

WARUNKI SOLARNE KRAKOWA I MOŻLIWOŚCI ICH WYKORZYSTANIA W HELIOENERGETYCE

Dorota Matuszko, Daniel Celiński-Mysław
Uniwersytet Jagielloński

Streszczenie: W opracowaniu przedstawiono usłonecznienie i nasłonecznienie Krakowa pod kątem przydatności warunków solarnych miasta do helioenergetyki. Wykorzystano wyniki pomiarów wykonywanych na stacji naukowej Zakładu Klimatologii Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Ze względu na astronomiczne i klimatyczne warunki Kraków charakteryzuje się zmiennością w dopływie promieniowania słonecznego w ciągu roku i doby oraz dużym udziałem promieniowania rozproszonego. Konieczne są dalsze badania i wprowadzenie w Polsce rządowego programu wspierającego wykorzystanie energii słonecznej.

Słowa kluczowe: promieniowanie słoneczne, usłonecznienie, nasłonecznienie, energia słoneczna, Kraków

WSTĘP

Wyczerpywanie się naturalnych zasobów energetycznych oraz świadomość konieczności działania na rzecz poprawy jakości powietrza i ograniczenia zmian klimatu powodują coraz większe zainteresowanie alternatywnymi źródłami energii. Słońce to podstawowe, niewyczerpalne i czyste źródło energii odnawialnej.

Jednym z podstawowych zagadnień związanych z wykorzystaniem energii słonecznej jest właściwe oszacowanie jej zasobów potencjalnych i rzeczywistych do potrzeb technologii przetwarzania energii słonecznej w energię użytkową. W tym aspekcie najważniejszymi charakterystykami klimatu są czas trwania dopływu bezpośredniego promieniowania słonecznego (usłonecznienie) oraz ilość energii promieniowania całkowitego dopływającego na dowolnie nachyloną powierzchnię (nasłonecznienie).

Celem niniejszego opracowania jest określenie rzeczywistych zasobów energii słonecznej, która dociera do powierzchni Ziemi w Krakowie.

Adres do korespondencji – Corresponding author: e-mail: dr hab. Dorota Matuszko, mgr Daniel Celiński-Mysław, Zakład Klimatologii Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków, e-mail: d.matuszko@uj.edu.pl.

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2016

MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE I METODY

W opracowaniu wykorzystano dane źródłowe pochodzące z obserwacji klimatologicznych wykonywanych na stacji naukowej Zakładu Klimatologii Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie (dawniej Obserwatorium Astronomiczne UJ). Stacja Zakładu Klimatologii znajduje się przy ul. Kopernika 27 na terenie Ogrodu Botanicznego ($\phi = 50^{\circ}04$ N, $\lambda = 19^{\circ}58$ E), na wysokości 206 m n.p.m. Wyniki pomiarów usłonecznienia z lat 1884–2014 pochodzą z heliografu typu Campbell–Stokesa, umieszczonego na dachu budynku Collegium Śniadeckiego (18 m n.p. gruntu) i wyrażone są w godzinach. Pomiar natężenia promieniowania wykonywano czujnikiem automatycznym Kipp&Zonen CM5 w latach 2004–2014 (zainstalowanym także na dachu budynku Collegium Śniadeckiego). Na podstawie godzinnych wartości usłonecznienia z każdego dnia oraz codziennych, dziesięciominutowych wyników pomiarów natężenia promieniowania całkowitego obliczono sumy promieniowania całkowitego otrzymywanego z 1 m² powierzchni w ciągu 1 godziny ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$), w każdym dniu okresu 1884–2014. Odpowiednie algorytmy do obliczania względnego natężenia i sum godzinnych promieniowania całkowitego są szczegółowo opisane w monografii Matuszko [2009].

We wcześniejszej pracy na temat promieniowania słonecznego w Krakowie [Wojkowski 2007] do obliczania sum promieniowania całkowitego zastosowano wzór Blacka, w którym wykorzystuje się sumy miesięczne. W niniejszej pracy użyto dokładniejszej metody uwzględniającej wartości godzinne, wykorzystując funkcję, w skład której wchodzi współczynnik transmisji (względne średnie godzinowe natężenie promieniowania), w zależności od usłonecznienia ($R/R_s(U)$), gdzie R jest zmierzoną średnią wartością godzinową promieniowania całkowitego ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$), a R_s jest natężeniem promieniowania krótkofalowego na górnej granicy atmosfery dla danego dnia d i godziny t [Duffie i Beckman 1994]. Zastosowanie względnego natężenia promieniowania całkowitego (transmisji globalnej) pozwala wyeliminować zmienność natężenia promieniowania całkowitego wywołaną zmianami wysokości Słońca nad horyzontem, sezonowością promieniowania i rytmem dobowym [Matuszko 2014].

