

WPLYW SPOSOBU POMIARÓW PYRANOMETRYCZNYCH
NA DOKŁADNOŚĆ OCENY ŚREDNICH GODZINOWYCH I DOBOWYCH
STRUMIENI PROMIENIOWANIA CAŁKOWITEGO

B. H. Chojnicki

Katedra Agrometeorologii Akademia Rolnicza, ul. Witosa 45, 60-667 Poznań
e-mail: chojnick@owl.au.poznan.pl

Streszczenie. Chwilowa wartość gęstości strumienia promieniowania krótkofalowego docierającego do powierzchni czynnej może ulegać znacznym wahaniom w ciągu dnia. Stosunkowo duża zmienność czasowa strumienia może być przyczyną znacznych błędów podczas jego pomiarów. Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu częstotliwości pomiaru na wartości bezwzględnego, jak i względnego błędu oceny średnich godzinnych i dobowych wartości strumienia promieniowania całkowitego. Dane wykorzystane w tym opracowaniu były zebrane przy pomocy pyranometru CM11 firmy Kipp&Zonen, który zamocowano na wysokości około 7 m nad powierzchnią gruntu. Obserwacje wykonane zostały w okresie od 1 marca do 2 października 2001r. Pomiary wykonywano co sekundę. Zastosowano dwie grupy sposobów realizacji pomiarów: pomiary wykonywane w równych odstępach czasowym i z nierównomiernym krokiem czasowym. Do analizy uzyskanych wyników wykorzystano wartości bezwzględnych (AE) oraz względnych (RE) błędów oceny. W pracy tej obliczono współczynniki funkcji opisujących zależności między wartościami błędów a długością interwałów oraz długością okresów pomiarowych.

Słowa kluczowe: promieniowanie całkowite, pomiary promieniowania słonecznego, pyranometr.

WSTĘP

W nowoczesnych badaniach przyrodniczych do opisu charakterystyki energetycznej środowiska stosuje się równanie bilansu cieplnego powierzchni czynnej [6]:

$$R_n + LE + S + G = 0 \quad (1)$$

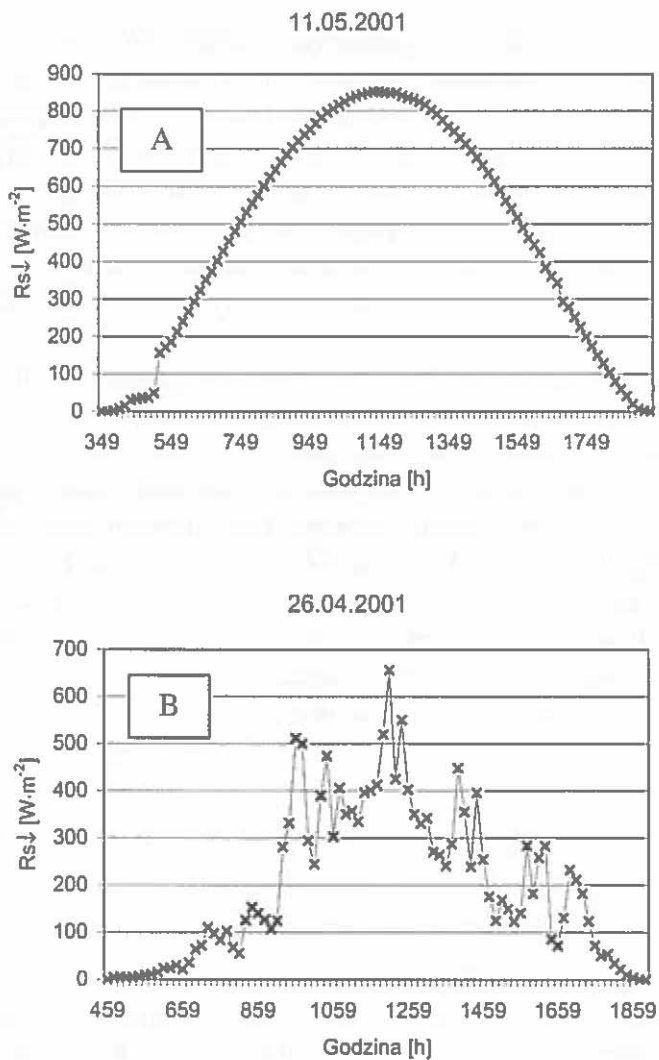
gdzie: R_n - saldo promieniowania [$W \cdot m^{-2}$], LE - gęstość strumienia ciepła utajonego [$W \cdot m^{-2}$], S - gęstość strumienia ciepła odczuwalnego [$W \cdot m^{-2}$], G - gęstość strumienia ciepła glebowego [$W \cdot m^{-2}$].

Ocena gęstości strumienia salda promieniowania (R_n) leży najczęściej u podstaw szacunków pozostałych strumieni energii. Wielkość strumienia promieniowania całkowitego ($R_{S\downarrow}$) jest jednym z podstawowych elementów wykorzystywanych podczas oceny wielkości salda promieniowania. Wiele opracowań dotyczących oszacowania wielkości salda promieniowania opiera się o wielkość promieniowania całkowitego zarówno dla godzinowych [2], jak i dobowych [1] odcinków czasowych. W ten sposób dokładność pomiaru promieniowania całkowitego ma duży wpływ na dokładności oceny salda promieniowania, a tym samym na strukturę bilansu cieplnego powierzchni czynnej [8].

W obecnych czasach coraz dostępniejsze stają się systemy, które w sposób permanentny - automatyczne sieci meteorologiczne - [3], czy też okazjonalnie - systemu pomiarów mikrometeorologicznych - [7] umożliwiają automatyczne zbieranie danych meteorologicznych. Interwały czasowe w jakich wykonywane są kolejne pomiary zależą od możliwości takiego systemu oraz decyzji jego nadzoru technicznego. Pomiary zbierane w automatyczny sposób są szeroko wykorzystywane w badaniach modelowych dotyczących różnorodnych procesów zachodzących w środowisku [5].

