

Joanna RUDNIAK

Politechnika Częstochowska, Wydział Infrastruktury i Środowiska, Instytut Inżynierii Środowiska
ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa
e-mail: joa@is.pcz.czest.pl

Analiza regionalnego potencjału energii promieniowania słonecznego

Analysis of the Regional Energy Potential of Solar Radiation

Rational energy management, to meet the daily needs of consumers, should take into account many aspects of environmental protection. It is also important to use renewable energy sources and increasing their role in obtaining heat and power systems autonomous or cooperating with other sources. A key role in this area plays a proper determination of the resources of individual sources, among them especially the potential of solar radiation, characterized by the availability at a specific location of solar energy for possible use. It is obvious a large discrepancy of availability of this source relative to the energy demand during the day as well as at particular seasons. The potential of solar energy, for a given region, depends on its specific geographical location, as well as on air pollution or local cloudy conditions. Unfortunately, the measurements of individual local solar radiation resources are not so often realized. Therefore useful data are compiled by qualified institutions such as Institute of Meteorology and Water Management (IMGW-PIB), obtained from the long-term bases and measurements of various factors describing the local climate. The article presents an analysis of the structure of the resources of solar radiation in the Silesian voivodeship, for a few selected locations, including Częstochowa, with particular emphasis on data from the typical meteorological years, statistical climate data, and others. Analyzed values of the parameters characterizing the potential yields of solar energy for various positioning devices, as well as the impact of local factors on the energy resource possible to obtain locally. In the evaluation of distributions for solar radiation sums for the region of Silesian voivodeship in selected locations, as well as the sun hours, it was found that solar conditions are here satisfactory. However, even with very accurate determination of the local potential of solar energy, should also be considered its high irregularity and lack of reproducibility, due to weather conditions, climate, locally emitted pollution into the atmosphere or flowed from adjacent areas. Proper assessment of the potential of solar energy for the specific location is an important factor determining the potential development of solar energy in Silesian voivodeship. It is important to improve the quality of atmospheric air as an element of the environment, and its protection can simultaneously increase the availability of solar radiation potential locally and throughout the region. This will increase opportunities for realization of low-power systems with photovoltaic cells or the installation of solar collectors.

Keywords: solar radiation, potential of solar energy, solar irradiance, insolation, sun hours, Silesian voivodeship

Wprowadzenie

Pozyskiwanie energii dla zapewniania bieżących potrzeb energetycznych w różnych sektorach życia powinno łączyć się nierozdzielnie z racjonalnym rozporządzaniem jej zasobami, jak też ze szczególnym uwzględnieniem aspektów ochrony

środowiska naturalnego. Wykorzystywanie konwencjonalnych zasobów energii obarczone jest znacznym niekorzystnym oddziaływaniem na środowisko oraz powodowaniem w nim nieodwracalnych skutków. Wzrastająca jednak obecnie świadomość ekologiczna społeczeństwa pozwala na ograniczanie zużycia energii, podnoszenie stopnia jej wykorzystania, poprawę efektywności przetwarzania, jak też wdrażanie alternatywnych rozwiązań w tym zakresie. Minimalizacja degradacji środowiska oraz nadmiernej eksploatacji zasobów energii przyczynia się również do zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego także następnym pokoleniom.

Zapotrzebowanie na energię w budownictwie (dla budynków mieszkalnych jednorodzinnych lub zamieszkania zbiorowego, jak również przemysłowych, czy użyteczności publicznej różnego przeznaczenia), rozumiane jako konieczność dostarczania do nich energii elektrycznej oraz ciepła, obecnie już coraz częściej może być realizowane z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii, działających autonomicznie lub współpracujących z konwencjonalnymi, tradycyjnymi źródłami. Każdy obiekt charakteryzuje jednak odrębna specyfika potrzeb energetycznych, stąd dobór najodpowiedniejszego rozwiązania powinien odbywać się z ich szczególnym uwzględnieniem. Nie należy również zapominać o indywidualnych uwarunkowaniach określających potencjał odnawialnych źródeł energii w danej lokalizacji, przekładający się na dostępność energii konkretnego źródła oraz możliwość jego wykorzystania. Dokładne określanie potencjału źródła przyczynia się do bardziej wiarygodnego oszacowania zasobu energii możliwego do efektywnego pozyskania poprzez zastosowanie dedykowanych poszczególnym instalacjom odpowiednich urządzeń, jak np. w energetyce słonecznej: ogniwa fotowoltaiczne dla wygenerowania energii elektrycznej czy kolektory słoneczne pozwalające na pozyskanie ciepła do przygotowania ciepłej wody użytkowej lub ciepła do wspomagania centralnego ogrzewania obiektów.

Zasoby energii promieniowania słonecznego zróżnicowane są nie tylko ze względu na porę dnia, miesiąc, sezon czy okres roku, ale również zależą od położenia w danym regionie geograficznym. Potencjał energii promieniowania słonecznego, charakteryzujący osiągalność w konkretnym miejscu energii słonecznej, zależy w dużej mierze także od specyficznych warunków zanieczyszczenia powietrza czy zachmurzenia. Celowe są zatem lokalne pomiary zasobów promieniowania słonecznego oraz przeprowadzanie ich dogłębnych analiz. Prowadzenie takich badań dla niewielkiej, jednostkowej instalacji słonecznej może stanowić jednak pewnego rodzaju utrudnienie dla użytkownika, dodatkowo podnosząc koszty, a w związku z tym nieczęsto jest realizowane indywidualnie. Zatem niezmiernie przydatne w takich przypadkach stają się dane pomiarowe uzyskiwane przez wykwalifikowane jednostki, takie jak np. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy (IMGW-PIB), specjalizujące się w wieloletnich obserwacjach poszczególnych parametrów opisujących klimat w danym regionie geograficznym, w tym także specyficznych cech promieniowania słonecznego w konkretnych lokalizacjach.

1. Charakterystyka promieniowania słonecznego

Podstawowy parametr opisujący ilość energii promieniowania słonecznego to stała słoneczna (całkowita irradiancja słoneczna - TSI Total Solar Irradiance), która pomimo swej nazwy jest wielkością zmienną, a jej wartość zawiera się w przedziale $1337\div 1429 \text{ W/m}^2$ [1]. Określa gęstość strumienia promieniowania słonecznego dochodzącego do górnej granicy atmosfery w jednostce czasu i na jednostkę powierzchni prostopadłej do promieniowania. Jej zmienność wynika ze zróżnicowanego położenia Ziemi względem Słońca, związanego z poruszaniem się po eliptycznej orbicie, jak też z niejednakowej aktywności samego Słońca, opisywanej przez tzw. jedenastoletnie cykle słoneczne. Średnia wartość stałej słonecznej przyjmowana jest jako 1366 W/m^2 [1].

