

Włodzimierz Pomierny

## 1. PROMIENIOWANIE SŁONECZNE

### 1.1. Zależności ogólne

Dostępne dane meteorologiczne obejmują zwykle godzinowe sumy promieniowania rozproszonego i całkowitego na płaszczyznę poziomą, na podstawie których można obliczyć w prosty sposób średnie wartości promieniowania bezpośredniego (różnica pomiędzy promieniowaniem całkowitym a rozproszonym) i rozproszonego dla danego okresu godzinowego.

W razie niekompletności lub niedostępności niektórych danych meteorologicznych, w tym i promieniowania słonecznego, można oszacować je korzystając z odpowiednich metod modelowania warunków atmosferycznych. Wielkość promieniowania słonecznego można oszacować na podstawie takich czynników pogodowych, jak: długość dnia, liczba godzin słonecznych, zachmurzenie, wilgotność, zanieczyszczenie atmosfery i innych. Zagadnienie to wykracza jednak poza zakres niniejszego opracowania, w którym skupiono się na określeniu danych przede wszystkim promieniowania słonecznego wymaganych w różnych obliczeniach energetyki słonecznej, w szczególności w zagadnieniach modelowania procesów cieplnych w instalacjach ogrzewania słonecznego.

Wielkość strumienia całkowitego promieniowania słonecznego na nachyloną powierzchnię kolektora jest określana na podstawie danych strumienia promieniowania bezpośredniego i rozproszonego na płaszczyznę poziomą. Są to zazwyczaj godzinowe sumy promieniowania. Odpowiednie średnie wielkości - dla danego okresu godzinowego - otrzymuje się oczywiście przez podzielenie godzinowej sumy promieniowania przez czas.

Prezentowane poniżej zależności uwzględniają wielkości astronomiczne, położenie geograficzne i ustawienie kolektora względem Słońca.

Parametry astronomiczne, geograficzne i konstrukcyjne:

- $\phi$  - szerokość geograficzna danej miejscowości, stopnie,
- $P_s$  - długość geograficzna dla południka strefowego, stopnie,
- $P_m$  - długość geograficzna danej miejscowości, stopnie,
- $\gamma$  - kąt azymutalny płaszczyzny kolektora do poziomu, stopnie,
- $s$  - kąt nachylenia płaszczyzny kolektora do poziomu, stopnie,
- $id$  - numer kolejnego dnia w roku,
- $ig$  - numer kolejnej godziny w danym dniu,

- $i_s$  - numer kolejnej sekundy w danej godzinie,  
 $e$  - poprawka wynikająca z równania czasu, stała dla danego dnia, minuty.

W przypadku stosowania czasu letniego (zimowego) w danej miejscowości należy wprowadzić dodatkowe parametry:

- $d_p$  - pierwszy dzień obowiązywania czasu letniego,  
 $d_k$  - ostatni dzień obowiązywania czasu letniego,  
 $D$  - poprawka wynikająca ze zmiany czasu, godziny.

Dane meteorologiczne:

- $\dot{H}$  - całkowity strumień promieniowania słonecznego na nachyloną powierzchnię kolektora,  $\text{kW m}^{-2}$ ,  
 $\dot{H}_D$  - średni strumień promieniowania bezpośredniego w danej godzinie,  $\text{kW m}^{-2}$ ,  
 $\dot{H}_d$  - średni strumień promieniowania rozproszonego w danej godzinie,  $\text{kW m}^{-2}$ ,  
 $\rho$  - współczynnik refleksyjności otoczenia dla promieniowania słonecznego, bezwymiarowy.

