektach. Powierzchnia oddanych do użytkowania obiektów mieszkalnych w 2016 r. wyniosła

74 779 tys. m² [8]. Przyjęto, że w 5% nowo oddanych obiektów jest możliwa technicznie instalacja paneli fotowoltaicznych [11]. W opinii autorek istnieje techniczna możliwość instalacji paneli w co najmniej 50% obiektów.

2. Przegląd literatury

Od 15 kwietnia 2011 roku obowiązuje w Polsce ustawa o efektywności energetycznej, której celem jest realizacja efektu oszczędzania energii poprzez mechanizm zbywalnych praw majątkowych („białych certyfikatów”) [16]. Taka polityka jest nakierowana na uzyskanie i zgromadzenie jak największej ilości energii ze źródeł odnawialnych celem zachowania założeń ekologicznych.

Wraz ze wzrostem świadomości społeczeństwa, dotyczącej konieczności dbałości o środowisko, zwiększa się zapotrzebowanie na projekty architektoniczne, które charakteryzują się walorami estetycznymi, uniwersalnością i zgodnością z założeniami zrównoważonego rozwoju. Problematyka architektury zrównoważonej jest obecnie szeroko rozważana. Oprócz pojmowania architektury jako sztuki czy klasycznego podziału na „funkcję, formę i konstrukcję” we współczesnym projektowaniu należy brać pod uwagę również oddziaływanie budynków na środowisko naturalne i człowieka [1]. Dlatego pojawiają się nowe dla architektów wyzwania i uwarunkowania projektowe, jakimi są kwestie efektywnego zarządzania energią, wodą, materiałami i odpadami [5]. Ze względu na postęp technologiczny architekci i konstruktorzy powinni regularnie zapoznawać się z ofertami rynkowymi odnośnie materiałów budowlanych i urządzeń technicznych. Umożliwia to, w trakcie projektowania, uwzględnienie czynników ekologicznych, konstrukcyjnych i walorów estetycznych, mających wpływ na finalny produkt, czyli obiekt budowlany.

Systemy fotowoltaiczne stają się coraz powszechniejsze i wywołują zainteresowanie u znacznego grona odbiorców. Według przeprowadzonego badania opinii publicznej Polacy coraz chętniej chcieliby inwestować w odnawialne źródła energii. Ponad jedna czwarta badanych chciałaby korzystać w swoich gospodarstwach domowych z energii słonecznej, a co szósty respondent jest zainteresowany małymi elektrowniami fotowoltaicznymi [2]. Rozwiązanie to jest ekonomicznie uzasadnione, zwłaszcza jeśli uwzględnimy dotacje. System zmniejsza zapotrzebowanie na energię z sieci miejskiej, a także jest wygodny tam, gdzie korzystanie z sieci jest niemożliwe. Czynnikiem decydującymi o poziomie opłacalności inwestycji w panele fotowoltaiczne, przez gospodarstwa domowe, jest poziom cen energii elektrycznej oraz ceny dystrybucji energii elektrycznej [4]. Każdego dnia powstaje kilkanaście nowych instalacji (w szczególności w skali mikro), a branża odnawialnych źródeł energii przeżywa wyraźny rozkwit i jest najszybciej rozwijającą się gałęzią ze wszystkich technologii w energetyce. Znaczna część mikroinstalacji fotowoltaicznych (ok. 75% mocy) to instalacje realizowane przez konsumentów indywidualnych (rozumianych zgodnie z definicją z ustawy o OZE), czyli w praktyce instalacje u osób fizycznych, natomiast pozostałe to mikroinstalacje w przedsiębiorstwach [15]. Respondenci preferują kolektory słoneczne do produkcji energii cieplnej i panele fotowoltaiczne do generowania energii elektrycznej [8].

W artykule przyjęto do analizy budynek mieszkalny, jednorodzinny usytuowany na terenie Lublina. Walorem takiej lokalizacji są najlepsze wyniki (najwięcej dni słonecznych w roku w Polsce), charakteryzujące okręg lubelski (9,8% IRR) i OSD ENERGA w taryfie G12 (IRR 8-9%) [4]. Mikroinstalacje fotowoltaiczne mogą już dzisiaj być opłacalne w Polsce bez systemu dotacji, pod warunkiem zastosowania

ich w dużych domach jednorodzinnych o ponadprzeciętnym zużyciu energii elektrycznej. Ten trend prawdopodobnie będzie się przesunął w stronę coraz mniejszych gospodarstw w miarę rozwoju technologii PV sprzyjającej obniżaniu kosztów inwestycyjnych na jednostkę wyprodukowanej energii, połączonej ze wzrostem cen energii elektrycznej dla gospodarstw domowych na rynku w długim okresie.

