

Ewelina PLIKUNAS\*  
Maciej ZAJKOWSKI\*

## **WYKORZYSTANIE PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO W KSZTAŁTOWANIU EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ BUDYNKÓW UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ**

Zwiększanie efektywności energetycznej jest realizowane poprzez zmniejszanie zużycia energii i ograniczenie jej strat. Racjonalne wykorzystywanie dostępnych źródeł energii, systemy automatyki oraz odpowiednia architektura budynku, należą do przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej budynków. W artykule przedstawiono główne wymagania dotyczące zapotrzebowania budynku użyteczności publicznej na energię, metodykę obliczania zapotrzebowania na energię dla budynku oraz znaczenie promieniowania słonecznego w kształtowaniu bilansu energetycznego budynków. Głównym celem opracowania było wskazanie wybranych narzędzi oraz programów do przeprowadzania analiz technicznych, ekonomicznych i środowiskowych systemów fotowoltaicznych i systemów kolektorów słonecznych.

**SŁOWA KLUCZOWE:** promieniowanie słoneczne, słoneczne systemy energetyczne, analiza instalacji słonecznej, bilans energetyczny, efektywność energetyczna

### **1. WYMAGANIA ENERGETYCZNE BUDYNKÓW UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ**

Pojęcie efektywności energetycznej obejmuje działania i warunki powodujące taki sposób użytkowania i wykorzystywania energii w budynku, któremu towarzyszą możliwie najmniejsze straty. Zagadnienie to znalazło swoje odzwierciedlenie w szeregu unijnych aktów prawnych. Krajowe standardy energetyczne budownictwa określają jakie warunki musi spełniać dany budynek, aby mógł zostać sklasyfikowany jako efektywny energetycznie.

Pierwszy wymóg wynika z Ustawy o charakterystyce energetycznej budynków [17], zgodnie z którą istnieje obowiązek sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej budynków użyteczności publicznej. Świadectwo takie jest ważne przez okres 10 lat. Drugi wymóg - wynikający z Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpo-

wiadać budynki i ich usytuowanie [16], określa izolacyjności cieplnej i inne wymagania związane z oszczędnością energii. Zgodnie z wymogami prawnymi [17], ilość energii zużywanej w budynkach użyteczności publicznej, powinna być zmniejszana z 205 kWh/m<sup>2</sup>·rok w 2013, do 175 kWh/m<sup>2</sup>·rok w 2016 roku i 145 kWh/m<sup>2</sup>·rok w roku 2020. Istotny jest fakt, iż podane wartości odnoszą się do energii pierwotnej, określającej ilość energii zawartą w źródłach i nośnikach, z uwzględnieniem łańcucha pozyskania energii i jej dostaw.

## 2. BILANS ENERGETYCZNY BUDYNKU UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ

Bilans zapotrzebowania energetycznego budynku użyteczności publicznej obejmuje dwie grupy potrzeb. Pierwsza dotyczy zapewnienia termicznego komfortu użytkownika obiektu, co wiąże się z dostarczaniem do niego odpowiedniej ilości ciepła lub chłodu. Druga grupa obejmuje potrzeby pomocnicze: oświetlenie, ciepłą wodę użytkową i inne. W tabeli 1.1 przedstawiono procentowy udział wykorzystania energii w budynkach użyteczności publicznej w krajach Unii Europejskiej.

Tabela 1.1. Struktura wykorzystania energii w budynkach użyteczności publicznej w UE [4]

Sposób wykorzystania	Udział [%]
Wentylacja i ogrzewanie	52
Pozostałe urządzenia	16
Oświetlenie	14
Przygotowanie ciepłej wody użytkowej	9
Gotowanie	5
Chłodzenie	4

Roczne zapotrzebowanie na ciepło jest sumą zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania i wentylacji budynku w miesiącach od stycznia do maja i od września do grudnia łącznie. Aby określić wielkość zapotrzebowania na ciepło budynku, należy dokonać analizy bilansu cieplnego. Zawiera on straty i zyski ciepła powstające w budynku.

Wartość całkowitych miesięcznych strat ciepła na przenikanie oraz wentylację zależy głównie od temperatur wewnątrz i na zewnątrz budynku oraz od wartości współczynnika strat ciepła przez przenikanie przegród budowlanych [1].