Analiza przestrzenna zróżnicowania ilości energii słonecznej docierającej do powierzchni ziemi na terenie Krakowa została wykonana na podstawie numerycznego modelu terenu przy wykorzystaniu narzędzi Geograficznych Systemów Informacyjnych [Wojkowski 2007]. Opis metody modelowania dopływu promieniowania słonecznego w Krakowie oraz mapy rocznej i dobowej sumy promieniowania całkowitego w dniach przesilenia zimowego i letniego, a także mapa rocznej sumy usłonecznienia możliwego [Wojkowski 2007], znajdują się w monografii *Klimat Krakowa w XX wieku* [Matuszko (red.) 2007].

UWARUNKOWANIA DOPIŁYWU ENERGII SŁONECZNEJ DO POWIERZCHNI ZIEMI W KRAKOWIE

Wielkość strumienia energii słonecznej docierającej do danego miejsca na powierzchni Ziemi zależy od czynników ogólnych astronomicznych, geograficznych i cyrkulacyjnych, a także lokalnych, tj. meteorologicznych, zasłonięcia horyzontu, wysokości, nachylenia, ekspozycji, zacielenia, zanieczyszczenia powietrza [Matuszko 2009].

Kraków leży na $50^{\circ}04'$ szerokości geograficznej N, co powoduje, że najkrótszy dzień w roku (21/22 grudnia) trwa 8 godzin i 3 minuty, a najdłuższy (20/21 czerwca) ponad dwa razy dłużej – 16 godzin i 24 minuty. W Krakowie dni trwają mniej niż 10 godzin w grudniu, styczniu i listopadzie, a ich długość przekracza 15 godzin w maju, czerwcu i lipcu (tab. 1). Wysokość Słońca w najkrótszym dniu w prawdziwej południe słoneczne (moment górowania Słońca na danym południku) wynosi $16,67^{\circ}$, a w najdłuższym $63,36^{\circ}$ [Matuszko 2009]. Zatem liczba mas optycznych atmosfery w południe waha się odpowiednio od 3,5 do 1,1. Słońce jest powyżej 60° nad horyzontem od 21 maja do 23 lipca, a poniżej 20° od 22 listopada do 20 stycznia (tab. 2). W Krakowie Słońce góruje na wysokości przekraczającej 40° nad horyzontem w więcej niż połowie dni w roku.

Najważniejszymi czynnikami meteorologicznymi kształtującymi dopływ energii słonecznej docierającej do powierzchni Ziemi w postaci promieniowania całkowitego są wielkość zachmurzenia, rodzaje chmur oraz ich rozmieszczenie względem tarczy słonecznej.

Tabela 1. Czynniki astronomiczne dopływu promieniowania słonecznego w Krakowie (dane na 2008, dla dnia 15 każdego miesiąca czasu urzędowego – obliczenia wg NOAA Sunrise/Sunset Calculator (<http://www.srb.noaa.gov/highlights/sunrise/sunrise.html>))

Table 1. Astronomical factors and their influence on the influx of solar radiation in Krakow (data as of 2008, for the 15th of each month, official time – calculations according to NOAA Sunrise/Sunset Calculator (<http://www.srb.noaa.gov/highlights/sunrise/sunrise.html>))

Miesiąc Month	Godzina wschodu Słońca Sunrise time	Godzina zachodu Słońca Sunset time	Długość dnia, godz., min Day length h, min	Wysokość Słońca, h° w prawdziwej południe Height of the Sun, h° , at actual solar noon
I	7,34	16,06	8,32	18,76
II	6,52	16,57	10,05	27,13
III	5,54	17,46	11,52	38,04
IV	5,47	19,35	13,48	49,91
V	4,54	20,20	15,26	58,93
VI	4,30	20,52	16,22	63,25
VII	4,48	20,44	15,56	61,35
VIII	5,30	19,58	14,28	53,78
IX	6,16	18,53	12,37	42,72
X	7,03	17,49	10,46	31,20
XI	6,54	15,56	9,02	21,32
XII	7,33	15,38	8,05	16,67

