

ZINTEGROWANE SYSTEMY FOTOWOLTAICZNE W KLIMACIE POLSKI

BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN POLISH CLIMATE

Magda Słowik

Politechnika Wrocławska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Zakład Fizyki Budowli i Komputerowych Metod Projektowania

Pl. Grunwaldzki 11

50-377 Wrocław

e-mail: Magda.Slowik@pwr.edu.pl

Abstract: The world consumes more and more energy and mineral resources are decreasing rapidly. There is a growing interest in renewable energy sources. Particularly noteworthy are photovoltaic systems, because due to the climatic conditions in Poland they may be the biggest potential energy from renewable sources. Due to the rapid development in recent years this technology and rewarding improvements of the performance of photovoltaic modules are becoming accessible to investors and economically viable. The article presents a comparison of the use of photovoltaic systems in countries with similar climatic conditions: Poland and Germany. It presents the influence of solar radiation, air pollution, snow cover and the average outside temperature on issues related to the design of buildings where photovoltaic systems are integrated into.

Keywords: BIPV, photovoltaic, climate, solar cells.

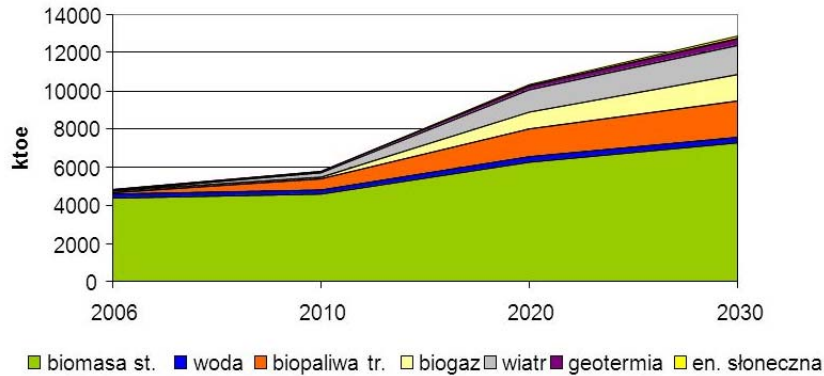
Wprowadzenie

Światowe zapotrzebowanie na energię, zgodnie z przewidywaniami wzrasta z roku na rok. Jednocześnie zasoby paliw kopalnych systematycznie maleją i przy utrzymującej się tendencji bardzo szybko zostaną wyczerpane. Sytuacja taka rodzi potrzebę szukania alternatywnych źródeł pozyskiwania energii. Szczególnie głośno mówi się w tym aspekcie o odnawialnych źródłach energii.

Ze względu na uwarunkowania Polski, największy potencjał posiada energetyka słoneczna. Jednak istotną przeszkodą dla szybkiego rozwoju fotowoltaiki w Polsce są wysokie koszty inwestycji związanych z budową farm solarnych oraz brak stabilnych i możliwych do przewidzenia dostaw energii. Dlatego właśnie konieczne jest poszukiwanie rozwiązań, które pozwolą na wykorzystanie docierającego promieniowania słonecznego i choć częściowo poprawia bilans ekonomiczny inwestycji. Takim przykładem są systemy fotowoltaiczne zintegrowane z fotowoltaiką (*BIPV - BuildingIntegratedPhotovoltaics*). Jest to rozwiązanie, w którym część tradycyjnej obudowy budynku zostaje zastąpiona elementami systemu fotowoltaicznego i staje

się generatorem energii elektrycznej. Należy jednak pamiętać, że nie każdy obiekt budowlany będzie odpowiedni dla zastosowania takiego rozwiązania. Ze względu na satysfakcjonujący bilans ekonomiczny inwestycji, preferowane są obiekty o dużych powierzchniach możliwych do wykorzystania w celu zamontowania paneli. Muszą być one odpowiednio zorientowane i niezacienione.