Systemy fotowoltaiczne mają swoje wady i zalety. Zacienienie, powodowane przez drzewa i sąsiednie budynki, obniża efektywność fotowoltaiki. Nierównomierne oświetlenie powoduje niską moc wyjściową oraz wysoki pobór mocy dla ogniw PV, ze względu na brak światła słonecznego wpływa na moc wyjściową systemu wytwarzania energii fotowoltaicznej [10]. Ogniwa w dachówkach fotowoltaicznych są narażone na trudniejsze warunki funkcjonowania w odniesieniu do tradycyjnych paneli fotowoltaicznych zainstalowanych na konstrukcji nośnej kilka centymetrów nad połacią dachu [14]. Procesy instalacji klasycznych płyt fotowoltaicznych i ich użytkowania są nadal kłopotliwe i czasochłonne. Problemy, które występują podczas montażu kolektorów słonecznych oraz modułów fotowoltaicznych, to: brak nośności konstrukcji więźby dachowej i połączenia dachu, konieczność zabezpieczenia szczelności dachu, błędy w projektach wykonawczych lub budowlanych, zły stan instalacji ciepłej wody użytkowej, praca na wysokości, duży ciężar kolektorów lub modułów [13].

Modyfikacje urządzeń fotowoltaicznych w coraz większym stopniu umożliwiają działanie systemów w sposób bardziej wydajny w różnych warunkach atmosferycznych. Oddziaływanie wiatru w przypadku instalacji wolnostojących lub montowanych na dachach budynków ma istotny wpływ na dobór stelaży pod kątem ich wytrzymałości mechanicznej. W odniesieniu do instalacji zintegrowanych z budynkiem problem ten staje się mniej istotny, jednak nie należy go zupełnie pomijać w fazie projektowej. W odniesieniu do dachówek solarnych, pokrywających całą powierzchnię dachu, to zagrożenie jest większe, gdyż nie mają one zewnętrznych usztywnień i wzmocnień. Należy więc odpowiednio zabezpieczyć dolny brzeg instalacji bądź dachu przed osuwiskami śnieżnymi, poprzez montaż odpowiednich barier [6].


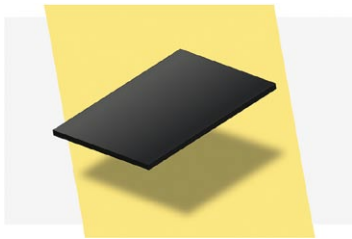
Pierwszą generacją urządzeń fotowoltaicznych są panele wolnostojące i kolektory dachowe. Nowym produktem, coraz częściej stosowanym w Polsce i Europie, są dachówki fotowoltaiczne. Ich wygląd i wydajność są zaskakujące, wpisują się w nową zrównoważoną architekturę, jednocześnie pełnią swoją początkową funkcję – pozyskiwanie energii. Jednym z głównych problemów w rozwoju elastycznych struktur ogniw słonecznych (elastyczna przeporna), oprócz konstruowania poprawnych konfiguracji złączy półprzewodnikowych i zapewnienia odpowiednich właściwości optycznych warstwy aktywnej, jest znalezienie niezawodnych, sprawnie działających i elastycznych

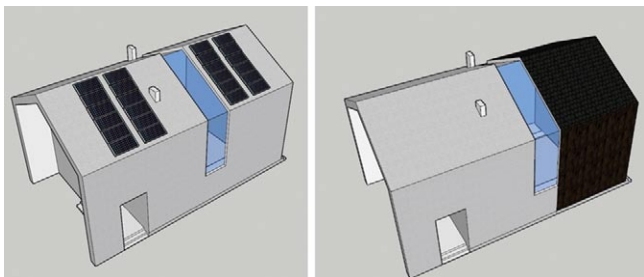
elementów łączących, które byłyby kompatybilne ze strukturą [12]. Wysoka cena dachówek fotowoltaicznych powoduje mniejsze od oczekiwanego zainteresowanie inwestorów. Rosnące ceny energii elektrycznej oraz świadomość dbałości o środowisko powoduje coraz większe zainteresowanie inwestorów alternatywnymi źródłami energii elektrycznej. Tradycyjne panele fotowoltaiczne wymagają wykonania konstrukcji nośnej (stelażu) wraz z utwierdzeniem. Rozwiązanie takie może być postrzegane jako zaburzenie stylistyki architektonicznej, szczególnie w odniesieniu do obiektów sakralnych, domów jednorodzinnych i obiektów użyteczności publicznej. Niezbędne jest poszukiwanie rozwiązań alternatywnych, spełniających postulaty zarówno energooszczędności i poprawności architektonicznej. Realizacja przedsięwzięcia instalacji fotowoltaicznych obejmuje nie tylko pierwotne wbudowanie, lecz również konieczność wykonywania napraw i remontów w okresie eksploatacji oraz demontażu i utylizacji. Jednym z podstawowych, a równocześnie najważniejszym pytaniem, jakie pojawia się przy próbie optymalizacji dowolnego rozwiązania jest ustalenie kryterium, według którego będzie dokonywane poszukiwanie i ocena optymalnego rozwiązania.