Tabela 2. Podział roku ze względu na wysokość Słońca, h° , w prawdziwe południe słoneczne dla szerokości geograficznej 50° Table 2. Division of the year by the height of the Sun, h° , at actual solar noon for latitude 50°

Wysokość Słońca, h° Height of the Sun, h°	Data początku Start date	Data końca End date	Liczba dni Number of days
$h < 20,0$	1.01	20.01	20
	22.11	31.12	40
20,1–30,0	21.01	22.02	33
	19.10	21.11	34
30,1–40,0	23.02	20.03	26
	23.09	18.10	26
40,1–50,0	21.03	15.04	26
	28.08	22.09	26
50,1–60,0	16.04	20.05	35
	24.07	27.08	35
$h > 60,0$	21.05	23.07	64

W Krakowie średnie roczne zachmurzenie wynosi 68%. Jest to wartość podobna do wieloletniego średniego zachmurzenia na terenie Polski [Żmudzka 2007] i krajów sąsiednich, położonych na tej samej szerokości geograficznej. W ciągu roku największe zachmurzenie występuje w grudniu (79,6%), najmniejsze (58,2%) w sierpniu. Dominujący udział w zachmurzeniu Krakowa mają chmury *Stratocumulus* (17%) i *Alto cumulus* (15%). Najrzadziej (po 3%) pojawiają się chmury *Cumulonimbus* i *Cirrocumulus* [Matuszko 2009]. W ziemie niedobory promieniowania słonecznego związane z czynnikami astronomicznymi są nasilone z powodu występowania o tej porze roku dużego zachmurzenia, przeważnie warstwowego (*Stratus*, *Altostratus*). Podczas pogody pochmurnej udział promieniowania rozproszonego w bilansie radiacyjnym znacząco wzrasta, gdyż stanowi całą krótkofalową energię, jaka dociera do powierzchni Ziemi. W lecie wynosi około 50% promieniowania całkowitego, natomiast w zimie wzrasta do 70% [Olecki 1975].

Czynniki astronomiczne powodują cykliczną zmienność dopływu promieniowania słonecznego w ciągu roku oraz w ciągu dnia. Nakładają się na nie warunki meteorologiczne (zachmurzenie) powodujące duży udział promieniowania rozproszonego.

USŁONECZNIENIE

Średnia roczna suma usłonecznienia w Krakowie na podstawie danych z lat 1884–2014 wynosi 1555,3 godziny. Ze względów astronomicznych największe usłonecznienie występuje w lipcu (221,5 godziny), a najmniejsze (37,5) w grudniu (tab. 3).

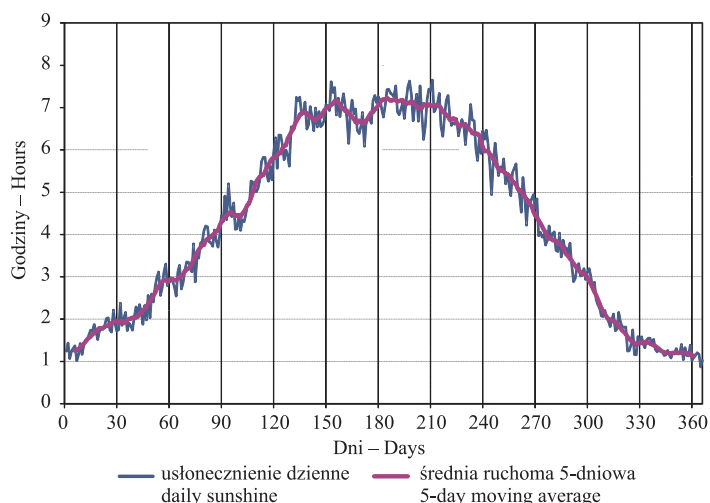
Kształt krzywej przebiegu rocznego usłonecznienia (ryc. 1), mimo dużej zmienności z dnia na dzień, nawiązuje do rocznego przebiegu kulminacji Słońca nad horyzontem i długości dnia w Krakowie [Matuszko 2009]. Fakt ten świadczy o decydującej roli czynników astronomicznych w kształtowaniu wielkości usłonecznienia. Z tego oczywistego względu najwięcej godzin ze Słońcem jest w ciągu najdłuższych dni w roku, czyli od maja do końca lipca. Za przyczynę meteorologiczną można uznać niewielki spadek usło-