Energia słoneczna docierająca do powierzchni Ziemi jest osłabiona podczas przejścia przez atmosferę i występuje głównie jako promieniowanie bezpośrednie, rozproszone oraz odbite czy pochłonięte. Suma promieniowania bezpośredniego oraz rozproszonego stanowi promieniowanie całkowite, którego natężenie wyznaczane jest w odniesieniu do powierzchni poziomej, a jego energia nazywana jest nasłonecznieniem [2]. Przy znacznym zachmurzeniu czy też silnym zanieczyszczeniu atmosfery udział promieniowania rozproszonego rośnie i może stać się główną składową promieniowania dostarczającego energię. Zimą dla południa Polski dopływa więcej energii promieniowania słonecznego w porównaniu z innymi częściami kraju, wiąże się to z kątem padania promieni słonecznych oraz długością dnia. Roczne sumy promieniowania całkowitego są zróżnicowane dla Polski, a dla Śląska jest to średnio ok. $1000 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ [1, 2]. Na zmiany dobowe i miesięczne nasłonecznienia oczywisty wpływ ma pora roku oraz szerokość geograficzna. Pochylenie płaszczyzny pod pewnym kątem względem poziomu również skutkuje zmianą wartości nasłonecznienia.

Odrębnym parametrem charakteryzującym dodatkowo warunki słoneczne na danym obszarze jest usłonecznienie, opisujące godziny bezpośredniego promieniowania słonecznego, średnia jego wartość w roku dla Polski to 1650 h, a dla Śląska ok. 1400 h [1, 2].

Oprócz specyficznego położenia geograficznego, ważnym czynnikiem wpływającym na dostępność promieniowania słonecznego jest również przejrzystość atmosfery. Miejscowa jakość powietrza atmosferycznego zależna jest w dużej mierze również od stopnia korzystania z konwencjonalnych źródeł energii, skutkującego wprowadzaniem zanieczyszczeń do powietrza w procesie spalania tego rodzaju paliw, zwłaszcza podczas tzw. sezonu grzewczego.

2. Regionalne zasoby energii promieniowania słonecznego

Wybrany regionem do analizy potencjału energii promieniowania słonecznego jest obszar województwa śląskiego z wyróżnionymi w nim kilkoma miejscowościami. Zgodnie z aktualną bazą danych Głównego Urzędu Statystycznego [3], zajmuje on powierzchnię $12,33 \text{ tys. km}^2$ (3,9% pow. Polski), a zamieszkuje w nim

4,57 mln ludności i stanowi najgęściej zaludniony okręg kraju, dając 371 osób/km², przy średniej dla Polski 123 osoby/km². Region też jest obszarem o najwyższym wskaźniku urbanizacji wynoszącym 77,3%, względem średniej krajowej 60,5%, co skutkuje wysokim zapotrzebowaniem na energię w tym okręgu. Województwo podzielone jest na cztery subregiony [4]. Wybrane do analizy miejscowości, oznaczone na rysunku 1, są reprezentatywnymi dla każdego z nich: Częstochowa (subregion północny), Bielsko-Biała (subregion południowy), Katowice (subregion centralny), Racibórz (subregion zachodni). Rozciągłość równoleżnikowa województwa śląskiego jest w przedziale szerokości geograficznej 49°24'N÷51°06'N, co wpływa na zróżnicowanie otrzymywanego na tym obszarze promieniowania słonecznego.

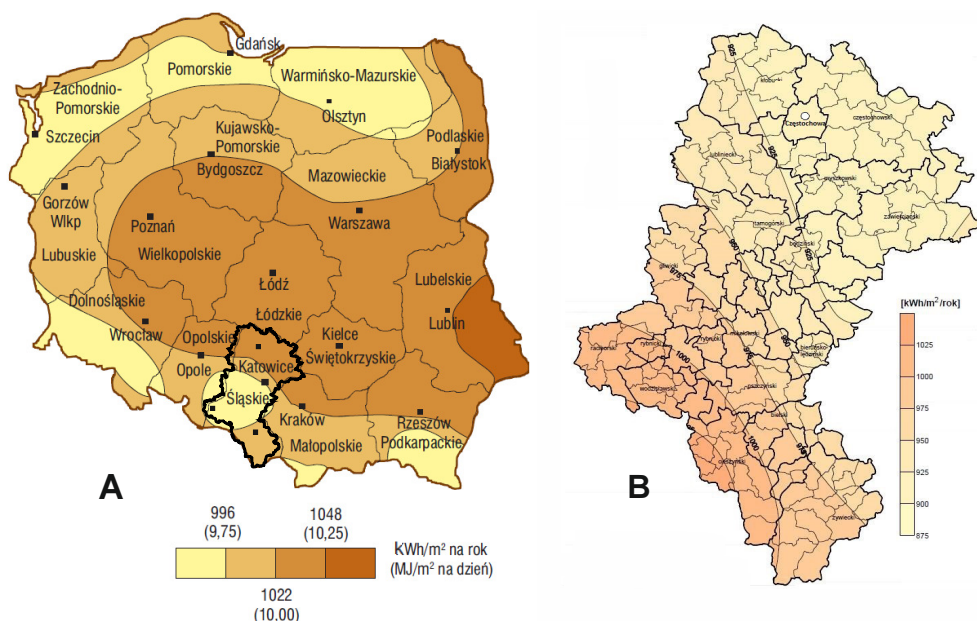


Rys. 1. Subregiony województwa śląskiego, na podstawie [4]

Fig. 1. Subregions of the Silesian voivodeship, based on [4]

Najczęściej przytaczanym w wielu pracach przykładem rozkładu potencjału promieniowania słonecznego na terytorium Polski jest mapa 31.2, pochodząca z Atlasu Rzeczypospolitej Polskiej cz. 2 [5], zamieszczona na rysunku 2A, wg niej dla województwa śląskiego (dodano zaznaczenie obrysem) roczne natężenie promieniowania słonecznego zawarte jest w przedziale 970÷1048 kWh/(m²·rok). Najwyższe wartości z tego zakresu oznaczone zostały dla okolic Częstochowy, dla Katowic oraz Bielska-Białej podobne, natomiast najniższe dla regionu Raciborza. Jednak w innych materiałach zauważyć można zdecydowanie odmienny rozkład wartości parametrów charakteryzujących potencjał promieniowania słonecznego dla Śląska. Przykładem jest rycina zaczerpnięta z Ekspertyzy PAN [6], przedstawiona na rysunku 2B, na której najwyższe wartości ustalone zostały jednak dla okolic Raciborza, natomiast najniższe dla regionu Częstochowy, mimo że teoretyczny

potencjał energii promieniowania słonecznego dla całego województwa śląskiego określony został w podobnym, porównywalnym przedziale $900 \div 1050 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$.