Zyski ciepła wynikające z promieniowania słonecznego obejmują przenikania promieni słonecznych przez przezroczyste przegrody pionowe  $Q_{sl}$  [kWh/m-c] oraz

przenikanie promieni słonecznych przez przezroczyste przegrody nachylone pod pewnym kątem do poziomu  $Q_{s2}$  [kWh/m-c]. Solarne zyski ciepła oblicza się z zależności [15]:

$$Q_{s1,s2} = q_{sol} \sum A_i C_i I_i g k_a Z \quad (1)$$

gdzie:  $A_i$  – pole powierzchni przegrody przezroczystej w ościeżnicy [m<sup>2</sup>],  $C_i$  – udział pola powierzchni części oszklonej do całkowitego pola powierzchni [-],  $I_i$  – energia promieniowania słonecznego w zależności od zorientowania okna względem stron świata [kWh/(m<sup>2</sup>m-c)],  $g$  – współczynnik przepuszczalności energii promieniowania słonecznego, którego wartość jest zależna od ilości szyb [-],  $k_a$  – współczynnik dla okien połączonych, dla okien pionowych wynosi 1 [-],  $Z$  – współczynnik zacienienia budynku [-].

Wewnętrzne zyski ciepła w obiektach publicznych obejmują zyski: bytowe – od ludzi przebywających w danym obiekcie, od oświetlenia elektrycznego, od urządzeń elektrycznych takich jak np. sprzęt biurowy.

Charakterystyka energetyczna budynku może być przeprowadzana w specjalistycznych programach takich jak np. Arcadia Termo albo BuildDesk. Programy te umożliwiają przeprowadzenie pełnej analizy bilansu energetycznego budynku.

### 3. DZIAŁANIA ZWIĘKSZAJĄCE EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNĄ BUDYNKÓW UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ

Istnieje szereg działań prowadzących do bardziej racjonalnego i efektywnego wykorzystania energii w budynkach użyteczności publicznej. Biorąc pod uwagę fakt, iż ponad połowa energii zużywanej przez budynki użyteczności publicznej jest przeznaczana na cele grzewcze, kluczowe znaczenie mają działania umożliwiające ograniczenie strat ciepła. Najpowszechniej stosowaną metodą ograniczającą ilość energii niezbędną do ogrzania jest zastosowanie odpowiedniej izolacji termicznej przegród zewnętrznych budynku oraz zapewnienie szczelności stolarki okiennej i drzwiowej. Wykorzystane materiały budowlane oraz odpowiednia architektura budynku, pozwalająca możliwie najlepiej wykorzystać warunki otoczenia – światło słoneczne, ukształtowanie terenu i jego roślinność, również mogą korzystnie wpływać na ilość energii zużywanej na oświetlenie i ogrzewanie pomieszczeń [1, 14]. Do pozostałych działań zwiększających efektywność należą m.in.: wykorzystywanie środków automatyki budynku, wykorzystywanie systemów śledzenia promieniowania słonecznego, wykorzystywanie energii ze źródeł odnawialnych.

### **3.1. Wykorzystanie światła dziennego w budynkach**

Każdy budynek ulega oddziaływaniu promieniowania słonecznego. Intensywność tego oddziaływania zależy od tego, w jaki sposób budynek został zaprojektowany i wykonany. Zaprojektowanie pomieszczeń, umożliwiające możliwie najlepsze współdziałanie światła dziennego z oświetleniem elektrycznym, jest jednym z najefektywniejszych sposobów racjonalizacji zużycia energii na oświetlenie. Odpowiednio zaprojektowany budynek powinien zawierać rozwiązania architektoniczne i budowlane, zwiększające zyski z promieniowania słonecznego w okresie zimowym oraz chroniące przed nadmiernym przegrzaniem pomieszczeń w miesiącach letnich [2]. Wymagania te są przeciwstawne, dlatego aby je zrealizować, należy dodatkowo stosować zasłony, żaluzje oraz okiennice, które umożliwiają okresowe zacienienie pomieszczeń w ciągu dnia, przez co mają wpływ na bilans cieplny budynku. W szczegółowych badaniach oddziaływania promieniowania słonecznego na bilans energetyczny budynku, należy wykorzystywać dane w postaci gęstości i sum godzinowych promieniowania słonecznego, uwzględniające jego składowe, tj. promieniowanie bezpośrednie, rozproszone i odbite, w uśrednionych dniach kolejnych miesięcy roku. Analiza powinna obejmować okres całego roku, ponieważ właściwe określenie warunków nasłonecznienia we wszystkich porach roku ułatwia proces projektowania obudowy i wnętrza budynków [1, 3, 12].