Należy również pamiętać o tym, że dyrektywy Unii europejskiej nakładają na Polskę wymagania dotyczące udziału procentowego źródeł odnawialnych w całkowitej produkcji energii [3]. Wskazania te zmuszają nas do zintensyfikowania prac nad tworzeniem takich właśnie elektrowni na terenie naszego kraju. Jak pokazuje rys. 1, polityka energetyczna Polski do roku 2030 przewiduje znikomy udział oraz wzrost znaczenia fotowoltaiki w produkcji energii. Sytuacja taka jest wynikiem głównie wysokich kosztów produkcji ogniw fotowoltaicznych i wynikającego z tego ograniczonego zainteresowania technologią. Jednak w ostatnich latach, przy stałym obniżaniu się cen elementów fotowoltaicznych oraz wzroście ich sprawności sytuacja zaczyna się zmieniać i należy na nowo zainteresować się wykorzystaniem energii słonecznej na terenie Polski.

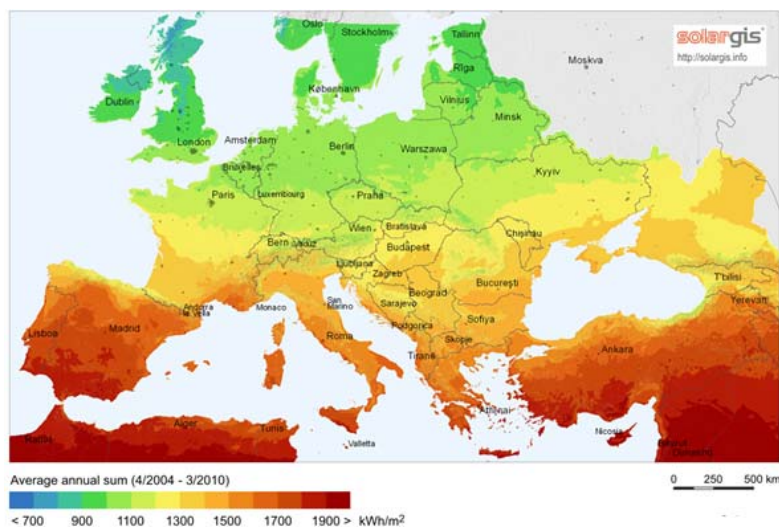


Rys.1. Wzrost zapotrzebowania na energię produkowaną ze źródeł odnawialnych wg polityki energetycznej Polski do 2030 roku [6].

Opis zagadnienia

Pomimo najmniejszego udziału technologii fotowoltaicznej w bilansie produkcji energii elektrycznej, spośród wszystkich odnawialnych źródeł, to właśnie to rozwiązanie posiada największy potencjał [1]. Fakt ten stanowi istotny powód do zgłębiania tematyki rozwoju energetyki słonecznej. Na początku należy podkreślić, że

zgodnie z wynikami badań przeprowadzonych przez naukowców z Osnabrucka, powtarzane tezy o braku odpowiednich warunków do zastosowań systemów fotowoltaicznych w Europie Środkowo-Wschodniej nie mają naukowego potwierdzenia [1]. Przykładem efektywnego wykorzystania bardzo podobnych warunków nasłonecznienia, przedstawionych dla porównania na rys. 2, są nasi zachodni sąsiedzi, Niemcy.



Rys. 2. Nasłonecznienie w Europie [8].

Postanowili oni wykorzystać potencjał, jaki daje docierające w tych szerokościach geograficznych promieniowanie słoneczne. W tym celu wprowadzili długofalowy system wsparcia finansowego oraz postawili na rozwój technologii ukierunkowany na zwiększenie sprawności stosowanych rozwiązań przy jednoczesnym obniżaniu kosztów produkowanych elementów fotowoltaicznych. W wyniki tych działań firmy niemieckie stały się znaczącymi graczami na rynku fotowoltaicznym, ze względu na konkurencyjność oraz dobrą jakość produktów. W efekcie poza zakładanymi zyskami energetycznymi powstały dodatkowe miejsca pracy przy produkcji, instalacji oraz obsłudze elektrowni fotowoltaicznych. W obliczu podobnych

wymagań stawianych przez Unię Europejską, to wewnętrzne czynniki polityczne i społeczne spowodowały, że w Polsce w tym samym czasie mieliśmy do czynienia z fotowoltaiczną stagnacją. Głównymi przeszkodami stojącymi na drodze rozwoju tej technologii w naszym kraju jest silne przywiązanie do polityki energetycznej opartej na węglu, istotny wpływ lobbystów innych sektorów energetycznych na tworzenie w kraju przepisów prawnych w zakresie energii pozyskiwanej z odnawialnych źródeł oraz powszechne przekonanie o nieopłacalności ekonomicznej inwestycji [1].