Rys. 2. Potencjał energii promieniowania słonecznego w województwie śląskim: A [5], B [6]

Fig. 2. The potential of solar energy in the Silesian voivodeship: A [5], B [6]

W odniesieniu do innych wielkości opisujących warunki słoneczne, np. godzin bezpośredniego promieniowania słonecznego, przykładowo w Opracowaniu Ekofizycznym do aktualnego Planu Zagospodarowania Przestrzennego Województwa Śląskiego 2020+ [4] stwierdzono, iż średnie roczne usłonecznienie w centralnej części województwa wynosi ok. 1400 h, a dla pozostałego obszaru 1500 h. Natomiast w pracach z lat 2004 oraz 2010 [7] odnotowano odmiennie, a mianowicie wartość średniego rocznego usłonecznienia jest najwyższa w południowej części województwa i stanowi 1900 h, a najniższa w zachodniej - 1650 h oraz że w pozostałych częściach województwa wynosi 1800 h, przy czym w północnej jest wyższa.

Przytoczone dane nie dają obiektywnego obrazu zasobów energii promieniowania słonecznego przypadającego obszarowi województwa śląskiego, co skłania do przeprowadzenia analizy tego potencjału. Dlatego też podjęto próbę dokładniejszego przeanalizowania charakterystycznych parametrów opisujących dostępność energii promieniowania słonecznego dla terenu Śląska, jak również dla poszczególnych subregionów tego obszaru i wybranych w nich miejscowości.

3. Analiza potencjału energii promieniowania słonecznego

Przy braku w wielu miejscach lokalnych aktynometrycznych stacji pomiarowych, dostarczających dane do scharakteryzowania potencjału promieniowania

słonecznego, konieczne jest posiłkowanie się szczegółowymi dostępnymi bazami opisującymi zasoby energii promieniowania słonecznego w konkretnych regionach. Niektóre z wyników, uzyskanych w przeprowadzonej na ich podstawie wnikliwej analizie, przedstawione zostały w niniejszym artykule.

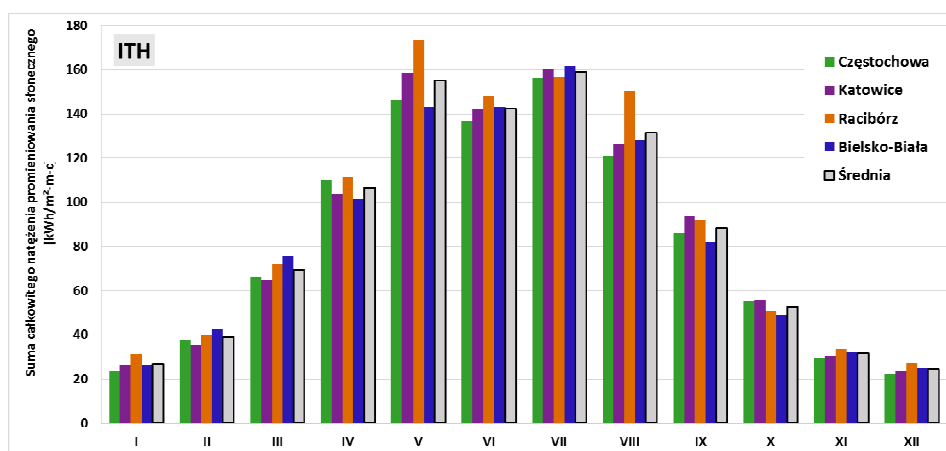
Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa (MIB) [8] udostępnia obszerny zbiór parametrów, tzw. typowe lata meteorologiczne oraz statystyczne dane klimatyczne, dla kilkudziesięciu lokalizacji w Polsce. Wygenerowane zostały one przez Narowskiego [9] na podstawie baz danych z lat 1971-2000 Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB) [10]. W regionie Śląska zlokalizowanych jest wiele stacji klimatologicznych, synoptycznych oraz posterunków meteorologicznych i opadowych IMGW-PIB [10], w tym samodzielna stacja meteorologiczna dla lotniska Katowice - Pyrzowice. Dysponują one danymi z wielu lat dla różnych czynników klimatycznych, a wśród nich parametrami promieniowania słonecznego, które pozwalają na oszacowanie potencjału energii promieniowania słonecznego w konkretnych miejscach. W udostępnionym przez MIB [8] zbiorze danych znajdują się wartości natężenia promieniowania słonecznego dla czterech miejscowości z województwa śląskiego, są to: Bielsko-Biała, Częstochowa, Katowice, Racibórz.

Na podstawie przyjętego materiału zostały opracowane i poddane szczegółowej analizie różnego rodzaju zestawienia, z których przykładowe dla sum całkowitego natężenia promieniowania słonecznego (ITH Total Horizontal Irradiation) w omawianych czterech lokalizacjach, wraz z dołączonymi wartościami średnimi - wyliczonymi jako reprezentatywne dla całego obszaru województwa śląskiego, przedstawiono na rysunku 3. Dla większej przejrzystości w materiale zamieszczono jedynie porównanie wartości miesięcznych, gdyż przedstawianie interpretacji przeprowadzonej dla poszczególnych dni, jak również innych rodzajów promieniowania (bezpośredniego - IDH Direct Horizontal Irradiation czy też rozproszonego - ISH Scattered Horizontal Irradiation) jest zbyt szerokie.

We wszystkich czterech analizowanych miejscowościach zauważalny jest nieregularny rozkład miesięcznych wartości sum całkowitego natężenia promieniowania słonecznego, jak również większe ich zróżnicowanie widoczne głównie w tzw. półroczu letnim (IV-IX). Występuje także swoista anomalia dla czerwca, charakteryzująca się znacznym obniżeniem wszystkich danych wbrew logicznej tendencji zmian. Wyznaczenie jednej uprzywilejowanej lokalizacji z dominującym nasłonecznieniem w całym obszarze województwa śląskiego jest nietatwe ze względu na jego zmienność w poszczególnych przedziałach roku. Jednak w wielu miesiącach wartości przewyższające średnią widoczne są dla Raciborza w sub-regionie zachodnim.