3. Analiza wielokryterialna

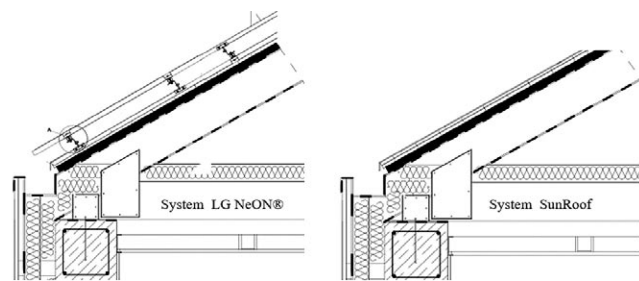
Analiza wielokryterialna (MCE, *Multi-Criteria Evaluation*) polega na wspomaganie procesu decyzyjnego w przypadku dysponowania kilkoma lub kilkunastoma kryteriami. Jej celem jest osiągnięcie jednego wspólnego rezultatu. Metodyka przeprowadzania analizy MCE opisana jest w [3]. Analiza MCE polega, w pierwszym etapie, na określeniu kryteriów oceny prowadzących do osiągnięcia zaplanowanego celu. Zanim kryteria te zostaną połączone i podjęta będzie decyzja, które obszary spełniają ustalone warunki, musi zostać przeprowadzony proces normalizacji (proces przeskalowania wartości poszczególnych kryteriów do określonego zakresu) [9]. Wykonano analizę porównawczą dwóch systemów fotowoltaicznych: tradycyjnego systemu fotowoltaicznego LG NeON® R oraz systemu dachówek fotowoltaicznych Sunroof. Zaproponowano następujące kryteria, mogące mieć wpływ na wybór systemu fotowoltaicznego: wiatroodporność, obciążenie śniegiem, wytrzymałość termiczną, możliwość zdalnego sterowania, uniwersalność rozwiązania, koszt instalacji, koszt użytkowania, gwarancję na elementy systemu, estetyczność i ekologiczność rozwiązania.

Tabela 1. Zestawienie charakterystyk systemów: System LG NeON® i System SunRoof (opracowanie własne na podstawie informacji uzyskanych od producentów)

	System LG NeON®	System SunRoof
Wygląd elementu		
Wiatroodporność	2400 Pa	2400 Pa
Obciążenie śniegiem	5400 Pa	5400 Pa
Wytrzymałość termiczna	od -40°C do +85°C	od -40°C do +110°C
Możliwość zdalnego sterowania	System jest możliwy, ale jego instalacja nie wchodzi w instalacje fotowoltaiki, jest tylko dodatkową opcją	Nowoczesna technologia pozwala na sterowanie możliwościami dachu, a także włączenie do systemu smart house
Uniwersalność rozwiązania	W zależności od warunków	Uniwersalny
Koszt instalacji	40 tys. zł w przybliżeniu	70 tys. zł w przybliżeniu
Gwarancja na elementy systemu	Gwarancja 15 lat, z możliwością przedłużenia na 25 lat	min. 12 lat na inwertery z możliwością odpłatnego przedłużenia do 25 lat: <ul style="list-style-type: none"> • 20 lat na panele fotowoltaiczne, • 30 lat wydajności liniowej do 80%, • 20 lat gwarancji na membranę dachową, • 25 lat na optymalizatory, • 40 lat gwarancji na poszycie uzupełniające (blacha na rąbek Ruukki), • 5 lat rękojmi budowlanej na szczelność poszycia.
Estetyczność	W zależności od warunków	Tak
Ekologiczność	Tak	Tak



Rys. 1. Model 3d budynku mieszkalnego z fotowoltaiką klasyczną i wykonaną w technologii SunRoof (źródło: opracowanie Yaryna Posuniak)



Rys. 2. Schematy mocowania systemów fotowoltaicznych LG NeON® i SunRoof (źródło: opracowanie Yaryna Posuniak)

Kolejno parami oceniane są poszczególne kryteria. Ocena dwóch elementów sprowadza się do stwierdzenia trzech sytuacji:

- pierwszy i drugi element są równie ważne (ocena: 1),
- pierwszy element jest ważniejszy od drugiego (ocena: 2),
- drugi element jest ważniejszy od pierwszego (ocena: 0,5; 0,6; 0,7; 0,8).