necznienia, notowany w połowie czerwca (ryc. 1), i to nie tylko w Krakowie, ale też we Wrocławiu, Szczecinie, Suwałkach, Łodzi i Przemyśle [Degirmendzić 2004]. Wraz ze zmniejszaniem się długości dnia usłonecznienie spada do najniższych wartości w grudniu, choć już w listopadzie Słońce świeci średnio niewiele więcej niż godzinę na dzień. Od stycznia usłonecznienie stopniowo wzrasta z niewielkimi wahaniami w połowie kwietnia i maja. Według Koźmińskiego i Michalskiej [2005] w całej Polsce, w rozkładzie rocznym występuje charakterystyczne spłaszczenie przebiegu krzywej średniego dziennego usłonecznienia w okresie letnim, począwszy od trzeciej dekady maja do drugiej dekady sierpnia, z wyraźnym zmniejszeniem usłonecznienia w drugiej dekadzie czerwca i lipca (ryc. 1). W Krakowie najlepsze warunki usłonecznienia panują przeciętnie w pierwszej dekadzie czerwca, pierwszej dekadzie lipca i na przełomie lipca i sierpnia, a najgorsze od drugiej dekady grudnia do pierwszej stycznia. Podczas najdłuższych dni w roku (maj–lipiec) Słońce świeci między godziną 4.00 a 21.00. W listopadzie, grudniu i styczniu liczba godzin ze Słońcem jest w ciągu dnia o połowę mniejsza. Maksymalne dzienne usłonecznienie rzeczywiste wynosi 15,3 godziny.

Tabela 3. Sumy miesięczne i roczna usłonecznienia rzeczywistego w godzinach w Krakowie (1884–2014)

Table 3. Mean monthly and annual totals of actual sunshine duration in hours in Krakow (1884–2014)

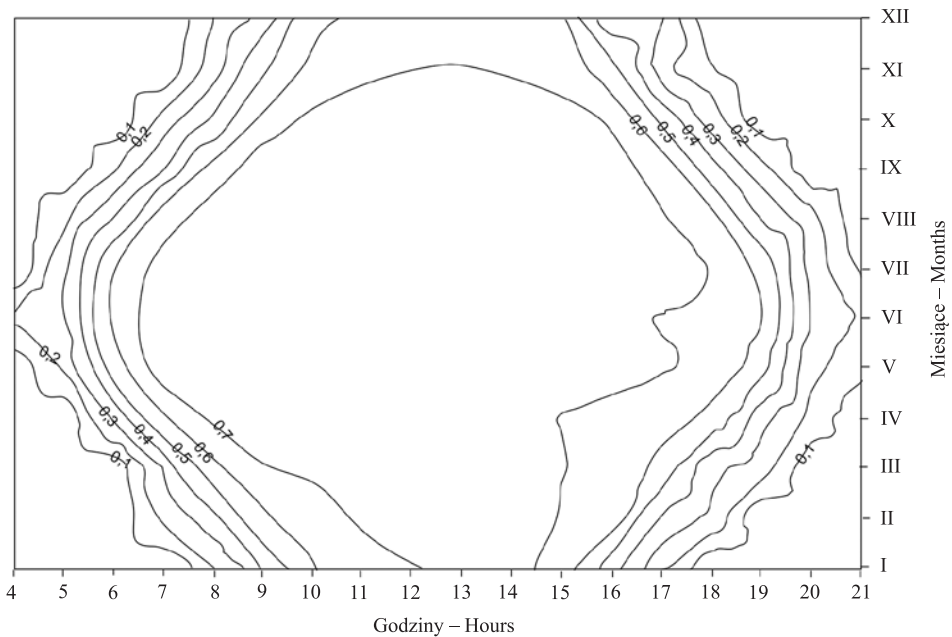
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok Year
47,9	64,8	108,4	150,9	203,7	207,0	221,5	203,8	151,6	105,9	52,0	37,5	1555,3



Ryc. 1. Przebieg roczny średniego dziennego usłonecznienia rzeczywistego w Krakowie (1884–2014) oraz średnia ruchoma 5-dniowa

Fig. 1. Annual course of mean daily actual sunshine duration in Krakow (1884–2014) and the five-day moving average