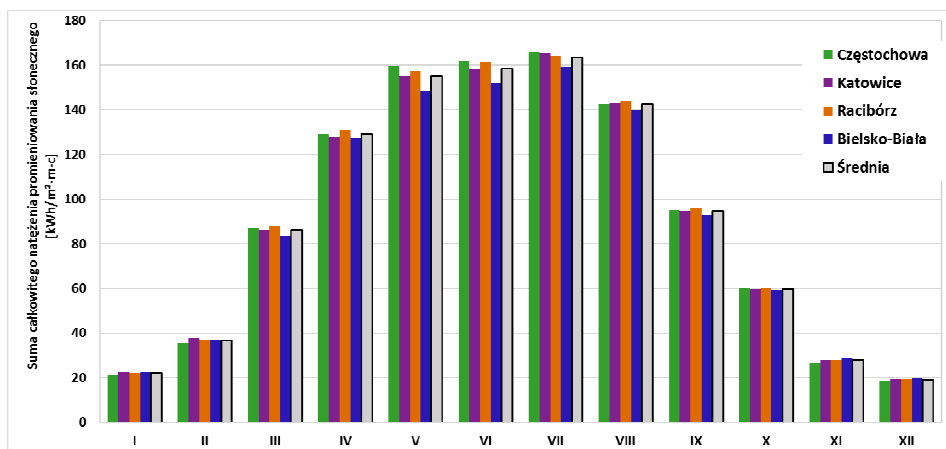
Dla porównania innym źródłem danych wykorzystanym w prowadzonej analizie jest Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) [11], skąd zaczerpnięte zostały dzienne sumy całkowitego oraz bezpośredniego natężenia promieniowania słonecznego na płaszczyznę poziomą i zorientowaną pod różnymi kątami. Pozyskane dane zostały opracowane między innymi dla poszczególnych miesięcy w roku i przedstawione na rysunku 4.

W obu zestawieniach występuje podobna tendencja zmian sum natężenia promieniowania słonecznego, jednak zamieszczone na rysunku 4 wartości są wyższe w porównaniu z ujętymi na rysunku 3 oraz nie pojawia się już wśród nich anomalia dla czerwca. Sprawia to, iż drugi zbiór danych wydaje się bardziej miarodajny. Potencjał nasłonecznienia dla Częstochowy oraz Raciborza wyróżnia się spośród innych, przez co można scharakteryzować go jako dominujący. Dla wszystkich analizowanych regionów dostrzegalne jest też zdecydowanie niższe odchylenie od średniej wyznaczonej dla całego województwa śląskiego na rysunku 4, inaczej niż w zestawieniu na rysunku 3.



Rys. 3. Sumy całkowitego natężenia promieniowania słonecznego dla wybranych lokalizacji, wyznaczone na podstawie MIB [8]

Fig. 3. Sums of total solar irradiation at selected locations, based on MIB [8]

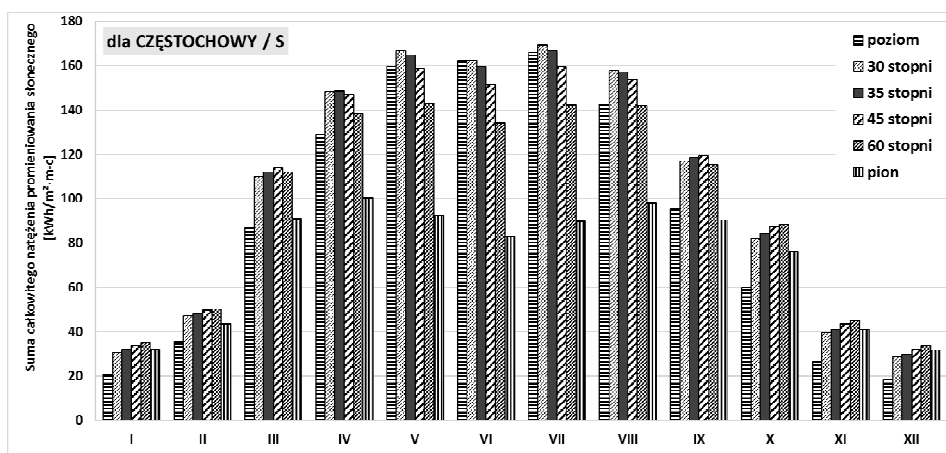


Rys. 4. Sumy całkowitego natężenia promieniowania słonecznego dla wybranych lokalizacji, wyznaczone na podstawie PVGIS [11]

Fig. 4. Sums of total solar irradiation at selected locations, based on PVGIS [11]

Posługiwanie się przytoczonymi wartościami sum całkowitego natężenia promieniowania słonecznego (czy też promieniowania bezpośredniego lub rozproszonego) jedynie na powierzchnię poziomą stanowi pewnego rodzaju uproszczenie, gdyż realne posadowienie urządzeń pozyskujących energię znajduje się przeważnie w pewnym odchyleniu od poziomu. Dlatego też na rysunku 5 zaprezentowano wybrane przykładowo dla Częstochowy i orientacji południowej S zmiany sum całkowitego natężenia promieniowania słonecznego w zależności od różnych kątów nachylenia płaszczyzny względem poziomu.

W okresie półroczu letniego pozyskiwanie większej ilości energii promieniowania słonecznego możliwe jest przy niższych kątach nachylenia urządzeń, natomiast zimą, odmiennie, wskazane jest ustawianie ich pod większym kątem nachylenia do poziomu. Niestety, opcja regulacji zmiany kąta ustawienia urządzeń jest rzadko stosowana w instalacjach ze względu na zbyt duże koszty, dlatego też dla województwa śląskiego zalecane jest stosowanie położenia 35° [11] dla całorocznej efektywnej pracy jednostek bądź też przeanalizowanie, jaki okres w roku stanowi największy udział czasu wykorzystania instalacji i dobranie optymalnego, dla tego przedziału roku czy sezonu, kąta posadowienia urządzeń pozyskujących energię słoneczną.