Celem przeprowadzenia analizy wielokryterialnej zestawiono charakterystyki analizowanych systemów fotowoltaicznych (tab. 1). Dane uzyskano od producentów systemów.

Tabela 2. Zestawienie kryteriów oceny wraz z nadanymi im wagami (opracowanie własne)

Lp.	Nazwa kryterium	Waga
K1	Wiatroodporność	3
K2	Obciążenie śniegiem	3
K3	Wytrzymałość termiczna	2
K4	Możliwość zdalnego sterowania	4
K5	Uniwersalność rozwiązania	4
K6	Koszt instalacji	5
K7	Kosztu użytkowania	2
K8	Gwarancja na elementy systemu	4
K9	Estetyczność	5
K10	Ekologiczność	5

Analizie wielokryterialnej poddano budynek jednorodzinny, dwukondygnacyjny zaprojektowany przez mgr inż. arch. Yarynę Posuniak (rys. 1, 2). Projektowany budynek znajduje się na Lubelszczyźnie w pierwszej strefie obciążenia wiatrem i trzeciej strefie obciążenia śniegiem. Województwo lubelskie jest najbardziej nasłonecznionym województwem w Polsce, a zatem regionem o największym uzasadnieniu stosowania mikroinstalacji fotowoltaicznych. W znakomitej większości przypadków nakłady inwestycyjne na poziomie 1440 EUR/kW i produkcji energii w 100% na potrzeby własne umożliwiają opłacalne realizowanie inwestycji [5].

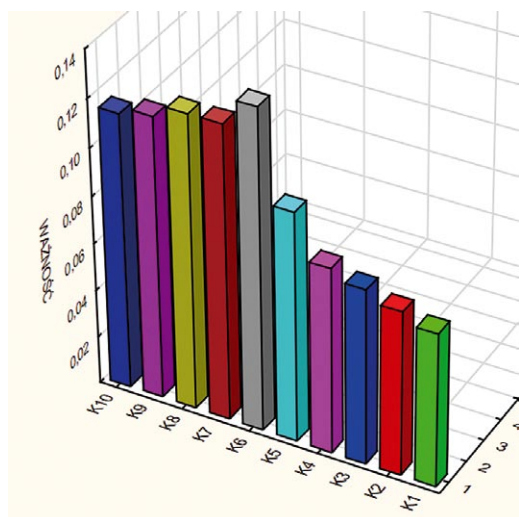
Wytypowanym kryterium nadano wagi od 0 do 5 zestawione w tabeli 2.

Celem wykonania obliczeń analizy wielokryterialnej napisano aplikację w programie Microsoft Excel. Arkusz kalkulacyjny aplikacji, wraz z wprowadzonymi danymi i wynikami obliczeń, zaprezentowano na rysunku 3.

	Wiatroodporość	Obciążenie śniegiem	Wytrzymałość termiczna	Możliwość zdalnego sterowania	Uniwersalność rozwiązania	Koszt instalacji	Kosztu utrzymania w cyklu życia zastosowania	Gwarancja na elementy systemu	Estetyczność	Ekologiczność	suma ai
Wiatroodporność	1	1	0,5	1	0,6	0,7	0,8	0,6	0,6	0,5	7,3
Obciążenie śniegiem	1	1	1	1	0,6	0,7	0,8	0,6	0,6	0,5	7,8
Wytrzymałość termiczna	2	1	1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,6	0,6	0,5	8,3
Możliwość zdalnego sterowania	1	1	2	1	0,6	0,7	0,8	0,6	0,6	0,5	8,8
Uniwersalność rozwiązania	1,666666667	1,666666667	1,666666667	1,666666667	1	0,7	0,8	0,6	0,6	0,5	10,8667
Koszt instalacji	1,428571429	1,428571429	1,428571429	1,428571429	1,428571429	1	2	2	1	2	15,1429
Kosztu utrzymania w cyklu życia zastosowania	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	0,5	1	2	2	2	13,9286
Gwarancja na elementy systemu	1,666666667	1,666666667	1,25	1,666666667	1,666666667	0,5	0,5	1	2	2	13,9167
Estetyczność	1,666666667	1,666666667	1,666666667	1,666666667	1,666666667	1	0,5	0,5	1	2	13,3333
Ekologiczność	2	2	2	2	2	0,5	0,5	0,5	0,5	1	13
											112,388