Określenie kątów charakteryzujących położenie płaszczyzny kolektora względem Słońca:

- $\phi$  - szerokość geograficzna (dodatnia dla półkuli północnej),  
 $\delta$  - pochylenie - deklinacja, tj. kątowe położenie Słońca w południe w stosunku do płaszczyzny równika (dodatnie dla półkuli północnej), stałe dla danego dnia,  
 $s$  - kąt nachylenia płaszczyzny kolektora do poziomu,  
 $\gamma$  - kąt azymutalny płaszczyzny kolektora, tj. odchylenie normalnej do powierzchni kolektora od płaszczyzny miejscowego południka (początek odliczania - kierunek południowy, odchylenie na wschód - dodatnie, odchylenie na zachód - ujemne),  
 $\omega$  - kąt godzinowy, równy zeru w południe; każda godzina jest równa  $15^\circ$  długości geograficznej (przed południem - wartości dodatnie, po południu - wartości ujemne),  
 $\theta_t$  - kąt padania bezpośredniego promieniowania słonecznego, mierzony pomiędzy kierunkiem promieniowania, a normalną do powierzchni kolektora,  
 $\theta_z$  - kąt padania bezpośredniego promieniowania słonecznego, mierzony pomiędzy kierunkiem promieniowania, a normalną do powierzchni poziomej.

Wzór określający strumień całkowitego promieniowania słonecznego składa się z trzech części reprezentujących kolejno promieniowanie bezpośrednie, roz-

proszone i odbite:

$$(1.1) \quad \dot{H} = \dot{H}_b R_b + \dot{H}_d (1 + \cos s) / 2 + (\dot{H}_b + \dot{H}_d) \rho (1 - \cos s) / 2 ,$$

gdzie współczynnik transformacyjny  $R_b$  dla promieniowania bezpośredniego jest określony następującym wzorem:

$$(1.2) \quad R_b = \cos \vartheta_t / \cos \vartheta_z .$$

Wartość współczynnika  $R_b$  powinna zawierać się w przedziale (0,5), w innym przypadku przyjmuje on wartość równą zero. Ograniczenie to zapobiega niedokładnościom w oszacowaniu strumienia promieniowania podczas wschodu i zachodu Słońca, kiedy to promieniowanie jest bardzo małe, a współczynnik  $R_b$  może przybierać stosunkowo duże wartości.

Poniższe zależności trygonometryczne opisują związek pomiędzy wyżej wymienionymi wielkościami kątowymi:

$$(1.3) \quad \begin{aligned} \cos \vartheta_t = & \sin \delta \sin \phi \cos s + \\ & - \sin \delta \cos \phi \sin s \cos \omega + \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos s \cos \omega + \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin s \cos \gamma \cos \omega + \\ & + \cos \delta \sin s \sin \gamma \sin \omega , \end{aligned}$$

$$(1.4) \quad \cos \vartheta_z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega .$$

Deklinacja Słońca jest określona przybliżonym wzorem Coopera:

$$(1.5) \quad \delta = 23,45 \sin \{360 [(284 + id) / 365]\} .$$

Kąt godzinowy można określić zależnością:

$$(1.6) \quad \omega = 15 (12 - t_s) ,$$

gdzie  $t_s$  oznacza czas słoneczny w godzinach.

Czas słoneczny uwzględniający stabilizowaną poprawkę równania czasu, uśrednienia czasu strefowego i sezonową zmianę czasu określa następujące wyrażenie:

$$(1.7) \quad t_g = ig + is/3600 + e/60 + (P_g - P_m)/15 + D .$$

Współczynnik refleksyjności podłoża i otoczenia jest szacowany, zależności od opracowań, w dość szerokim zakresie.

Zróżła amerykańskie podają następujące wartości:

- z pokrywą śnieżną - 0,7
- bez pokrywy śnieżnej - 0,2 .

W warunkach polskich proponuje się następujące wartości:

sezon zimowy:

- z pokrywą śnieżną - 0,45
- bez pokrywy śnieżnej - 0,15

sezon letni - 0,20 .