Systemy fotowoltaiczne zintegrowane z budynkiem, ze względu na szereg zalet w stosunku do tradycyjnych

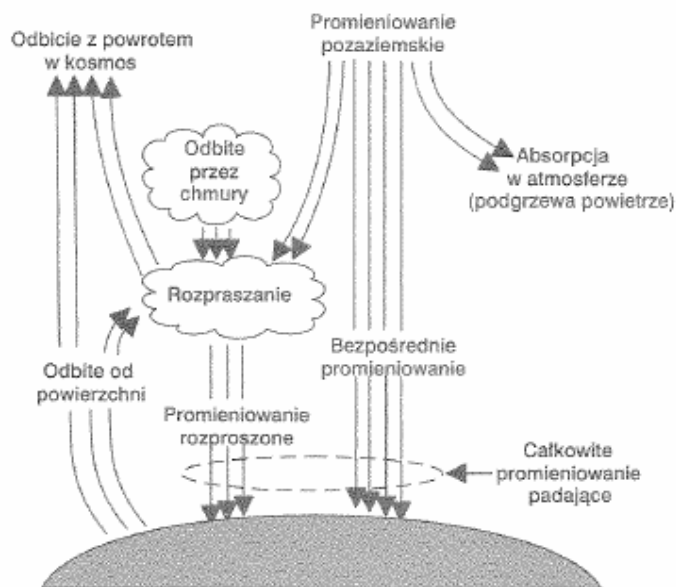
elektrowni fotowoltaicznych, są rozwiązaniem od którego można rozpocząć w Polsce propagowanie energetyki słonecznej. Głównym atutem, jeśli chodzi o aspekt ekonomiczny, jest brak dodatkowych kosztów związanych z zakupem gruntu, budową konstrukcji wsporczej, kosztownym przyłączeniem do istniejącej sieci energetycznej. Instalacja elementów fotowoltaicznych w miejscu dotychczas niewykorzystanej fasady obiektów budowlanych pozwala zagospodarować na cele energetyczne duży fragment przestrzeni silnie zurbanizowanej takiej jak centra dużych miast. Przy wyborze obiektów dla zastosowania BIPV należy kierować się tym, by posiadały odpowiednio dużą i właściwie zorientowaną powierzchnię przeznaczoną do zainstalowania elementów fotowoltaicznych, pozwalającą na niezakłóconą pracę systemu.

Zagadnieniem kluczowym dla analizowania klimatu Polski pod kątem zastosowania systemów fotowoltaicznych jest dostępność promieniowania słonecznego na terenie naszego kraju. Jak powszechnie wiadomo wielkość ta jest silnie uzależniona od położenia geograficznego. Zmiany intensywności nasłonecznienia Ziemi wywołane są nieustanną zmianą jej ustawienia względem źródła promieniowania. Maksymalna intensywność mierzona tuż za granicą atmosfery równa $1,42 \text{ kW/m}^2$ osiągana jest w styczniu, gdy nasza planeta znajduje się najbliżej Słońca, usytuowanego w tym czasie w jednym z ognisk elipsy, natomiast wartość minimalna wynosząca $1,33 \text{ kW/m}^2$ w lipcu, co wynika z faktu maksymalnego oddalenia tych dwóch obiektów od siebie. Dodatkową modyfikację ilości dostępnego promieniowania wprowadza ruch obrotowy Ziemi wokół własnej osi odchylonej o $23,45^\circ$ od pionu. Prowadzi on do zmiany kąta padania promieniowania w cyklu dobowym i rocznym. Rezultatem opisanych zjawisk jest duże zróżnicowanie energii promieniowania docierającego do powierzchni w