### **3.2. Wykorzystanie systemów energetyki odnawialnej**

Pośród licznych możliwych sposobów wykorzystywania energii ze źródeł odnawialnych, najczęściej spotyka się systemy wykorzystujące energię promieniowania słonecznego – kolektory słoneczne i ogniwa fotowoltaiczne. Jedną z przyczyn jest fakt, iż zapotrzebowanie na ciepłą wodę w strukturze zużycia energii całkowitej w budynkach użyteczności publicznej jest stosunkowo niewielkie – trzykrotnie mniejsze niż zapotrzebowanie w budynkach mieszkalnych, co powoduje, że jednostkowe koszty inwestycyjne takich inwestycji w obiektach publicznych są niższe. Ponadto, procentowy udział zużycia energii elektrycznej w strukturze zużycia całkowitej energii w budynkach użyteczności publicznej także jest znacznie mniejszy niż w budynkach mieszkalnych. Sprawia to, że obiekty publiczne są predysponowane do wykorzystywania systemów energetyki odnawialnej. Dodatkowo, zwiększanie udziału energii wytwarzanej w odnawialnych źródłach energii stanowi element zrównoważonego rozwoju w budownictwie i wpisuje się w ramy polityki energetycznej i klimatycznej Unii Europejskiej [4, 17].

## 4. ANALIZA SŁONECZNYCH SYSTEMÓW ENERGETYCZNYCH

### 4.1. Analiza techniczna

Pierwszym krokiem analizy technicznej słonecznych instalacji energetycznych jest oszacowanie ilości energii słonecznej dostępnej w danej lokalizacji w ciągu roku. Na tym etapie oblicza się ilości promieniowania całkowitego bezpośredniego i dyfuzyjnego docierającego do płaszczyzny poziomej oraz kąt godzinowy słońca, czyli tzw. usytuowanie [11].

Ilość promieniowania słonecznego docierająca do ogniw fotowoltaicznych i kolektorów słonecznych jest zależna od kąta ich pochylenia względem płaszczyzny poziomej. Optymalny kąt pochylenia zmienia się w ciągu roku, dlatego w celu zwiększenia efektywności pracy systemów słonecznych wykorzystywane są systemy śledzące pozycję Słońca. Dlatego drugim krokiem analizy technicznej jest szacowanie ilości promieniowania słonecznego, docierającego do dowolnie usytuowanej płaszczyzny ogniwa fotowoltaicznego lub kolektora w wybranej lokalizacji (szerokości geograficznej) [13, 14].

Ostatnim etapem jest oszacowanie ilości energii możliwej do wytworzenia w danym systemie, przy uwzględnieniu ilości dostępnego promieniowania słonecznego i sprawności poszczególnych elementów instalacji.

### 4.2. Analiza ekonomiczna

Analiza ekonomiczna solarnych systemów energetycznych, podobnie jak w przypadku pozostałych źródeł energetyki, opiera się głównie na wyliczeniach przepływów pieniężnych w okresie żywotności instalacji i oszacowaniu po jakim czasie dana inwestycja się zwróci dokonywanych na podstawie rocznej produkcji energii.

### 4.3. Analiza środowiskowa

W odniesieniu do energetyki odnawialnej, efekt ekologiczny jest wskaźnikiem, określającym w sposób mierzalny wpływ inwestycji na środowisko naturalne, rozumianym jako zmniejszenie ilości zanieczyszczeń emitowanych do środowiska w wyniku zastąpienia nieodnawialnego źródła energii, źródłem odnawialnym. Jednostce energii elektrycznej oraz cieplnej wytworzonej w systemach słonecznych, odpowiada określona ilość niespalonego paliwa umownego, czyli skala unikniętej emisji zanieczyszczeń. Jeśli energia słoneczna zastępuje konkretny typ paliwa o określonej charakterystyce, to zużycie paliwa umownego należy przeliczyć na paliwo rzeczywiste, a następnie określić efekt

ekologiczny. Wielkość efektu ekologicznego jest sumą iloczynów rocznej ilości wyeliminowanej energii nieodnawialnej wyrażonej w MWh i wskaźników emisji wyrażonych w kg zanieczyszczeń na MWh.