## 1.2. Metody wyboru danych meteorologicznych w obliczeniach energetyki słonecznej

Najbardziej pewnym i dokładnym sposobem określenia sprawności słonecznej instalacji ogrzewczej jest oczywiście przeprowadzenie eksperymentu dla danego obiektu, w rzeczywistych warunkach. Związane jest to jednak z dość długim okresem badań i znacznymi kosztami. Opracowano zatem inne metody określania sprawności energetycznej takich instalacji. Jedną z nich jest przeprowadzenie symulacji numerycznej dla właściwego okresu badawczego, czyli zazwyczaj co najmniej jednego roku. Zakłada się przy tym, że jest to rok typowy, bez znacznych anomalii pogodowych. W takim wypadku przeprowadza się symulację numeryczną dla każdego dnia w roku, wczytując odpowiednie wartości danych meteorologicznych. Takie badania, mimo znacznie mniejszych kosztów w porównaniu z eksperymentem rzeczywistym, są jednak dalej dość kosztowne i pracochłonne. Najlepszym rozwiązaniem jest przeprowadzenie obliczeń numerycznych dla okresów krótszych i jednocześnie reprezentatywnych dla danych warunków. Inaczej mówiąc jest to związane z określeniem tzw. pogody typowej i odpowiedzi na pytanie jak badana instalacja będzie zachowywała się przy takiej pogodzie.

Powyższe zagadnienie odpowiedniego przygotowania danych meteorologicznych w obliczeniach sprawności urządzeń energetyki słonecznej stało się tematem wielu opracowań i publikacji.

Siebers i Viskanta dokonali [1] przeglądu metod usredniania danych meteorologicznych wykorzystywanych w obliczeniach sprawności długoterminowej ko-

lektora płaskiego.

(1) Średnia dzienna czynnika meteorologicznego jest obliczana jako iloraz sumy godzinowych wartości danego czynnika przez liczbę godzin słonecznych w ciągu tego dnia.

Ta metoda uwzględnia zmienność czynnika pogodowego w ciągu większej liczby dni, ale pomija zmienność występującą w ciągu dnia.

(2) Średni dzień danego miesiąca jest określany jako iloraz sumy wartości czynnika meteorologicznego mierzonych o określonej godzinie dla poszczególnych dni miesiąca, przez liczbę dni w miesiącu.

Ta metoda uwzględnia zmienność czynnika meteorologicznego w ciągu dnia, pomija natomiast zmiany promieniowania występujące w okresie całego miesiąca. Takie uśrednienie wartości promieniowania słonecznego pozwala na ilościowe określenie typowego dnia promieniowania słonecznego dla danego okresu, np. dla pory roku, dla miesiąca, dekady, tygodnia i w związku z tym jest bardzo przydatne przy modelowaniu procesów energetyki słonecznej.

(3) Średnia miesięczna czynnika meteorologicznego jest ilorazem sumy jego godzinowych wartości przez całkowitą liczbę godzin słonecznych w miesiącu.

Ta metoda pomija zarówno zmienność dzienną, jak i w ciągu całego miesiąca, a uwzględnia tylko zmiany związane z porami roku. Przydatna jest tylko przy mało dokładnych obliczeniach porównawczych.

Przeprowadzone przez autorów obliczenia numeryczne sprawności długoterminowej kolektora płaskiego przy wykorzystaniu wyżej wymienionych metod uśredniania danych wykazały dość dobrą zbieżność z obliczeniami dokonanymi przy wykorzystaniu pełnych danych godzinowych w przypadku, gdy zmiany promieniowania słonecznego były niewielkie. Przy większych zmianach pogody sprawność kolektora obliczona przy zastosowaniu metody (1) była najbardziej zbliżona do wyników pełnych obliczeń.

Natomiast przy obliczeniach dla okresu charakteryzującego się znacznymi zmianami pogodowymi żadna z wymienionych powyżej metod uśredniania danych meteorologicznych nie dała pozytywnego rezultatu.

W podsumowaniu autorzy sugerują, że przyszłe badania należy prowadzić w kierunku wykorzystania metod statystycznych przy uśrednianiu danych meteorologicznych. Należy przy tym zaznaczyć, że obliczanie sprawności długoterminowej kolektora płaskiego jest zagadnieniem o stosunkowo niewielkim stopniu złożoności i dlatego też wnioski wyprowadzone przez autorów nie mogą mieć bezpośredniego odniesienia w rozważaniach dotyczących kompletnej instalacji ogrzewania słonecznego.

Petrie i McClintock rozważali [2] pojęcie pogody typowej dla danego obszaru stawiając jednocześnie pytanie jakie będzie działanie instalacji ogrzewania słonecznego przy takiej pogodzie. W tym wypadku napotykałyśmy na problem określenia "typowości" pogody.