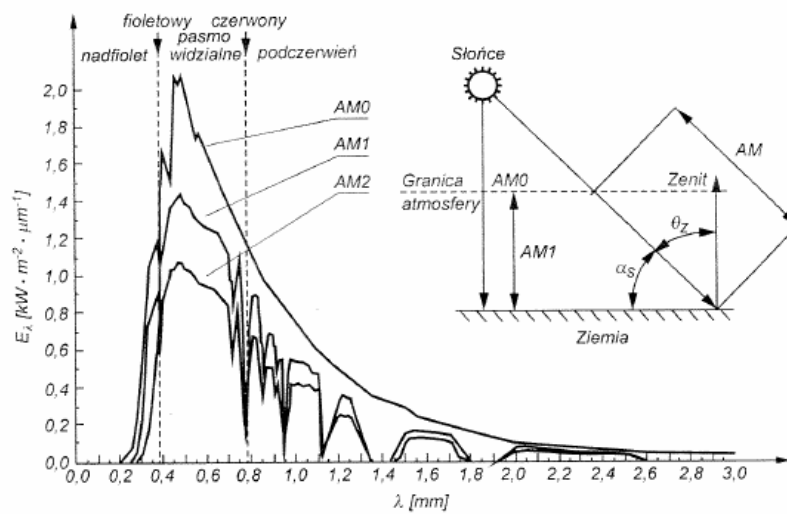
różnych regionach globu. Obszarem uprzywilejowanym pod tym względem są tereny znajdujące się pomiędzy 30° szerokości geograficznej północnej i południowej, gdzie dociera największa ilość promieniowania [4].

Atmosfera ze względu na swój skład stanowi przeszkodę dla zmierzających w kierunku Ziemi fotonów. W wyniku zachodzących w niej zjawisk takich jak odbicie, rozpraszanie i absorpcja, przedstawionych schematycznie na rys. 3, zmienia się istotnie energia promieniowania słonecznego oraz jego rozkład widmowy (rys. 4). Jest to efekt pochłaniania przez cząsteczki tej warstwy konkretnych długości fali (fale związane z większą energią absorbowane są przez ozon natomiast niosące mniejszą energię przez wodę i dwutlenek węgla). Dochodzi również do rozpraszania promieni o długości fali mniejszej niż 600 nm i związanej z tym zmiany kierunku ich rozchodzenia się [2].

Wszystkie omówione powyżej zjawiska wpływają na trzy główne parametry charakteryzujące promieniowanie słoneczne na danym obszarze. Podstawowym z nich jest nasłonecznienie określające sumę natężenia promieniowania w danym czasie i na danej powierzchni [8]. Pozwala ona na określenie ilości energii jaka zostaje dostarczona na analizowaną płaszczyznę przez wiązki padających fotonów. Parametr ten pozwala efektywnie i szybko szacować moc uzyskaną z zamontowanych w danej lokalizacji ogniw fotowoltaicznych. Regionem o najkorzystniejszym nasłonecznieniu w Polsce są okolice Rzeszowa (rys. 5), gdzie w ciągu roku w postaci promieniowania słonecznego dociera średnio 1200 kWh na każdy metr kwadratowy powierzchni [7]. Należy jednak pamiętać, że około 80% tej energii przekazywane jest w okresie letnim i w przypadku BIPV może zostać wykorzystane na wsparcie systemów chłodzenia w budynku jednocześnie zabezpieczając wnętrza przed przegrzaniem.



Rys. 3. Wpływ atmosfery na promieniowanie docierające do powierzchni Ziemi [4].



Rys. 4. Rozkład widmowy promieniowanie słonecznego dla AM0, AM1, AM2 oraz graficzna interpretacja masy optycznej [2].



Rys. 5. Nasłonecznienie roczne w Polsce [7].

Dla dokładniejszego przeanalizowania przewidywanego czasu pracy urządzeń wchodzących w skład systemów fotowoltaicznych należy również przeanalizować jak wygląda nasłonecznienie danego regionu. Jest to parametr mówiący o liczbie godzin słonecznych. Określa on czas, w którym na danym obszarze do powierzchni dociera bezpośrednio promieniowanie słoneczne. W tabeli 1 przedstawiono dane dotyczące nasłonecznienia wybranych miast w Polsce.