## **5. NARZĘDZIA I PROGRAMY WYKORZYSTYWANE DO ANALIZY PRZEDSIĘWZIĘĆ Z ZAKRESU SYSTEMÓW SŁONECZNYCH**

Jednym z najprostszych narzędzi do analizy technicznej systemów słonecznych jest PVGIS. Oprogramowanie jest dostępne online i umożliwia szacowanie produkcji energii elektrycznej przez system fotowoltaiczny. Wykorzystuje ono dwie bazy danych promieniowania słonecznego w Europie i Afryce – prowadzoną w stacjach naziemnych oraz satelitarnych. Użytkownik może wybrać, z której będzie korzystał w swoich wyliczeniach. W celu oszacowania produkcji energii należy wprowadzić podstawowe dane dotyczące systemu.

Najpierw, należy wybrać lokalizację instalacji i typ ogniw fotowoltaicznych. Istnieją cztery opcje do wyboru: ogniwa krzemowe monokrystaliczne, cienkowarstwowe CdTe, cienkowarstwowe CIS lub opcja inne. Następnie użytkownik wprowadza moc nominalną systemu fotowoltaicznego wyrażoną w kWp.

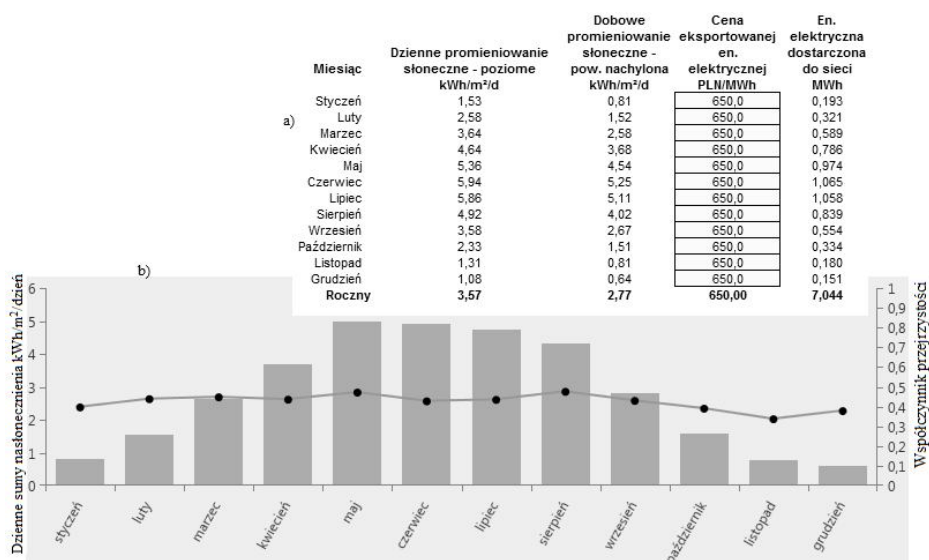
W dalszej kolejności należy wprowadzić szacowane straty systemu fotowoltaicznego. Ich wartość jest trudna do oszacowania, ponieważ zależy od wielu czynników, takich jak m.in. sprawność falownika, temperatura otoczenia oraz jakość i długość okablowania instalacji. Program automatycznie podpowiada, aby w rubryce tej wpisać wartość roboczą wynoszącą 14 %.

Kolejnym krokiem jest określenie sposobu montażu paneli – zintegrowane z budynkiem lub wolno stojące oraz określenie kąta pochylenia i azymutu. Obie rubryki można automatycznie optymalizować. Jeżeli rozpatrywany system jest wyposażony w systemy nadążne, istnieją trzy opcje śledzenia do wyboru: jednoosiowe pionowe, jednoosiowe poziome oraz dwuosiowe.