Problem ten był wielokrotnie rozważany przez użytkowników programów modelujących pracę urządzeń energetyki słonecznej. Niektórzy określali pogodę, która im się wydała typowa dla danej części roku (inni dla kilku lat) na podstawie kompletnych danych promieniowania słonecznego, a jeszcze inni opracowywali specjalne zestawy danych dla długich okresów w celu zdefiniowania pogody typowej dla obliczeń.

Ciekawe podejście do problemu typowości pogody zostało zaproponowane przez Kleina [3] z Uniwersytetu Wisconsin w Madison, USA. Wybrał on osobno każdy miesiąc tzw. roku typowego z danych dla dziesięciu lat według następującego kryterium:

wybrany miesiąc danego roku dekady miał najbardziej zbliżoną wartość promieniowania słonecznego do średniej wartości promieniowania całkowitego dla dekady.

Dodatkowym kryterium była temperatura otoczenia dla danych okresów obserwacji. Tak wybrany reprezentatywny rok z danymi meteorologicznymi wykorzystano przy obliczeniach symulacyjnych.

Benseman i Cook [4] określili standardowy rok dla Nowej Zelandii przy użyciu następujących kryteriów:

- (1) średnia miesięczna wartość promieniowania całkowitego,
- (2) miesięczny rozkład dziennego promieniowania całkowitego,
- (3) rozkład i kolejność dziennych sum promieniowania całkowitego w ciągu miesiąca.

Trzecie kryterium uwzględniano w mniejszym stopniu przy wyborze roku standardowego i było brane pod uwagę w wypadku otrzymania takich samych wartości według kryterium (1) i (2).

Anderson [5] skonstruował "rok odniesienia" dla Danii za pomocą dość dokładnej analizy statystycznej danych meteorologicznych z ostatnich 30 lat. W metodzie tej przyjęto następujące trzy kryteria:

- (1) wykluczenie miesięcy dla których średnia wartość jednego z dwudziestu opisywanych parametrów różniła się bardziej niż średnie odchylenie kwadratowe tej wartości średniej dla 30 lat,
- (2) miesiące uwzględnione w roku odniesienia mają najlepsze wartości średnie dziennej temperatury otoczenia i dziennego promieniowania słonecznego,

(3) miesiące uwzględnione w roku odniesienia mają najbardziej typowe odchylenia "z dnia na dzień" dla powyższych parametrów.

Należy przy tym zaznaczyć że każde z trzech powyższych kryteriów posiadało jednakową wagę przy określaniu roku odniesienia.

Każda z wyżej wymienionych metod określenia typowej pogody daje w efekcie dane charakterystyczne dla całego danego okresu, dzień po dniu - rok jest reprezentowany przez 365 (366) dni, miesiąc przez 31 (30,29,28) dni, itd. Pozostawia to dalej bez odpowiedzi problem zastąpienia pełnych danych meteorologicznych, uzyskanych na podstawie wieloletnich obserwacji, danymi niepełnymi, ale reprezentatywnymi dla danego okresu i obszaru, np. tydzień o ustalonej sekwencji dni zamiast miesiąca. Zastosowanie takich zestawów danych meteorologicznych pozwala na wydatne skrócenie czasu obliczeń numerycznych.

Petrie i McClintock [2] zaproponowali następującą definicję typowości pogody:

jeśli dni danego okresu są charakteryzowane przez promieniowanie słoneczne, to "typowość pogody" dla tego okresu może być przedstawiona przez okres krótszy, który się składa z pewnej liczby dni, odpowiednio przyporządkowanych każdej wielkości promieniowania i występujących z tą samą częstotliwością w okresie pierwotnym (obserwowanym) i w okresie reprezentatywnym.

Przyjęli oni, że typowa pogoda dla danego miesiąca może być reprezentowana przez poprawnie wybrany okres od 5 do 10 dni, który nazwali "tygodniem typowym". Przyjęli ponadto m.in. następujące kryteria wyboru "okresu typowego":

(1) Średnia wartość promieniowania słonecznego całkowitego dla tygodnia typowego jest tak bliska, jak to tylko jest możliwe, wartości średniej promieniowania dla całego okresu (np. miesiąca) obliczonej na podstawie wszystkich wartości.