Nie można jednak zapominać, że uśrednione dane meteorologiczne na danym terenie mogą być istotnie zmodyfikowane przez lokalny mikroklimat. Doskonałym przykładem takiej sytuacji w odniesieniu do omawianych warunków nasłonecznienia może być bliskie położenie dużego zbiornika z wodą lub obszarów bagien-

nych. W wyniku takiego sąsiedztwa wzrasta prawdopodobieństwo wystąpienia zachmurzenia i mgieł, które mogą w sposób znaczący ograniczyć ilość promieniowania docierającego do powierzchni elementu fotowoltaicznego i zdecydowanie zmniejszyć prognozowane przez nas osiągnięcia. Efekt redukcji uzyskiwanych mocy może być również wynikiem lokalnego zanieczyszczenia środowiska. Obecność dodatkowych pyłów i innych substancji w warstwie atmosfery nasila niepożądane procesy odbicia absorpcji i rozpraszania, o których już wcześniej wspomniano. W rezultacie do powierzchni ogniwa dociera mniejsza ilość promieniowania. Dodatkowo zanieczyszczenia mogą tworzyć osady na powierzchni warstwy czynnej takiego elementu i długotrwale redukować osiągnięte rezultaty. Z tego

względu, gdy decydujemy się na zastosowanie BIPV w regionach zanieczyszczonych należy zwrócić szczególna

uwagę na zapewnienie możliwości samooczyszczania elementu dla otrzymania lepszych rezultatów.

Tab. 1. Usłonecznienie wybranych miast w Polsce [9].

LP	Stacje meteorologiczne	Usłonecznienie w h	LP	Stacje meteorologiczne	Usłonecznienie w h
1	OLSZTYN	BRAK DANYCH	16	KALISZ	1720
2	BIELSKO-BIAŁA	BRAK DANYCH	17	KIELCE	1717
3	LUBLIN	1929	18	ŁÓDŹ	1712
4	POZNAŃ	1875	19	OSTROŁĘKA	1710
5	KOSZALIN	1850	20	WARSZAWA	1693
6	GORZÓW WIELK.	1843	21	CZĘSTOCHOWA	1683
7	TERESPOL	1842	22	SUWAŁKI	1676
8	LEBA	1826	23	JELENIA GÓRA	1642
9	SZCZECIN	1816	24	SZCZECINEK	1605
10	WROCLAW	1785	25	KRAKÓW	1583
11	BIALYSTOK	1780	26	RZESZÓW	1581
12	ZAMOŚĆ	1760	27	ZIELONA GÓRA	1574
13	KATOWICE	1752	28	HEL	1566
14	TORUŃ	1731	29	NOWY SĄCZ	1558
15	KŁODZKO	1728	30	ZAKOPANE	1458
16	KALISZ	1720	31	ŚNIEŻKA	1314

Na rys. 6 przedstawiono regiony w Polsce o zwiększonym zanieczyszczeniu powietrza, gdzie należy dokładnie przeanalizować lokalne warunki nasłonecznienia zmody-

fikowane przez zabrudzenia w atmosferze i sprawdzić opłacalność zastosowania ogniw fotowoltaicznych w takich warunkach.



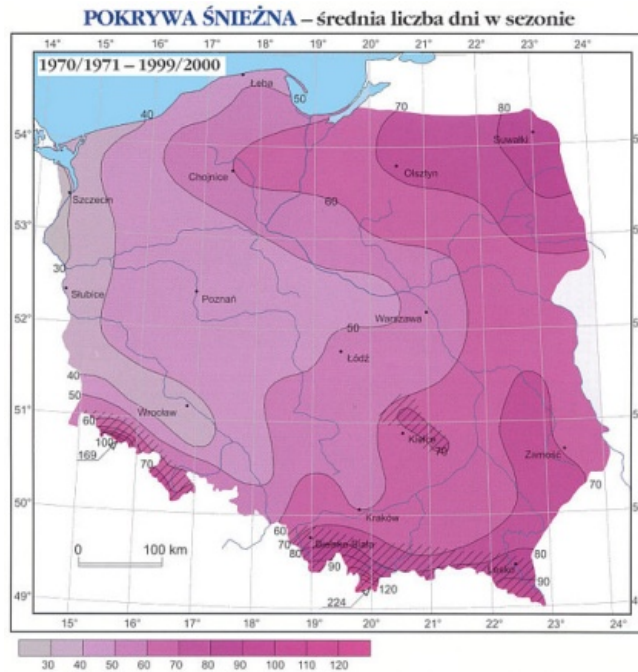
Rys. 6. Zanieczyszczenie powietrza w Polsce [11].