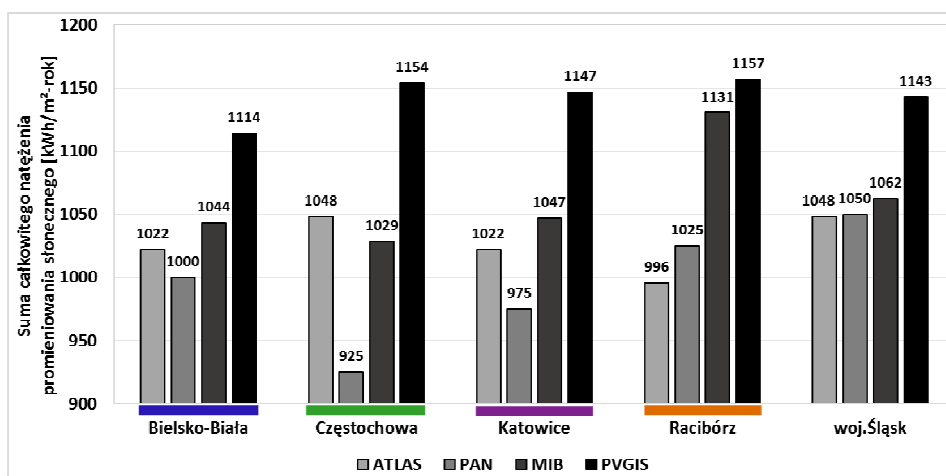


Rys. 5. Sumy całkowitego natężenia promieniowania słonecznego dla różnego położenia, wyznaczone na podstawie PVGIS [11]

Fig. 5. Sums of total solar irradiation for different positions, based on PVGIS [11]

Na podstawie wybranych danych z Atlasu Rzeczypospolitej Polskiej [5], Ekspertyzy PAN [6], Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa [8] oraz Photovoltaic Geographical Information System [11] określone zostały również roczne sumy natężenia promieniowania słonecznego dla całego województwa śląskiego oraz dla analizowanych czterech lokalizacji, których zestawienie przedstawia rysunek 6. Średnie sumy dla całego obszaru Śląska są wielkościami porównywalnymi z wyjątkiem zdecydowanie wyższej wartości ustalonej na podstawie [11]. Natomiast roczne sumy natężenia promieniowania słonecznego, wyznaczone dla poszczegól-

nych miejscowości reprezentujących subregiony województwa, w każdym źródle wykazują, niestety, dość znaczne zróżnicowanie.

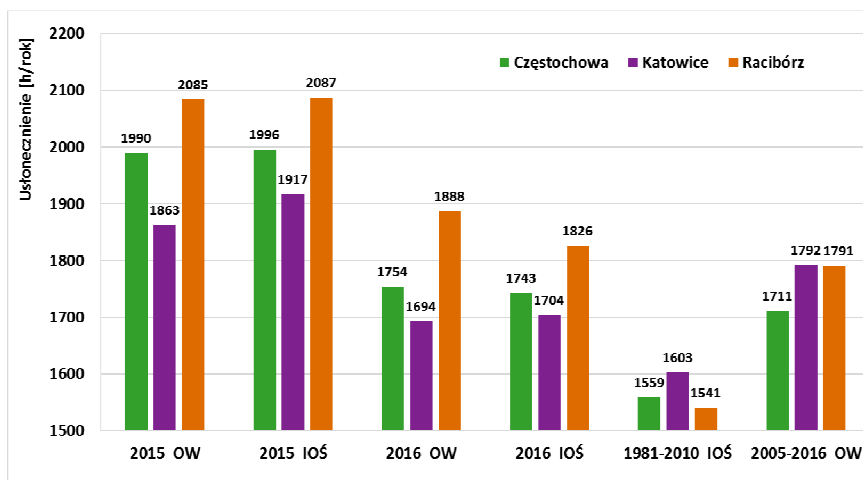


Rys. 6. Porównanie rocznych sum całkowitego natężenia promieniowania słonecznego dla wybranych lokalizacji oraz całego woj. śląskiego, wyznaczone na podstawie [5, 6, 8, 11]

Fig. 6. Comparison of annual sums of total solar irradiation at selected locations and whole Silesian voivodeship, based on [5, 6, 8, 11]

Kolejnym parametrem charakteryzującym promieniowanie słoneczne na danym obszarze jest usłonecznienie, opisujące liczby godzin docierającego bezpośredniego promieniowania słonecznego w ciągu dnia, miesiąca czy roku. Analiza usłonecznienia przeprowadzona została z wykorzystaniem danych wieloletnich udostępnianych przez Weather Online Ltd. - Meteorological Services [12]. W zasobach tych dla województwa śląskiego dostępne są bazy danych jedynie dla trzech lokalizacji: Częstochowy, Raciborza oraz Katowic - jednak nie dla miasta, lecz Międzynarodowego Portu Lotniczego Katowice w Pyrzowicach, natomiast dla Bielska-Białej brak pomiarów. W oparciu o ww. bazę danych określono usłonecznienie uśrednione z lat 2005-2016 oraz także dla poszczególnych miesięcy. Następną grupę danych usłonecznienia pozyskano z raportu Inspekcji Ochrony Środowiska [13], na jego podstawie wyznaczono wartości roczne oraz z wielolecia 1981-2010. Na rysunku 7 zestawiono wartości usłonecznienia ustalone na bazie obu źródeł dla podobnych okresów oraz poszczególnych miejscowości.

Dla wszystkich trzech lokalizacji, analizując wartości z wielolecia, zauważalny jest w ostatniej dekadzie zdecydowany przyrost godzin usłonecznienia, podczas których występuje zwiększona dostępność bezpośredniego promieniowania słonecznego w poszczególnych miastach. Widoczna jest też poprawa warunków słonecznych dla Częstochowy, jednak w całym województwie zdecydowanie przeważające usłonecznienie występuje dla Raciborza.

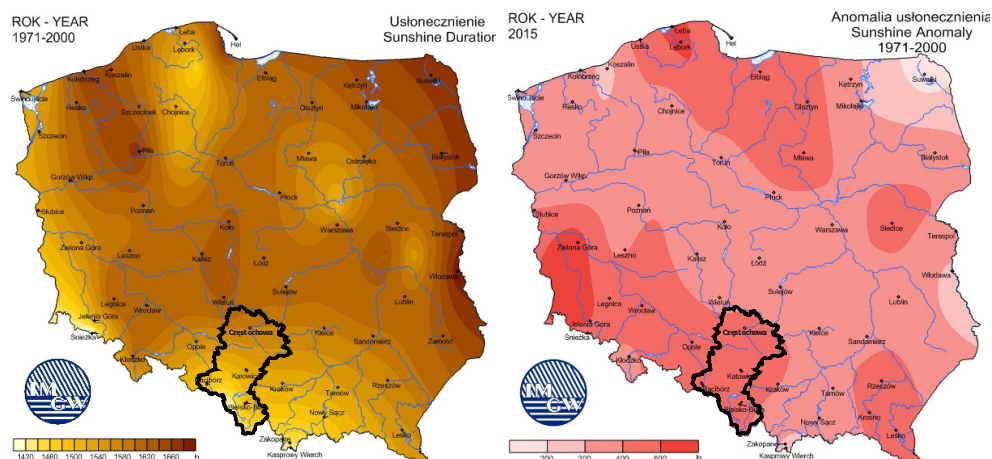


Rys. 7. Porównanie usłonecznienia dla wybranych lokalizacji, wyznaczone na podstawie [12, 13]