(2) Liczba dni w tygodniu typowym odpowiadającym poszczególnym kategoriom promieniowania jest zbliżona do odpowiedniego udziału dla całego okresu.

(3) Kolejność dni z określoną kategorią promieniowania w tygodniu typowym jest najbardziej prawdopodobna spośród wszystkich sekwencji występujących dla danego okresu.

Wykorzystując powyższe kryteria cały zakres wartości promieniowania całkowitego podzielono na pięć części i wyróżniono następujące kategorie dni: bardzo dobry, dobry, średni, słaby, zły.

Zebrano dane promieniowania słonecznego w grudniu w Bostonie (USA), dla 8 lat. Zapewniło to dość dobry obraz zmienności usłonecznienia, ale nie pozwoliło na określenie kolejności dni w poszczególnych kategoriach intensyw-

ności promieniowania. Zauważono jednocześnie, że pewne sekwencje składające się z dwóch dni występują z większym prawdopodobieństwem niż inne, np. po dniu słonecznym zdecydowanie częściej następuje dzień słoneczny, niż dzień pochmurny. Rozpatrzenie większej liczby i sekwencji dwudniowych umożliwiło skonstruowanie najbardziej prawdopodobnego tygodnia typowego charakteryzującego dany okres. Stwierdzono przy tym, że tydzień siedmiodniowy nie reprezentuje najlepiej całego zestawu danych pogodowych i przyjęto, że tzw. tydzień typowy ma zmienną długość od 5 do 10 dni.

Po przeprowadzeniu analizy, dla grudnia, zaproponowano tydzień typowy składający się z 6 dni o następującej sekwencji: 1 dzień bardzo dobry, 2 dni dobre, 1 dzień średni, 1 dzień słaby, 1 dzień zły.

W celu weryfikacji tej metody budowania skróconego tygodnia odniesienia autorzy przeprowadzili obliczenia symulacyjne wykorzystując pełne dane meteorologiczne dla danego okresu i następnie dla tygodnia typowego. Występujące różnice były mniejsze niż 7%.

Prace nad skonstruowaniem testowego roku odniesienia (test reference year) i skróconego roku odniesienia (short reference year) były także prowadzone pod auspicjami Europejskiej Wspólnoty Gospodarczej [6]. Założono, że taki skrócony rok odniesienia zawiera od 50 do 90 dni - mniejsza liczba dni mogłaby spowodować nieuwzględnienie wszystkich zmian pogodowych związanych z porami roku. Prowadzone prace uwzględniały olbrzymie ilości danych meteorologicznych zbieranych w kilku krajach EWG, które następnie były opracowane numerycznie przy wykorzystaniu metod statystyki matematycznej [7].

Zasadniczo inną metodę określania sprawności długoterminowej instalacji słonecznych zaproponował Sfeir [8]. Ta bezpośrednia metoda nie jest związana z pojęciem tygodnia typowego, lecz wykorzystuje właściwości statystyczne średnich miesięcznych wartości promieniowania i temperatury otoczenia. Obliczenia wykorzystujące tę metodę dają wyniki zbliżone do rezultatów uzyskanych za pomocą symulacji numerycznej dla całego analizowanego okresu.

Jak widać, przygotowanie danych meteorologicznych dla numerycznej symulacji polega przede wszystkim na redukcji dużej liczby danych do zbioru znacznie mniejszego. Takie postępowanie zakłada dostępność do kompletnych danych meteorologicznych. Zwłaszcza promieniowanie słoneczne i temperatura otoczenia powinny być znane dla takich odstępów czasowych, aby to pozwoliło na określenie zmienności danej wielkości i w związku z tym przyjmuje się zazwyczaj, że pomiary powinny być rejestrowane co godzinę.



### 1.3. Promieniowanie słoneczne w Polsce.

Dane promieniowania słonecznego są rejestrowane przez sieć kilkunastu stacji pomiarowych rozmieszczonych na terenie całego kraju, a następnie gromadzone i opracowywane w Pracowni Bilansu Promieniowania Zakładu Fizyki Atmosfery IMGW. Zazwyczaj rejestruje się wartości promieniowania całkowitego na powierzchni poziomej oraz promieniowania rozproszonego. Wartości promieniowania bezpośredniego na powierzchnię poziomą są obliczane jako różnica promieniowania całkowitego i rozproszonego.