Ze względu na charakterystykę klimatu strefy umiarkowanej konieczne jest jeszcze przeanalizowanie okresu zimowego pod kątem występowania pokrywy śnieżnej. Na rys. 7 przedstawiono średnią liczbę dni utrzymywanie się warstwy śniegu na terenie naszego kraju. Prawdopodobieństwo akumulacji śniegu na powierzchni ogniw zależy od temperatury, wilgotności, prędkości wiatru oraz właściwości powierzchni modułu. Powłoka taka również w znaczący sposób ogranicza

dostęp promieniowania słonecznego do warstwy czynnej ogniw. Jak wykazał Pstraś już 2 cm pokrywa prowadzi do 20% obniżenia intensywności docierającego promieniowania natomiast 10 cm pozwala na przedostanie się do złącza tylko 3-4% fotonów. Wpływ pokrywy śnieżnej jest istotny również ze względu na zdecydowanie mniejszą w okresie zimowym ilość promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni. W takim przypadku każde dodatkowe utrudnienie powoduje

zdecydowane pogorszenie efektywności systemu w rozpatrywanym okresie. Nie należy jednak zapominać, że śnieg może również poprawić rezultaty osiągane przez ogniwa fotowoltaiczne w okresie zimowym. Przy odpowiednim zaprojektowaniu nachylenia elementów

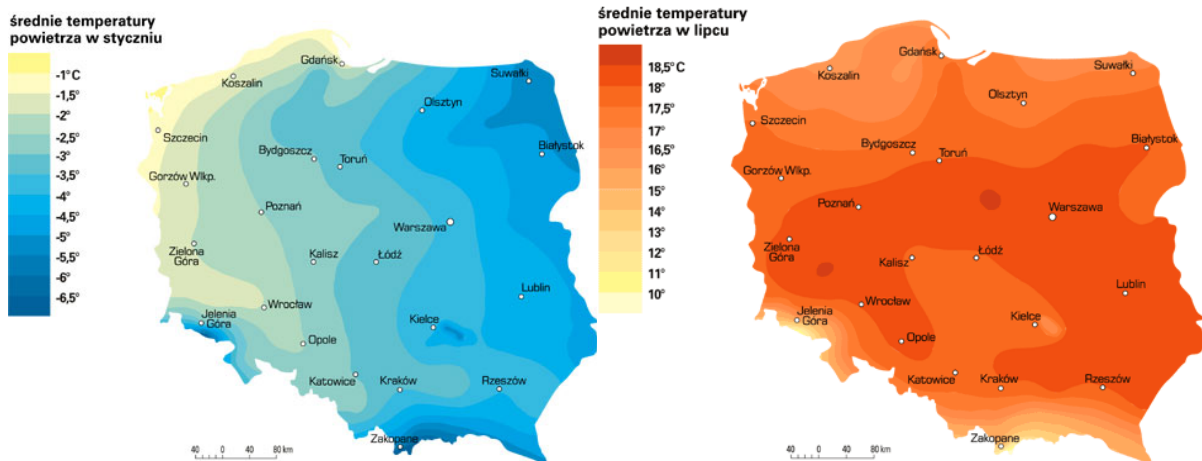
pozwalającym na zsuwanie się warstwy śniegu, promieniowanie padające na otaczającą element białą pokrywą odbija się od sąsiednich powierzchni i zwiększa ilość docierającego do ogniwa promieniowania [5].



Rys. 7. Rozkład średniej rocznej liczby dni utrzymywania się pokrywy śnieżnej w Polsce [5].

Projektując BIPV musimy również pamiętać o spełnieniu wymagań związanych z izolacyjnością cieplną elementów budynku. Na szczególną uwagę zasługują w tym miejscu systemy fotowoltaiczne zintegrowane ze przeszklonymi fasadami budynków. W ich przypadku zazwyczaj parametry izolacyjne są niezadowalające i należy przeprowadzić wnikliwą zoptymalizowaną i wieloaspektową analizę, aby odpowiedzieć na pytanie czy zastosowanie takiego rozwiązania jest opłacalne ekonomicznie oraz energetycznie. Dobór odpowiedniej

proporcji powierzchni przeszklonych do ścian jest często kluczem do sukcesu zaproponowanego rozwiązania. W przypadku obszarów kraju o wyższych średnich temperaturach, szczególnie w okresie zimowym, rezultaty przeprowadzonych symulacji mogą okazać się korzystniejsze. Na podstawie zamieszczonych na rys. 8 map możemy stwierdzić, że ze względu na warunki termiczne lepsze wyniki obliczeniowe uzyskamy lokalizując nasz obiekt w zachodniej części Polski.