Fig. 7. Comparison of sun hours at selected locations, based on [12, 13]

Dodatkowo w zestawieniu dane z roku 2015 obrazują największy ostatnio anomalny wzrost usłonecznienia na obszarze całego województwa śląskiego. Potwierdzają to również wieloletnie badania prowadzone przez IMGW-PIB [10]. Przykładowe mapy na rysunku 8 przedstawiają różnice usłonecznienia, w porównaniu do wartości uśrednionych dla wielolecia 1971-2000, sięgające nawet 500 h rocznie. Mapy pochodzące z zasobów IMGW-PIB [10] zostały przetworzone przez dodanie obrysu województwa śląskiego oraz zaznaczenie wybranych analizowanych miejscowości z subregionów. Na obszarze całego kraju pojawiają się znaczne różnice usłonecznienia, a w województwie śląskim w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat obserwowane jest postępujące ocieplanie się klimatu. Obszar ten kształtowany jest przez czynniki naturalne oraz w dużej mierze czynniki antropogeniczne, przejawiające się między innymi jako intensywna urbanizacja obszaru. Wzrostową tendencję zmian usłonecznienia oraz natężenia promieniowania słonecznego obrazują coraz częściej występujące anomalie. Stąd też często spotykane stwierdzenie, iż warunki słoneczne dla województwa śląskiego są niekorzystne w porównaniu do innych regionów kraju, może w pewnym zakresie zostać podważone.

Rozpatrując możliwości energetycznego wykorzystania potencjału promieniowania słonecznego, należy mieć też na uwadze to, iż wysokie usłonecznienie nie przekłada się jednoznacznie na zwiększenie natężenia promieniowania słonecznego, gdyż zależy ono również od kąta padania promieni i specyfiki lokalizacji. Docierające promieniowanie słoneczne może być wykorzystywane poprzez konwersję fototermiczną, fotochemiczną lub fotowoltaiczną, dając użyteczne ciepło lub energię elektryczną. Jednak przy wykorzystaniu metod aktywnego pozyskiwania energii występuje konieczność zastosowania odpowiednich dla danej metody urządzeń. Efektywność ich działania jest w sposób oczywisty zdeterminowana również ilością docierającego do nich promieniowania słonecznego.



Rys. 8. Mapy klimatu Polski (z wyróżnionym obszarem województwa śląskiego): usłonecznienie z wielolecia 1971-2000 i anomalia usłonecznienia w 2015 r., na podstawie [10]

Fig. 8. Climate maps of Poland (with the highlighted area of the Silesia voivodeship): sun hours from 1971-2000 and anomaly in 2015, based on [10]

W celu zwiększania uzysku ciepła lub energii elektrycznej w układach coraz częściej wybierane są już przez projektantów oraz inwestorów bardziej zaawansowane technologicznie rozwiązania. Zastosowanie np. cieczowych kolektorów rurowo-próżniowych pozwala w większym stopniu wykorzystać zakres dostępnego promieniowania słonecznego, rozszerzony o możliwość pozyskiwania również promieniowania rozproszonego, w przeciwieństwie do kolektorów płaskich. Dodatkowo użycie w urządzeniach zwierciadła, tzw. CPC (Compound Parabolic Concentrator), odpowiednio wyprofilowanego dla każdej rurki, pozwala na zintensyfikowanie poboru promieniowania rozproszonego oraz odbitego, minimalizując wpływ zmian kąta padania promieni słonecznych, gdy kolektor posadowiony jest na stałe, nie mając możliwości nadążania za pozornym ruchem Słońca w ciągu dnia [14].

4. Czynniki ograniczające promieniowanie słoneczne

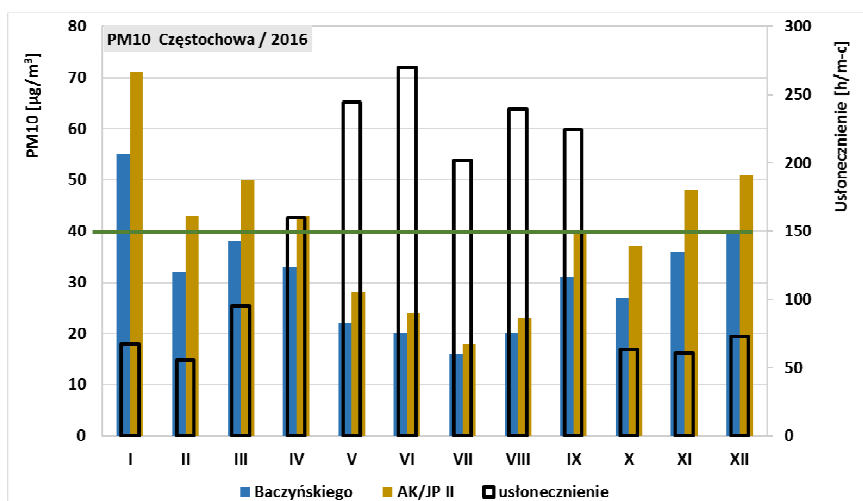
Pomimo dokładnego określania wzorcowego potencjału energii promieniowania słonecznego dla konkretnych lokalizacji, nawet najlepszej klasy urządzenia mogą nie spełniać poprawnie swej roli. Zasoby energii słonecznej zależą od ukształtowania terenu, miejscowego mikroklimatu, ale także w dużym stopniu od jakości powietrza atmosferycznego. Obszar województwa śląskiego, o dużym zaludnieniu, na którym prowadzona jest intensywna działalność przemysłowa, charakteryzuje się specyficznymi warunkami klimatu oraz zanieczyszczeniami powietrza wywołującymi zaburzenia bilansu promieniowania słonecznego. Jakość powietrza także zależy od oddziaływania na siebie warunków meteorologicznych i lokalnych zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery. Wzajemne relacje pomiędzy tymi czynnikami

przekładają się w znacznym stopniu na dostępność promieniowania słonecznego, a co za tym idzie - również na możliwość efektywnego pozyskiwania energii ze Słońca.