W wydawanych przez IMGW tablicach przedstawia się wartości promieniowania całkowitego, rozproszonego i bezpośredniego jako sumy godzinowe, półdienne, dzienne, dekadowe, miesięczne, sezonowe i roczne. Na podstawie tych stabilizowanych danych pomiarowych można określić wielkość całkowitego strumienia promieniowania słonecznego na nachyloną powierzchnię kolektora, które to postępowanie przedstawiono w rozdziale 1.1.

W celu dokonania analizy porównawczej różnych metod opracowania danych wejściowych do programu modelującego pracę instalacji słonecznej przeprowadzono obliczenia numeryczne przy pomocy programu SYMUL [9].

Okresem dla którego przeprowadzono obliczenia porównawcze był maj 1975 roku. Był to, według uzyskanej w IMGW opinii, rok dość typowy - jeśli chodzi o wartości i rozkład promieniowania słonecznego. Najdłuższym z badanych okresów był cały miesiąc, najkrótszym - trzy dni.

Rozpatrywano także okresy składające się z 5 lub 6 dni, to jest o długości zbliżonej do tzw. tygodnia umownego.

Badania dla okresów trzydniowych i pięciodniowych przeprowadzono na początku każdego miesiąca oraz wokół tzw. dnia środkowego, dla którego promieniowanie jest w przybliżeniu równe średniej dziennej wartości całkowitego promieniowania dla całego miesiąca. Przyjęto założenie, że jest to 16 dzień miesiąca.

Ponadto maj został podzielony na pięć tygodni umownych (cztery - sześciodniowe i jeden - siedmiodniowy) oraz na trzy dekady umowne (dwie - dziesięciodniowe i jedna - jedenastodniowa). Dla tygodni i dekad umownych zostały wybrane odpowiednie dni środkowe, z których to dni zostały zbudowane dodatkowe tygodnie umowne z uśrednionymi dla danych okresów wartościami promieniowania i temperatury.

Za pomocą metody zaproponowanej w [2] określono dwa tygodnie umowne dla maja 1975 roku.

Kryterium weryfikującym metodę wyboru skróconych okresów reprezentujących

cały miesiąc były obliczenia symulacyjne sprawności instalacji, dokonane dla danych uśrednionych z okresu trzyletniego (74-76) i dziesięcioletniego (71-80). W tym wypadku każda wartość promieniowania dla danej godziny roku uśrednionego 74-76 (71-80) była średnią arytmetyczną z pomiarów dla tej godziny z 3 (10) lat.

W tabelicy 1. przedstawiono godzinowe sumy promieniowania bezpośredniego na płaszczyznę poziomą, natomiast w tablica 2 - godzinowe sumy promieniowania rozproszonego, zebrane w stacji pomiarowej Warszawa - Bielany. Są to wartości uśrednione dla kolejnych miesięcy z lat 1974 - 1976 i są dość reprezentatywne dla promieniowania słonecznego w naszym kraju.

Należy przy tym zaznaczyć, że wartości powyższe podano w  $\text{cal cm}^{-2}$ , czyli w jednostkach nie mieszczących się w wykazie jednostek dopuszczonych przez układ SI. Jednakże przedstawienie godzinowych sum promieniowania jako dwucyfrowych liczb całkowitych jest bardzo wygodne przy zapisywaniu i gromadzeniu danych, m.in. jako parametrów wejściowych do programów symulacyjnych.

Założono, że najlepsze oszacowania sprawności instalacji są uzyskiwane po przeprowadzeniu symulacji numerycznej dla całego miesiąca (31 dni) z uśrednionymi danymi promieniowania z 10 lat. Inne zestawy danych uśrednionych, "reprezentatywnych" czy "typowych" dały w rezultacie mniej dokładne przybliżenia wyników symulacji. Stopień zbieżności tych wyników z rezultatami uzyskanymi dla całej dekady świadczył o jakości zaproponowanej metody uśredniania czy "typowania" danych meteorologicznych.