Na podstawie wprowadzonych danych, program oblicza i wyświetla w formie tabeli i wykresu średnie miesięczne sumy wytwarzanej przez system energii oraz średnie miesięczne sumy nasłonecznienia w danej lokalizacji. Dodatkowo, na podstawie danych o wybranej lokalizacji, PVGIS wylicza ile wynoszą straty wynikające ze średniomiesięcznych temperatur, nasłonecznienia, kąтового odbicia oraz pozostałe straty. Dzięki temu użytkownik po wstępnym oszacowaniu ilości produkowanej przez system energii, może ponownie przeprowadzić obliczenia, uwzględniając wartość strat w instalacji podaną przez program.

Do analizy technicznej używane są głównie środowiska obliczeniowe, w których można zamodelować i rozważyć systemy solarne bazujące na konkretnych komponentach. Do tego typu programów należą: PVsyst, PV\*SOL, BlueSol itp. Cechą charakterystyczną jest to, że pozwalają prowadzić analizę tech-

niczną z uwzględnieniem elementów zarówno systemów on-grid, jak i off-grid, w tym buforów energii. Pozwalają również na prostą analizę finansowo-ekonomiczną na podstawie informacji o wygenerowanej energii elektrycznej.



Rys. 5.1. Przykładowe wyliczenia wykonane w programach: a) RETScreen®, i b) HOMER dla systemu fotowoltaicznego on-grid mocy 9 kW zlokalizowanego w Białymstoku [opracowanie własne]

RETScreen® jest oprogramowaniem opartym na arkuszu kalkulacyjnym, wykorzystywanym do analizy przedsięwzięć z zakresu energetyki odnawialnej, kogeneracji oraz efektywności energetycznej. Narzędzie umożliwia przeprowadzenie wstępnej analizy projektów na płaszczyźnie techniczno-ekonomicznej i środowiskowej. Program wykorzystuje międzynarodowe dane meteorologiczne z 1000 stacji naziemnych oraz satelitów NASA oraz katalogi urządzeń.

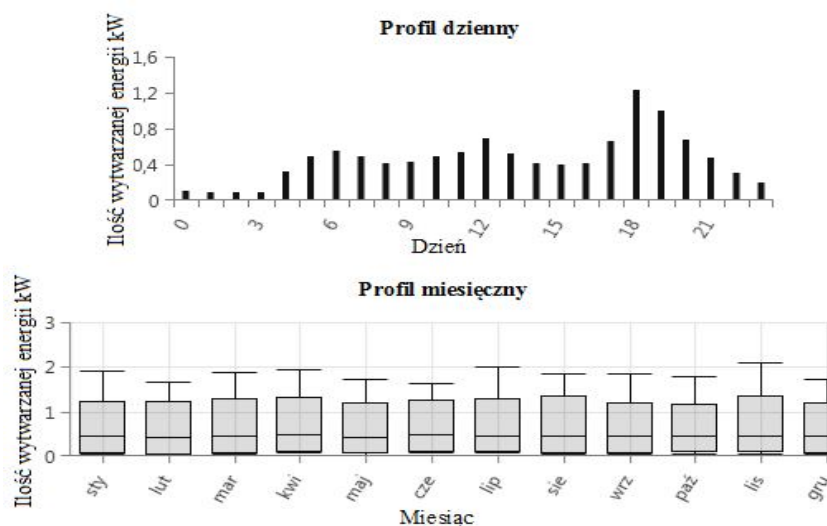
Korzystając z programu, w pierwszej kolejności należy wybrać lokalizację, a także typ projektu (np. produkcja energii elektrycznej albo ciepła), technologię (np. fotowoltaika lub solarny podgrzewacz wody) oraz typ sieci energetycznej. Program wyświetla w postaci tabeli miesięczne dane meteorologiczne, wykorzystywane do obliczeń. W przypadku projektów fotowoltaicznych, należy zdecydować, czy rozpatrujemy system, który produkuje energię tylko na potrzeby własne, czy będziemy sprzedawać część energii. Wybór ten ma znaczenie na opłacalność przedsięwzięcia i okres zwrotu nakładów. Należy wprowadzić do arkusza kąt pochylenia paneli, azymut oraz określić typ ewentualnego systemu śledzącego pozycję Słońca. Następnie, należy wprowadzić podstawowe dane techniczne dotyczące ogniw fotowoltaicznych (typ, moc elektryczną, sprawność, współczyn-

nik temperaturowy, powierzchnię, temperaturę pracy oraz pozostałe straty) albo wybrać konkretny model panelu z katalogu dostępnych urządzeń. W następnej kolejności należy określić parametry falownika: sprawność, moc i straty. Ostatnim krokiem tworzenia modelu systemu jest określenie współczynnika wykorzystania mocy oraz opcjonalnie podanie ilości energii elektrycznej, jaką chcemy sprzedać w ciągu roku i jej cen w kolejnych miesiącach. Na podstawie wprowadzonych danych, program wylicza ile energii system wytworzy w poszczególnych miesiącach i podaje jaka jej część może być sprzedawana.