W Krakowie, w ciągu dnia najkorzystniejsze warunki usłonecznienia występują między godziną 12.00 a 14.00 (ryc. 2). Od kwietnia do września rozkład dzienny usłonecznienia jest wyraźnie modyfikowany przez rozwój zachmurzenia konwekcyjnego. Maksimum usłonecznienia przypada na godziny przedpołudniowe – po ustąpieniu mgły, a przed pojawieniem się konwekcji. W chłodnym półroczu poranne zamglenia zmniejszają liczbę godzin ze Słońcem przed południem i są przyczyną występowania dobowego maksimum krótko po południu. Największe zagęszczenie izoplet (ryc. 2) jest charakterystyczne dla godzin porannych i przedwieczornych – wynik występowania zamglenia oraz wpływu efektu kulisowego, związanego z chmurami o budowie pionowej [Kłysik 1974, Podstawczyńska 2007]. Wyraźnie widoczny jest spadek usłonecznienia w połowie czerwca między godziną 17.00 a 18.00 (ryc. 2), spowodowany większym zachmurzeniem i dłuższym czasem występowania konwekcji. Mimo że wiosna ma o ponad 160 godzin ze Słońcem więcej niż jesień, to godziny popołudniowe jesienią z powodu mniejszego zachmurzenia są bardziej słoneczne niż wiosną.



Ryc. 2. Izoplety średnich godzinnych wartości usłonecznienia rzeczywistego w przebiegu rocznym w Krakowie (1884–2014)

Fig. 2. Isoleths of the mean hourly values of actual sunshine duration in the annual course in Krakow (1884–2014)

NASŁONECZNIENIE

Wielkość strumienia energii słonecznej docierającej do powierzchni Ziemi w postaci promieniowania całkowitego zależy od: odległości Ziemi od Słońca, szerokości geograficznej i wysokości Słońca, właściwości optycznych atmosfery, charakteru samej

powierzchni oraz zachmurzenia. Promieniowanie całkowite to łączny strumień promieniowania krótkofalowego ($0,17\text{--}4,0\ \mu\text{m}$) otrzymywany przez płaszczyznę poziomą w postaci promieniowania bezpośredniego i rozproszonego.

W warunkach atmosfery bezchmurnej zarówno przebieg roczny, jak i dzienny wartości promieniowania całkowitego jest kształtowany głównie przez zmiany długości dnia i wysokości Słońca. Dlatego też w Krakowie najniższe wartości w ciągu roku występują w miesiącach zimowych (ok. $300\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ w grudniu), maksymalne natomiast przypadają na lato ($800\text{--}850\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$). Już w maju w godzinach południowych natężenie promieniowania całkowitego przekracza $800\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, a w czerwcu osiąga wartości najwyższe, ok. $870\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ [Matuszko 2014]. W ciągu dnia promieniowanie rośnie od momentu wschodu Słońca do maksimum w południe, a następnie zmniejsza się do momentu zachodu, przy czym przebieg dzienny jest mniej więcej symetryczny względem południa, jedynie w grudniu staje się asymetryczny na korzyść godzin przedpołudniowych. Ze względu na większą przezroczystość powietrza godziny przedpołudniowe wykazują wyższe natężenie promieniowania niż popołudniowe [Olecki 1975].

Zachmurzenie w dwojaki sposób wpływa na natężenie promieniowania słonecznego. Chmury zazwyczaj osłabiają promieniowanie, ale w pewnych warunkach pogodowych także je zwiększają. Różnice natężenia promieniowania przy niebie bezchmurnym i z chmurą *Nimbostratus* dochodzą do $700\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, a z chmurą *Cumulonimbus* – $800\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, także chmury *Stratocumulus* wykazują bardzo duży zakres wahań (ponad $400\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) osłabienia natężenia promieniowania całkowitego [Matuszko 2009]. Chwilowe podwyższenie wartości promieniowania całkowitego w stosunku do warunków bezchmurnego nieba jest możliwe dla chmur o budowie pionowej oraz *Cirrus*. Sytuacja taka występuje w warunkach wysokiej przezroczystości atmosfery, gdy tarcza słoneczna nie jest pokryta chmurami i wiązka promieniowania bezpośredniego dociera bez przeszkód do powierzchni Ziemi, a dodatkowo od chmur znajdujących się w strefie okołosłonecznej dochodzi promieniowanie rozproszone.