Rys. 8. Średnia temperatura powietrza w lipcu [10].

Podsumowanie

W pracy przedstawiono możliwy wpływ poszczególnych elementów klimatu Polski na rezultaty uzyskiwane przez moduły fotowoltaiczne w systemach zintegrowanych z budynkiem. Zaprezentowano różne drogi rozwoju fotowoltaiki na przykładzie krajów o bardzo zbliżonych warunkach nasłonecznienia - Polski i Niemiec. Pokazano również przyczyny społeczno – polityczne takiego pluralizmu. W artykule dokładniej został omówiony wpływ nasłonecznienia na wydajność systemu fotowoltaicznego. Zaprezentowano również przykłady wpływu lokalnego mikroklimatu na uśrednione dane meteorologiczne dla analizowanego obszaru. Zwrócono uwagę na wzmocnienie niekorzystnych zjawisk zachodzących w atmosferze takich jak absorpcja odbicie i rozpraszanie promieniowania, w wyniku obecności

dodatkowych zanieczyszczeń w tej warstwie, będących głównie efektami działania przemysłu. Przedstawiono także wpływ pokryw śnieżnej na możliwości absorpcji promieniowania przez moduł fotowoltaiczny. Wyszczególniono czynniki wpływające na możliwość akumulacji śniegu na powierzchni modułu. Zaprezentowano także wpływ śniegu na poprawę wydajności elementu w okresie zimy. Przybliżono zasadność analizowania temperatury powietrza zewnętrznego przy optymalizowaniu udziału powierzchni przegród przeszklonych o gorszych parametrach termoizolacyjnych z systemami fotowoltaicznymi w odniesieniu do ścian. Na zakończenie należy podkreślić, że w klimacie Polskim rozwiązania stosujące systemy fotowoltaiczne przy odpowiednim projektowaniu, analizowaniu i optymalizowaniu mogą być ekonomicznie i energetycznie uzasadnione.

Literatura

1. Jankowska, K., Fotowoltaika w Polsce a w Niemczech, *Czysta Energia*, 2008, 12(86), s. 28-29.
2. Sarniak, M.T., Podstawy fotowoltaiki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2008.
3. Jeleń, K., Cała, M., Zarys stanu i perspektywy energetyki Polskiej, Wydawnictwo AGH, Kraków, 2012.
4. Klugmann-Radziemska, E., Fotowoltaika w teorii i praktyce. Wydawnictwo BTC, 2010.
5. Pstraś, L., Wpływ pokrywy śnieżnej na wydajność systemów fotowoltaicznych, *Energetyka*, 2013, 12, s. 927-931.
6. Rogulska, A., Grzybe, A., Szlachta, J., Tys, J., Krasuskam E., Biematmm K., Bojdorm K., Powiązania rolnictwa i energetyki w kontekście realizacji celów gospodarki niskoemisyjnej w Polsce (prezentacja). II Kongres Nauk rolniczych "Nauka - praktycy" Warszawa 05.10.2011.
7. Eco-energia, <http://www.eco-energia.pl/index.php/14-baza-wiedzy/18-energia-slonca>, (dostęp 13.02.2016).
8. Zielona Energia, Różnica między nasłonecznieniem a usłonecznieniem i natężeniem promieniowania słonecznego, http://www.zielonaenergia.eco.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=299:ronice-midzy-nasonecznieniem-usonecznieniem-i-nateniem-promieniowania-sonecznego&catid=51:slonce&Itemid=214, (dostęp 13.02.2016).
9. Energia Odnawialna, Moc promieniowania słonecznego w Polsce, http://energiaodnawialna.net/index.php?option=com_content&view=article&id=364&Itemid=96, (dostęp 13.02.2016).
10. Wiking, Klimat w Polsce, <http://www.wiking.edu.pl/article.php?id=36>, (dostęp 13.02.2016).
11. Zagrożone Środowisko, Zanieczyszczenie powietrza, http://cube_prim93.eu.interiowo.pl/zaniecz_pow.htm, (dostęp 13.02.2016)