B	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	waga	max waga min waga
K1	0,088977396	0,088977396	0,044488698	0,088977396	0,053386437	0,062284177	0,071181916	0,053386437	0,044488698	0,044488698	0,0442953	1
K2	0,088977396	0,088977396	0,088977396	0,088977396	0,053386437	0,062284177	0,071181916	0,053386437	0,044488698	0,044488698	0,049402	0,1314721
K3	0,177954791	0,088977396	0,088977396	0,044488698	0,053386437	0,062284177	0,071181916	0,053386437	0,044488698	0,044488698	0,073851	0,06405
K4	0,088977396	0,088977396	0,177954791	0,088977396	0,053386437	0,062284177	0,071181916	0,053386437	0,044488698	0,044488698	0,0783	0,0783
K5	0,148295659	0,148295659	0,148295659	0,148295659	0,088977396	0,062284177	0,071181916	0,053386437	0,044488698	0,044488698	0,096689	0,096689
K6	0,127110565	0,127110565	0,127110565	0,127110565	0,127110565	0,088977396	0,177954791	0,177954791	0,088977396	0,177954791	0,134737	0,134737
K7	0,111221744	0,111221744	0,111221744	0,111221744	0,111221744	0,044488698	0,088977396	0,177954791	0,177954791	0,177954791	0,123933	0,123933
K8	0,148295659	0,148295659	0,111221744	0,148295659	0,148295659	0,044488698	0,044488698	0,088977396	0,177954791	0,177954791	0,123827	0,123827
K9	0,148295659	0,148295659	0,148295659	0,148295659	0,148295659	0,088977396	0,044488698	0,044488698	0,088977396	0,177954791	0,118637	0,118637
K10	0,177954791	0,177954791	0,177954791	0,177954791	0,177954791	0,044488698	0,044488698	0,044488698	0,088977396	0,088977396	0,115671	0,115671
suma	1,806061055	1,21708366	1,240387264	1,172594962	1,015401563	0,622841769	0,756507862	0,80079656	0,845285257	1,023240048	suma	1
	w	Aw	Aw/w=A								suma	1
K1	0,064953499	1,306061055	20,10763209									n
K2	0,069402368	1,21708366	17,53663004									1
K3	0,073851238	1,240387264	16,79575445									2
K4	0,078300108	1,172594962	14,97564983									3
K5	0,09668877	1,015401563	10,50175285									4
K6	0,134737199	0,622841769	4,622641509									5
K7	0,123932801	0,756507862	6,102564103									6
K8	0,123826875	0,80079656	6,467065868									7
K9	0,118636527	0,845285257	7,125									8
K10	0,115670614	1,023240048	8,846153846									9
suma												10
												1,5

Rys. 3. Zrzut ekranu aplikacji obliczeniowej analizy wielokryterialnej MCE (aplikacja opracowanie własne)



Rys. 4. Otrzymane wyniki ważności kryteriów K1 do K10 w analizie MCE (opracowanie własne)

Miarą prawidłowości obliczeń (spójności porównań) jest wskaźnik *RI*, który powinien przyjmować wartość mniejszą niż 10%. *RI* w omawianym przypadku wynosi 9,68%, zatem należy przyjąć, że obliczenia są prawidłowe. W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano wyniki ważności kryteriów doboru rozwiązania systemowego. Wartości ważności poszczególnych kryteriów od K1 do K10 zobrazowano na rysunku 4.

4. Podsumowanie

Analiza wielokryterialna wykazała, że w przypadku oceniań zarówno klasycznych systemów fotowoltaicznych, jak i fotowoltaicznych dachówek kluczowym aspektem jest kryterium K6 – koszt instalacji (ważność 0,135). Kryteria od K1 do K5 (ważność od 0,060 do 0,078), czyli wiatroodporność, obciążenie śniegiem, wytrzymałość termiczna, możliwość zdalnego sterowania, uniwersalność rozwiązania są mniej ważne. Grupa kryteriów od K7 do K10 kosztu użytkowania, gwarancja na elementy systemu, estetyczność i ekologiczność przyjmuje wartości ważności od 0,11 do 0,12. Zatem kryteria K6, K7, K8, K9 i K10 powinny posłużyć do wyboru rozwiązania technologicznego. Ocenę analizowanych systemów przedstawiono w tabeli 3. Znak „+” oznacza wygraną, „-” przegraną w określonym kryterium. W przypadku posiadania przez systemy takich samych parametrów (kryterium K8) zastosowano w obu przypadkach znak „+”.