Tabela 4. Sumy miesięczne i roczna promieniowania całkowitego, $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, w Krakowie
Table 4. Monthly and annual global solar radiation, $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, in Krakow

Lata Years	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok Year
1884–2014	91,7	142,5	269,4	395,7	530,1	555,9	565,8	483,6	328,9	198,2	99,4	72,2	3733,2
1961–1995	89,1	138,7	257,2	384,2	514,6	547,8	560,1	475,7	314,5	197,8	98,9	70,9	3649,6
2004–2014	90,9	129,4	262,2	429,6	528,9	558,4	596,7	478,9	341,3	198,5	100,3	72,7	3787,7

W tabeli podano sumy promieniowania dla całej serii (1884–2014), w celu porównania z danymi dla Polski (1961–1995) zawartymi w pracy Bogdańskiej i Podogrockiego [2000] oraz dane z ostatnich lat (2004–2014).

Kraków w ciągu roku otrzymuje ponad $3700\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ energii (tab. 4). Średnio w Polsce sumy roczne promieniowania całkowitego wahają się od $3528\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ w Suwałkach do 3839 na Kasprowym Wierchu [Bogdańska i Podogrocki 2000]. W Krakowie najniższe sumy miesięczne występują w grudniu i w styczniu, później rosną do miesięcy letnich, z maksimum w lipcu, a następnie stopniowo maleją aż do grudnia (tab. 4). Wartość ener-

gii słonecznej dopływającej do podłoża w grudniu stanowi mniej niż 2% sumy rocznej. Na okres od listopada do lutego przypada tylko 10% tej sumy, podczas gdy od maja do sierpnia blisko 58% sumy rocznej. Najwięcej energii słonecznej dopływa do powierzchni Ziemi w lipcu (15,2%), w czerwcu (14,9%) i w maju (14,2%).

Urozmaicona rzeźba obszaru miasta powoduje duże zróżnicowanie ilości energii słonecznej docierającej do powierzchni Ziemi. W Krakowie do miejsc najmniej nasłonecznionych należą: północne stoki zrębu Sowińca poprzecinane licznymi wąwozami, północne zbocza góry Grodzisko koło Tyńca, północne zbocza wzniesień w obrębie Bielańsko-Tynieckiego Parku Krajobrazowego, północne stoki zrębu Krzemionek i Wzgórza Lasoty, północne i północno-zachodnie stoki Pogórza Wielickiego w okolicach Zbydniowic, Lasowic i Baryczy, zalesione stoki pomiędzy Kosocicami a Rząką, obszar Działu Krzeszowickiego pomiędzy osiedlem Na Stoku a Zesławicami oraz nisko położone dno doliny Sudołu pomiędzy Prądnikiem Czerwonym a Mistrzejowicami. Najwięcej energii dociera do miejsc charakteryzujących się małym zasłonięciem horyzontu, do których należą wierzchowiny oraz stoki położone powyżej 300 m n.p.m. o ekspozycji południowej, południowo-wschodniej oraz południowo-zachodniej. W lecie stoki południowe otrzymują średnio o 2% więcej energii promieniowania słonecznego niż tereny płaskie. Przy niskim położeniu Słońca (w zimie), różnice te sięgają już ponad 20%. Do obszarów najbardziej nasłonecznionych na terenie Krakowa zaliczyć można południowe stoki zrębu Sowińca od Bielan poprzez Przegorzały do Zwierzynca, południowe zbocza Działu Pasternika pomiędzy Rząką, Mydlnikami i Bronowicami Małymi, południowe stoki Działu Witkowickiego w Witkowicach oraz w Górcie Narodowej, południowe i południowo-zachodnie stoki Działu Mistrzejowickiego i Krzesławickiego, południowe i południowo-wschodnie zbocza Łucznanowic, południowe stoki Pagóra Łągiwnickiego pomiędzy Wolą Duchacką, Nowym Kurdwanowem i Piaskami Wielkimi, południowe zbocza wzniesień Pogórza Wielickiego od Lusiny poprzez Wróblowice, Swoszowice, Rajsko do Sobonowic, południowo-zachodnie stoki Pagóra Kobierzyńskiego i Skotnickiego, południowe zbocza Libertowa Górnego oraz zalesione wzniesienia w obrębie Bielańsko-Tynieckiego Parku Krajobrazowego [Wojkowski 2007].

PODSUMOWANIE

Głównymi wyznacznikami cech solarnych klimatu Krakowa są:

- zmienność roczna i dobowa dopływu promieniowania słonecznego,
- duży udział promieniowania rozproszonego z powodu dużego zachmurzenia.