Na obniżenie przezroczystości atmosfery wpływają pyły zawieszone, które stanowią drobne zanieczyszczenia o różnych właściwościach, posiadają one zróżnicowany skład oraz gęstość i często są przenoszone na duże odległości od źródeł ich powstawania. Węgiel, który może występować w powietrzu w postaci sadzy, pochłania promieniowanie słoneczne w znacznym zakresie długości fal, natomiast pyły, lotne frakcje popiołów, jako jasne cząstki z zawartością np.: siarki oraz azotu, odbijają promieniowanie słoneczne [15]. Zatem pyły w powietrzu oddziałują bezpośrednio na promieniowanie słoneczne poprzez jego rozpraszanie i absorbowanie, jak również dodatkowo działają pośrednio, wpływając na powstawanie i rozbudowywanie chmur, stanowiących barierę dla promieniowania bezpośredniego. Chmury powstałe w zanieczyszczonym powietrzu odbijają znacznie więcej promieniowania słonecznego, a także mogą pochłaniać promieniowanie słoneczne [1, 15]. Zmienność stężeń pyłów zawieszonych wynika z wielu złożonych procesów fizycznych i chemicznych, przebiegających pod wpływem czynników meteorologicznych, w tym promieniowania słonecznego. Dochodzi więc tu do specyficznego, dwustronnego i wzajemnego oddziaływania pomiędzy zanieczyszczeniami a promieniowaniem słonecznym. Lokalne zanieczyszczenia powietrza pochodzące z procesów produkcyjnych, transportu, indywidualnych palenisk itp. mogą powodować osłabienie promieniowania słonecznego rzędu 20%, a w okresie zimowym nawet 50% [1].

Zintensyfikowane obecnie problemy związane z przekraczaniem standardów jakości powietrza dotyczą głównie wyodrębnionych frakcji pyłów zawieszonych PM₁₀ oraz PM_{2,5}. Parametry te w województwie śląskim są dominujące w kraju i cechują się najwyższą liczbą przekroczeń wartości dopuszczalnych [13, 15]. Dotyczy to, niestety, całego analizowanego regionu i największej liczby ludności narażonej na ponadnormatywne stężenia zanieczyszczeń podczas tzw. epizodów lokalnych. Stąd niezmiernie ważne jest wpływanie na jakość powietrza poprzez ograniczanie emisji zanieczyszczeń przemysłowych i redukcję stężeń pyłów zawieszonych. Głównymi źródłami emisji zanieczyszczeń do atmosfery w województwie śląskim jest emisja powierzchniowa, tzw. niska emisja, której udział np. w 2016 r. wg raportu IOS [13] wyniósł 59% dla PM₁₀ oraz 68% dla PM_{2,5}. Nie bez znaczenia jest również emisja napływowa, pochodząca spoza województwa, ze strefy ok. 50 km wokół granicy województwa, określona na 47% [13, 15].

Na przykładzie Częstochowy i roku 2016 przedstawiono na rysunku 9 relacje usłonecznienia, ustalonego na podstawie danych pozyskanych z [12], w odniesieniu do wartości PM₁₀, mierzonych lokalnie przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska [16] w dwu stacjach pomiarowych: stacja tła - ul. Baczyńskiego oraz stacja komunikacyjna - al. AK/Jana Pawła II. Wyraźne jest zróżnicowanie wskaźników emisji pyłu zawieszonego PM₁₀ pochodzącego z różnych źródeł, wzmożonego natężenia ruchu w transporcie miejskim, działalności przemysłowej czy w czasie sezonu grzewczego.



Rys. 9. Zależność usłonecznienia oraz wartości PM10, wyznaczona na podstawie [12, 16]

Fig. 9. Relationship of sun hours and PM10 values, based on [12, 16]

Zauważalne są znaczne przekroczenia dopuszczalnej wartości $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, głównie w okresie tzw. półrocza zimowego. Zawartość PM10 w atmosferze oddziałuje też niekorzystnie na stopień usłonecznienia w danej lokalizacji. Zwiększone występowanie zanieczyszczeń wprowadzanych do atmosfery wpływa też na miejscowe zmiany mikroklimatu. Relacje pomiędzy tymi czynnikami przekładają się na dostępność promieniowania słonecznego w danym rejonie, a następnie na możliwość efektywnego pozyskiwania energii ze Słońca.

Podsumowanie

Zaspokajanie wzrastającego zapotrzebowania na energię, obejmujące wszelkiego rodzaju sfery życia i działalności ludzkiej, nie pozostaje bez wpływu na środowisko. Niejednokrotnie jest to oddziaływanie negatywne i powodujące trwałe w nim zmiany. Wdrażanie więc coraz szerzej odnawialnych źródeł energii, a wśród nich głównie wykorzystanie energii promieniowania słonecznego, jako potencjalnego źródła ciepła oraz energii elektrycznej, jest jednym z priorytetów rozwoju także województwa śląskiego. Stąd też dokładne określanie potencjału energii promieniowania słonecznego dostępnego dla konkretnego regionu jest niezmiernie istotne ze względu na racjonalne gospodarowanie ciepłem lub energią elektryczną w istniejących lub planowanych instalacjach słonecznych.

Uwarunkowania słoneczne w województwie śląskim opisywane przez podstawowe parametry promieniowania słonecznego są charakterystyczne dla właściwości klimatu w tym rejonie. Analizując wnikliwiej rozkłady dziennych, miesięcznych oraz rocznych sum promieniowania słonecznego, jak też wartości usłonecznienia, dla całego obszaru województwa śląskiego oraz dla wybranych miejscowości

w subregionach, można stwierdzić, że panują tu zadowalające warunki słoneczne, stwarzające możliwość efektywnego pozyskiwania energii z tego odnawialnego źródła. Jednak określenie uprzywilejowanej lokalizacji z dominującymi wartościami nasłonecznienia w całym obszarze nie jest jednoznaczne ze względu na ich zmienność w poszczególnych przedziałach roku, lecz w wielu miesiącach wartości przewyższające średnią zauważalne są dla Raciborza, w subregionie zachodnim województwa śląskiego.

Przy dokładnym określaniu miejscowego potencjału energii promieniowania słonecznego należy brać pod uwagę oczywisty brak powtarzalności oraz nieregularności spowodowane zmiennymi warunkami klimatycznymi i meteorologicznymi, ale również znaczny wpływ zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery bądź napływających z przyległych terenów. Anomalie pogodowe czy epizody lokalne oddziałujące na stan jakości powietrza mogą w znacznym stopniu zakłócić dostępność promieniowania słonecznego i zniekształcić miejscowe uwarunkowania słoneczne.