I tak symulacja dla danych rzeczywistych z maja 1975 dała dobre oszacowanie tylko dla całego miesiąca, tj. 31 dni. Wyniki symulacji przeprowadzonych dla okresów trzydniowych i pięciodniowych są bardzo zbliżone do siebie, jednakże dość różne od wyników obliczeń dla całego okresu.

Lepsze wyniki uzyskano dla okresów skupionych wokół dni środkowych miesiąca, w szczególności dla okresu pięciodniowego. Najlepsze przybliżenie uzyskano przy wykorzystaniu danych uśrednionych dla całego miesiąca.

Wykorzystanie tygodni typowych skonstruowanych wg metody zaproponowanej w [2] dało znaczne rozbieżności. Nie zauważono większej różnicy pomiędzy stosowaniem danych uśrednionych na podstawie pomiarów z 10 czy z 3 lat. Natomiast wyniki symulacji dla danych tylko z maja jednego roku (75) są zdecydowanie gorsze.

Tablica 1. Godzinowe sumy promieniowania bezpośredniego na płaszczyznę poziomą  
(zebrane w stacji pomiarowej Warszawa-Bielany) [cal cm<sup>-2</sup>]

Godziny	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Miesiące																	
I							1	2	3	3	3	1					
II							6	8	10	10	9	6	3				
III							12	14	15	16	15	13	7				
IV				1			18	21	22	20	18	14	10		1		
V				3			8	13	22	24	22	17	13		2		
VI			2	7			12	18	24	22	20	17	10		5		
VII		1	3	7			13	19	24	24	21	20	14		7		1
VIII		1	3	7			12	18	24	24	24	23	20		7		1
IX			1	5			10	18	24	27	28	26	21		6		
X				2			6	12	17	21	22	17	14		1		
XI							1	2	3	5	6	4	2				
XII							2	3	4	4	3	2	1				
							1	1	2	2	2	2	1				

Tablica 2. Godzinowe sumy promieniowania rozproszonego  
(zebrane w stacji pomiarowej Warszawa-Bielany) [cal cm<sup>-2</sup>]

Godziny	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Miesiące																	
I					1	3	4	5	6	5	3	1					
II				1	3	6	7	8	9	8	6	4					
III				5	9	11	14	15	15	15	11	9	2				
IV		2	1	8	11	14	16	17	17	16	14	11	5				
V	1	4	7	11	14	17	19	20	20	19	18	15	8		1		
VI	2	6	9	13	16	18	21	22	21	21	20	16	13		4		
VII	1	4	7	11	14	18	20	22	21	20	18	15	13		4		
VIII		3	6	10	13	15	16	18	18	18	16	13	10		5		
IX			3	6	9	11	13	14	14	13	11	9	6		3		
X				2	5	7	9	10	9	8	6	3	1		2		
XI				3	3	5	6	6	6	5	3	1					
XII			1	3	1	3	4	5	4	3	2	1					

## Bibliografia

1. Siebers, D.L., Viskanta, R.: *Comparison of long-term flat- plate solar collector performance calculations based on averaged meteorological data*, Solar Energy 19 (1977), pp.163- 169
2. Petrie, W. R., McClintock M.: *Determining typical weather for use in solar energy simulations*, Solar Energy 21 (1978), pp. 55-69
3. Klein, S.A. et al.: *A method of simulation of solar processes and its applications*, Solar Energy 17 (1975), pp. 29-37
4. Benseman, Cook: *Solar radiation in New Zealand - the standard year*, N. Zeal. J. Sci. 12 (1969). pp. 698-708
5. Anderson et al.: *An extract from meteorological data for design building and installation; a reference year*, Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark (1974)
6. Lund, H.: *Short reference years. Test reference years*, Commission of European Communities (1984)
7. Mustachhi, C., Cena, V., Rochhi, M.: *Stochastic simulation of hourly global radiation sequences*, Solar Energy 23 (1979), pp.47-53
8. Sfeir, A.A.: *A stochastic model for predicting solar system performance*, Solar Energy 25 (1980), pp. 149-154
9. Pomierny, W.: *Modyfikacja i rozbudowa programu symulacyjnego dla różnych wariantów systemów grzewczych i ogrzewania wody użytkowej, analiza sprawności długoterminowej*, IPPT PAN (1984)