W kluczowym kryterium K6 cena instalacji wygrywa system LG NeON® z ceną prawie dwukrotnie niższą. Z punktu widzenia architekta system SunRoof wykazujący się wyższymi walorami estetycznymi i uniwersalnością zastosowań powinien być szeroko stosowany. Jednak decyzja należy do inwestora – ładny i drogi czy mniej ładny, ale tańszy.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bać A., Laboratorium zrównoważenia modelowy budynek uniwersytecki w Vancouver. Laboratory of sustainability model university building in Vancouver, Architektus, 2013,2(34),DOI: 10.5277/arc130206
- [2] Bolesta J., Zarzeczna J., Analiza rynku fotowoltaiki w Polsce, Instytut Energii Odnawialnej, sierpień 2015
- [3] Cabała P., Proces analitycznej hierarchizacji w ocenie wariantów rozwiązań projektowych, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Wydział Zarządzania, Quarterly Journal 1/2018
- [4] Chmieliński M., Analiza opłacalności mikroinstalacji fotowoltaicznej w Polsce w oparciu o produkcję energii elektrycznej na potrzeby własne, DOI: 10.15611/e21.2015.3.07, JEL Classification: D12
- [5] Gan G., Effect of air gap on the performance of building-integrated photovoltaics, CrossRef, Energy 2009, 34, 913–921
- [6] Gluchy D., Kurz D., Trzmiel G., wpływ wiatru i śniegu na instalacje fotowoltaiczne w Polsce, Poznan University Of Thechnology Academic Journals, Electrical Engineering 74, 2013
- [7] Graczyk A. M., Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w gospodarstwach domowych na dolnym Śląsku, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Research Papers of Wrocław University of Economics 453, 2016,, str. 195, ISSN 1899-3192
- [8] Budownictwo – wyniki działalności w 2016 r., GUS, Warszawa, 2017
- [9] Hejmanowska B., Hnat E., Wielokryterialna analiza lokalizacji zabudowy na przykładzie gminy podegrodzie, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, tom 20, 2009, str. 109–121, ISBN 978-83-61-576-10-5
- [10] Hu K., Li W., Wang L., Zhu F., Shou Z., Topology and control strategy of power optimisation for photovoltaic arrays and inverters during partial shading, IET Generation, Transmission & Distribution,, str. 62, ISSN 1751-8687
- [11] Igliński B., Badanie sektora energii odnawialnej w Polsce – potencjał techniczny, badania ankietowe, analiza SWOT, analiza PEST, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń, 2019, ISBN 978-83-231-4310-9
- [12] Igliński B., Cichosz M., Kujawski W., Plaskacz-Dziuba M., Buczkowski R., Helioenergy in Poland – Current state, surveys and prospects, Renewable and Sustainable Energy Reviews 58, 2016, str. 862–870
- [13] Igliński B., Buczkowski R., Cichosz M., Ojczyk G., Plaskacz-Dziuba M., Piechota G., Technologie helioenergetyczne, Wydawnictwo UMK, Toruń, 2013
- [14] Kurz D., Nawrowski R., Thermal Time Constant of PV Roof Tiles Working
- [15] Urbańczyk M., Hajdas D., Instalacje fotowoltaiczne jako nowe wyzwanie dla straży pożarnej. Część I: budowa zasada działania systemów fotowoltaicznych, Zeszyty Naukowe SGSP 2020, 76/4/2020, DOI: 10.5604/01.3001.0014.4269 under Different Conditions, Applied Sciences, MDPI
- [16] Ustawa z 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii

Tabela 3. Zestawienie oceny systemów LG NeON® i SunRoof w kryteriach oceny K6, K7, K8, K9 i K10 (opracowanie własne)

Lp.	Nazwa kryterium	System LG NeON®	System SunRoof
K6	Koszt instalacji (im niższy, tym lepiej)	+	-
K7	Koszt użytkowania	-	+
K8	Gwarancja na elementy systemu	+	+
K9	Estetyczność	-	+
K10	Ekologiczność	-	+