Stąd niezmiernie ważna jest poprawa jakości powietrza atmosferycznego jako elementu środowiska naturalnego, a jego ochrona równocześnie skutkować może wzrostem dostępności potencjału energii promieniowania słonecznego lokalnie, jak też w całym regionie. Pozwoli to na zwiększenie możliwości realizacji przykładowo układów małej mocy z ogniwami fotowoltaicznymi do pozyskiwania energii elektrycznej lub też instalacji z kolektorami słonecznymi dla przygotowania ciepłej wody użytkowej czy wspomagania centralnego ogrzewania. Z uwagi jednak na znaczny często udział promieniowania rozproszonego w całkowitym promieniowaniu słonecznym, powodowany specyficznymi cechami jakości powietrza czy zachmurzeniem, zastosowanie powinny mieć zwłaszcza kolektory rurowo-próżniowe pozwalające pozyskiwać także ten rodzaj promieniowania słonecznego.

Realizacja w województwie śląskim wdrażania odnawialnych źródeł energii oraz gospodarka niskoemisyjna mogą w znacznym stopniu przyczynić się do polepszania jakości powietrza atmosferycznego, a tym samym wpłynąć na poprawę dostępności promieniowania słonecznego.

Podziękowania

Materiał został przygotowany w ramach badań statutowych Politechniki Częstochowskiej BS/PB-407-302/11.

Literatura

- [1] Wołoszyn E., Meteorologia i klimatologia w zarysie, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2009.
- [2] Matuszko D., O terminologii dotyczącej promieniowania słonecznego, Polska Energetyka Słoneczna 2010, 2-4, 27-30.
- [3] GUS, Główny Urząd Statystyczny, <http://www.stat.gov.pl> (19.03.2017).

- [4] Romańczyk M., Bula R., Wrońska A., Wieland Z., Parusel J., Sokół K., Miszt A., Beuch S., Opracowanie ekofizjograficzne do Planu Zagospodarowania Przestrzennego Województwa Śląskiego 2020+, Katowice 2015, <http://www.slaskie.pl/planzagospodarowania/files/zalaczniki/2016/09/26/1474878101/1474889814.pdf> (19.03.2017).
- [5] Atlas Rzeczypospolitej Polskiej, cz. 2. Mapa 31.2. Promieniowanie, temperatura powietrza, Główny Geodeta Kraju, Warszawa 1994.
- [6] Bujakowski W., Barbacki A., Grzybek A., Hołojuch G., Pająk L., Skoczek A., Skrzypczak M., Skrzypczak S., cz. II: Program wykorzystania odnawialnych źródeł energii na terenach nieprzemysłowych województwa śląskiego, PAN Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Kraków - Katowice 2005, http://www.slaskie.pl/oze/oze_2.pdf (19.03.2017).
- [7] Plan Zagospodarowania Przestrzennego Województwa Śląskiego 2020+, <http://www.slaskie.pl/planzagospodarowania/> (19.03.2017).
- [8] MIB, Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski, Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa, http://mib.gov.pl/2-Wskazniki_emisji_wartosci_opalo_we_paliwa.htm (19.03.2017).
- [9] Narowski P., Obliczenia energetyczne budynków - Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski, Rynek Instalacyjny 2008, 10, 52-57.
- [10] IMGW-PIB, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy, <http://www.imgw.pl/klimat/#> (19.03.2017).
- [11] PVGIS, Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps / Joint Research Centre (JRC) EU Science Hub, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> (19.03.2017).
- [12] WO, WeatherOnline Ltd. - Meteorological Services, <http://www.weatheronline.pl/weather/maps/city> (19.03.2017).
- [13] IOŚ, Inspekcja Ochrony Środowiska, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach, Stan środowiska w województwie śląskim w 2016 roku, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Katowice 2017.
- [14] Rudniak J., Lokalne zasoby energii promieniowania słonecznego a eksploatacja kolektorów, Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 2016, 47, 7, 270-276.
- [15] Juda-Rezler K., Toczko B. (red.), Pyły drobne w atmosferze, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2016.
- [16] WIOŚ, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach, System monitoringu jakości powietrza, <http://powietrze.katowice.wios.gov.pl/> (19.03.2017).

Czestochowa University of Technology, Faculty of Infrastructure and Environment
Institute of Environmental Engineering
ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa
e-mail: joa@is.pcz.czest.pl

Streszczenie

Racjonalne gospodarowanie energią, respektujące ochronę środowiska naturalnego, powinno uwzględniać także właściwe określanie zasobów różnych źródeł, w tym szczególnie odnawialnych źródeł energii. W artykule przedstawiono analizę struktury zasobów promieniowania słonecznego w województwie śląskim dla kilku wybranych lokalizacji, w tym Częstochowy, z uwzględnieniem danych z typowych lat meteorologicznych, statystycznych danych klimatycznych i in. Przeanalizowano wartości parametrów charakteryzujących potencjalne uzyski energii promieniowania słonecznego dla różnego usytuowania urządzeń, jak również wpływ czynników miejscowych na zasób energii możliwej lokalnie do pozyskania. Oceniając rozkłady sum natężenia promieniowania słonecznego oraz wartości usłonecznienia dla regionu województwa śląskiego w wybranych miejscowościach, stwierdzono, że panujące tu warunki słoneczne są zadowalające z punktu widzenia możliwości ich zagospodarowania.

Jednak, nawet przy bardzo dokładnym określeniu miejscowego potencjału energii promieniowania słonecznego, należy brać pod uwagę jego dużą nieregularność oraz brak powtarzalności, spowodowane warunkami meteorologicznymi, klimatycznymi, jak również zanieczyszczeniami lokalnie emitowanymi do atmosfery bądź napływającymi z przyległych terenów. Właściwa ocena potencjału energii promieniowania słonecznego dla określonych lokalizacji stanowi istotny czynnik warunkujący ewentualny rozwój energetyki słonecznej w województwie śląskim. Niezmiernie ważna poprawa jakości powietrza atmosferycznego, jako elementu środowiska naturalnego, oraz jego ochrona skutkować może równocześnie wzrostem dostępności potencjału energii promieniowania słonecznego lokalnie, jak też w całym regionie. Pozwolić to może na zintensyfikowanie realizacji np. układów małej mocy z ogniwami fotowoltaicznymi lub też instalacji z kolektorami słonecznymi.

Słowa kluczowe: promieniowanie słoneczne, potencjał energii słonecznej, natężenie promieniowania słonecznego, nasłonecznienie, usłonecznienie, województwo śląskie