Podobne analizy można przeprowadzić w programie HOMER, który został opracowany przez Narodowe Laboratorium Energetyki Odnawialnej NREL. Zasadniczą przewagą programu HOMER w odniesieniu do programu RETScreen®, jest możliwość jednoczesnego symulowania i optymalizowania projektów wykorzystujących kilka źródeł energii oraz instalacji hybrydowych. W obydwu programach można analizować czynniki techniczno-ekonomiczne instalacji rozproszonych, ale także mikrosieci energetycznych.

Analiza finansowa systemów słonecznych przebiega podobnie w programie RETScreen® i HOMER. Na podstawie wprowadzonych przez użytkownika kosztów zasadniczych elementów instalacji i wskaźników finansowych oraz stworzonego modelu energetycznego systemu, programy obliczają okres zwrotu inwestycji oraz skumulowane roczne przepływy pieniężne. Możliwe jest także uwzględnienie dotacji i grantów. Na rysunku 5.1. przedstawiono przykładowe wyliczenia modelu systemu fotowoltaicznego o mocy 9 kW wykonane w programach RETScreen® oraz HOMER.

Na rysunku 5.2 przedstawiono przykładowy format wyświetlania informacji w programie HOMER.



Rys. 5.2. Format wyświetlania danych w programie HOMER [opracowanie własne]



Funkcje programów RETScreen® i HOMER są podobne. Obydwa programy umożliwiają dokonanie częściowej analizy wpływu przedsięwzięcia na środowisko. Na podstawie ilości produkowanej rocznie energii w systemach słonecznych, program oblicza wielkość rocznej redukcji emisji dwutlenku węgla.

Tabela 5.1 Porównanie możliwości wykorzystania opisanych programów do analizy systemów fotowoltaicznych

Porównywana cecha	Program					
	PVGIS	RETScreen®	HOMER	BlueSol	PVsyst	PV*SOL
szacowanie ilości produkowanej energii	+	+	+	+	+	+
analiza techniczno-finansowa	-	+	+	+	+	+
analiza środowiskowa	-	+	+	-	-	-
zintegrowanie z systemem CAD	-	-	-	+	+	+
symulacja zacielenia	-	-	-	+	+	+
obliczanie spadków napięć na przewodach	-	-	-	+	+	+
katalogi urządzeń	-	+	+	+	+	+
analiza innych systemów energetyki odnawialnej	-	+	+	-	-	-

Programy PVGIS, RETScreen® i HOMER ułatwiają wstępne procesy decyzyjne związane z inwestycjami w systemy słoneczne, ale nie są wystarczająco dokładne, aby wykonać kompletną dokumentację techniczną przedsięwzięcia. BlueSol jest przykładem profesjonalnego programu, który może być wykorzystywany do precyzyjnego projektowania systemów fotowoltaicznych. Program jest zintegrowany z systemem CAD i może być wykorzystywany do realizacji dokumentacji projektowej. Program pozwala na automatyczny dobór wielkości elementów systemu fotowoltaicznego, a także umożliwia obliczanie spadków

napięć na przewodach instalacji. BlueSol wykorzystuje dane o nasłonecznieniu zaimportowane z PVGIS.

Kolejnym programem, w którym można precyzyjnie dobrać wszystkie elementy systemu fotowoltaicznego oraz zaprojektować jego kompleksową konfigurację jest PVsyst. Program jest wyposażony m.in. w trójwymiarowy edytor pozwalający na analizę geometryczną i zacienienie instalacji oraz specjalistyczne narzędzia do szacowania strat elektrycznych, wynikających z niedopasowania między modułami i zabrudzenia. Możliwe jest również projektowanie systemów wykorzystujących trackery solarne.