W zimie ze względów astronomicznych, a także z powodu dużego zachmurzenia warstwowego, dopływ energii słonecznej w Krakowie jest mały. W związku z tym konieczne są badania mające na celu znalezienie skutecznego sposobu magazynowania nadwyżek energii z miesięcy letnich.

Warunki solarne Krakowa pozwalają na rozwój helioenergetyki, gdyż są zbliżone do warunków północnej Francji i Niemiec [Bański i Błażejczyk 2005], gdzie z powodzeniem wykorzystuje się promieniowanie słoneczne w energetyce. Niestety, w Polsce jak dotąd nie wprowadzono żadnego rządowego programu wspierającego wykorzystanie energii słonecznej.

PIŚMIENNICTWO

- Bański, J., Błażejczyk, K. (2005). Globalne zmiany klimatu i ich wpływ na światowe rolnictwo. [W:] Wpływ procesu globalizacji na rozwój rolnictwa na świecie. Red. G. Dybowski. Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, 204–231.
- Bogdańska B., Podogrocki J. (2000). Zmienność całkowitego promieniowania słonecznego na obszarze Polski w okresie 1961–1995. *Mat. Badawcze. Meteorologia*, 30. IMGW, Warszawa.
- Degirmendzić J. (2004). Zmiany usłonecznienia w Polsce i ich uwarunkowania cyrkulacyjne. [W:] Skala, uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce. Red. K. Kożuchowski. Łódź, 9–23.
- Duffie, A., Beckman, W.A. (1994). *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2nd Edn. John Wiley, New York.
- Kłysik, K. (1974). Cechy dobowego i rocznego przebiegu usłonecznienia w Łodzi. *Zesz. Nauk. UŁ, Nauki Matematyczno-Przyrodnicze, Seria II*, 63, 23–32.
- Koźmiński, Cz., Michalska, B. (2005). Usłonecznienie w Polsce – Sunshine in Poland. *Akademia Rolnicza w Szczecinie – Uniwersytet Szczeciński, Szczecin*.
- Matuszko, D. (red.) (2007). *Klimat Krakowa w XX wieku*. IG i GP UJ, Kraków.
- Matuszko, D. (2009). Wpływ zachmurzenia na usłonecznienie i całkowite promieniowanie słoneczne (na przykładzie krakowskiej serii pomiarów). *Wydawnictwo UJ, Kraków*.
- Matuszko, D. (2014). Long-term variability in solar radiation in Krakow based on measurements of sunshine duration, *Int. J. Climatol.*, 34, 228–234.
- NOAA ESRL Sunrise/Sunset Calculator, www.srrb.noaa.gov/highlights/sunrise/sunrise.html (17.05.2016).
- Olecki, Z. (1975). Oddziaływanie dużego ośrodka miejsko-przemysłowego na dopływ promieniowania słonecznego (na przykładzie Krakowa). *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, 41, 37–86.
- Podstawczyńska, A. (2007). Cechy solarne klimatu Łodzi. *Acta Geographica Lodziensia, Folia Geographica Physica*, 7.
- Wojkowski, J. (2007). Promieniowanie słoneczne. [W:] *Klimat Krakowa w XX wieku*. Red. D. Matuszko. IG i GP UJ, Kraków, 55–74.
- Żmudzka, E. (2007). Zmienność zachmurzenia nad Polską i jej uwarunkowania cyrkulacyjne. *Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa*.

SOLAR CONDITIONS IN KRAKOW AND THEIR POTENTIAL FOR HELIOENERGETICS

Abstract: The paper presents sunshine duration and solar radiation intensity in Krakow regarding their potential for helioenergetics. The data used come from the research station of the Department of Climatology, Institute of Geography and Spatial Management, Jagiellonian University, Krakow. Due to astronomic and climatic conditions, Krakow is characterised by the daily and annual variability of solar radiation intensity and large share of the diffuse radiation. The solar conditions in Krakow allow the use of solar energy by using solar collectors absorbing the direct and diffuse radiation. Further research along with the introduction of the government program to encourage the use of solar energy is needed.

Key words: solar radiation, sunshine duration, insolation, solar energy, Krakow

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 7.03.2016

Do cytowań – For citation: Matuszko, D., Celiński-Mysław, D. (2016). Warunki solarne Krakowa i możliwości ich wykorzystania w helioenergetyce. *Acta. Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 15(1), 103–111.