Programy PVsyst, PV\*SOL oraz BlueSol mogą być wykorzystywane zamiennie, ponieważ są wyposażone w podobne narzędzia obliczeniowe. W tabeli 5.1 przedstawiono porównanie możliwości wykorzystania programów zaprezentowanych w opracowaniu do wszechstronnego analizowania i projektowania systemów fotowoltaicznych.

## 6. PODSUMOWANIE

Wykorzystanie w budynkach użyteczności systemów energetyki słonecznej do zapewnienia CO i CWU oraz energii elektrycznej jest działaniem zwiększającym niezależność i efektywność energetyczną w takich obiektach. Maksymalizacja udziału światła dziennego w budynku i jego wykorzystanie ma często decydujący wpływ na efektywność energetyczną systemu elektroenergetycznego oraz ilość energii koniecznej do zapewnienia komfortu termicznego.

Opisane w opracowaniu programy wykorzystują uproszczone algorytmy, minimalizujące ilość koniecznych do wprowadzenia przez użytkownika danych w celu przyspieszenia obliczeń. Można je podzielić na dwie grupy: do prowadzenia analizy technicznej oraz do prowadzenia analizy środowiskowej i techniczno-ekonomicznej. Zasadą jest wykorzystanie synergii w prowadzonych analizach, a więc wstępnego planowania technicznego (PVGIS, PVsyst itp.), a dopiero później analiza ekonomicznej i środowiskowej (RETScreen®, HOMER itp.).

Wyniki tego typu rozwiązań mają decydujące znaczenie w procesie pozyskiwania funduszy pozwalających na realizację przedsięwzięć z zakresu OZE i ich wpływu na kształt charakterystyki energetycznej oraz gospodarki niskiemisyjnej w budynkach użyteczności publicznej.

*Pracę zrealizowano ze środków Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej w ramach projektu nr WND-RPPD.05.02.00-20-034/12, pt. „Poprawa efektywności energetycznej infrastruktury Politechniki Białostockiej z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii”, oraz w ramach projektu nr WND-RPPD.01.01.00-20-015/12, pt. „Badanie skuteczności aktywnych i pasywnych metod poprawy efektywności energetycznej infrastruktury z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii”*

## LITERATURA

- [1] Chwieduk D., Energetyka słoneczna budynku, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2011.
- [2] Douglas Balcomb J., Passive Solar Building, MIT Press, 1992.
- [3] Duffie J. A, Beckman W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, 4<sup>th</sup> Edition, 2013.
- [4] Dyrektywa Europejska 2002/91/WE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
- [5] <http://bluesol.pl/> [dostęp:
- [6] <http://www.homerenergy.com/> [dostęp: 28.01.2016].
- [7] <http://www.pvsyst.com/en/> [dostęp: 28.01.2016].
- [8] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> [dostęp: 25.01.2016].
- [9] <http://www.retscreen.net/pl/home.php> [dostęp: 10.01.2016].
- [10] <http://www.valentin-software.com/en> [dostęp: 28.01.2016].
- [11] Kittler R., Perez R., Darula S., A new generation of sky standards, Proc. Conf. Lux Europa, 1997.
- [12] Pohl G., Textiles, polymers and Composites for Buildings, Elsevier, 2010.
- [13] Pluta Z., Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
- [14] Pluta Z., Słoneczne instalacje energetyczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
- [15] PN-EN ISO 13790:2009 Energetyczne właściwości użytkowe budynków – Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.
- [16] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [17] Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 o charakterystyce energetycznej budynków.

## USE OF SOLAR RADIATION IN SHAPING THE ENERGY EFFICIENCY IN PUBLIC BUILDINGS

Increasing energy efficiency is achieved by reducing energy consumption and limiting its losses. The rational use of available energy sources, automation systems and proper building architecture belong to projects aimed at improving the energy efficiency of buildings. The article describes the main requirements for public building demand for energy, the methodology for calculating the energy requirements for the building and the impact of solar radiation in shaping the energy balance of buildings. The main aim of the study was to indicate most widely used tools and programs to conduct analysis of technical, economic and environmental systems, solar photovoltaic and solar thermal systems.

*(Received: 30. 01. 2016, revised: 4. 03. 2016)*