Codziennie doświadczenie uczy, iż chwilowe wartości promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni ziemi podczas dnia rzadko mają łagodny przebieg. Taki przebieg jest możliwy w bezchmurny dzień (Rys. 1.A). Zwykle przemieszczające się nad miejscem obserwacji chmury potrafią znacznie zmienić wielkość promieniowania krótkofalowego docierającego do powierzchni. Obserwowany przebieg wartości chwilowych $R_{S\downarrow}$ ma wtedy bardzo odmienny przebieg od tego, który obserwujemy w warunkach bezchmurnego nieba (Rys. 1.B).

W warunkach obecności chmur nad miejscem obserwacji długość odstępu czasowego pomiędzy kolejnymi pomiarami może mieć wpływ na dokładność oceny średniej wielkości strumienia promieniowania. Innymi słowy losowa zmienność promieniowania całkowitego w czasie może mieć wpływ na dokładności oceny średnich wartości strumienia, a pomiary dyskretne wykonywane z różnym krokiem czasowym przeprowadzone w tych samych warunkach mogą dać różne wyniki. Z tego powodu w tej pracy postawiono sobie za cel ilościowe określenie wpływu sposobu wykonywania pomiarów $R_{S\downarrow}$ na dokładność oceny średnich godzinowych i dobowych wartości promieniowania całkowitego.



Rys. 1. Dzienny bieg średnich 10-minutowych wartości strumienia promieniowania całkowitego ($R_{s\downarrow}$) w bezchmurny dzień 24. kwietnia [A] i pochmurny dzień 11. maja [B] 2001 r. w Poznaniu.

Fig. 1. Daily run of 10-minutes average values of global radiation ($R_{s\downarrow}$) during clear sky April 24th [A] and cloudy May 11th 2001[B] days in Poznań.

MATERIAŁY I ZASTOSOWANE METODY

Pomiary promieniowania słonecznego zostały wykonane przy pomocy pyranometru CM11 firmy Kipp & Zonen. Teoretyczne podstawy działania tego instrumentu zostały opisane w wielu opracowaniach [10,4,11]. Oparcie konstrukcji przyrządu o termostos zbudowany ze 100 termopar gwarantuje dużą dokładność pomiarów i bardzo stabilną charakterystykę w czasie. Nieliniowość instrumentu gwarantowana przez producenta wynosi mniej niż $\pm 0,6\%$. Instrument ten należy do przyrządów określanых mianem wtórnego standardu (secondary standard), przy jego pomocy można cechować inne przyrządy do pomiaru promieniowania całkowitego [4].

Pyranometr znajduje się na stacji meteorologicznej Akademii Rolniczej w Poznaniu i zamontowany został na wysokości około 7 metrów nad powierzchnią gruntu. Instrument został podłączony do data loggera CR10X firmy Campbell Sc. Pomiary wykonywane były co 1 sekundę. Dane z pamięci operacyjnej urządzenia kontrolno-pomiarowego były transmitowane do komputera w 15-minutowych odstępach. W ten sposób stworzona została baza danych bardzo dokładnie opisująca przebiegi dzienne strumienia promieniowania całkowitego. Pomiary zostały wykonane w okresie od 1 marca do 2 października 2001r.

Analiza zgromadzonych obserwacji składała się z kilku etapów.

Wstępnie wyliczono średnie godzinowe wartości promieniowania całkowitego na podstawie obserwacji wykonywanych co sekundę. Obliczeń dokonano wg. wzoru:

$$R_S \downarrow = \frac{1}{3600} \sum_1^{3600} R_S \downarrow_1 \quad (2)$$

gdzie:

$R_S \downarrow$ - średni godzinowy strumień promieniowania całkowitego [$W \cdot m^{-2}$];

$R_S \downarrow_1$ - chwilowa wartość promieniowania słonecznego [$W \cdot m^{-2}$].

Wartości godzinowe wyliczone na podstawie wzoru (2) wykorzystano do obliczenia średnich dobowych wartości promieniowania całkowitego. W ten sposób uzyskano 2897 godzinowych i 169 dobowych średnich wartości promieniowania całkowitego.

CM11 gwarantuje na tyle wysoką dokładność pomiarów, iż uznano, że wyniki obliczeń średnich godzinowych i dobowych wartości $R_S \downarrow$ oparte o co sekundowe pomiary są wartościami rzeczywistymi i tak zostały one nazwane w dalszej części pracy.

Zbiory z co sekundowymi pomiarami zostały wykorzystane w dalszej analizie do wyliczeń średnich godzinowych wartości promieniowania słonecznego przy zastosowaniu różnych metod wykonywania pomiarów. Średnie godzinowe zostały obliczone na podstawie pomiarów, które następowały po sobie w określonych interwałach czasowych (pomiar z równomiernym krokiem czasowym - dalej oznaczone jako RK): 2-sekundowych (1800 pomiarów na godzinie); 3-sekundowych (1200 pom./h); 4-sekundowych (900 pom./h); 5-sekundowych (720 pom./h); 10-sekundowych (360 pom./h); 15-sekundowych (240 pom./h); 20-sekundowych (180 pom./h); 30-sekundowych (120 pom./h); 1-minutowych (60 pom./h); 2-minutowych (30 pom./h); 5-minutowych (12 pom./h); 10-minutowych (6 pom./h); 15-minutowych (4 pom./h); 20-minutowych (3 pom./h); 30-minutowych (2 pom./h); 60-minutowych (1 pom./h). Drugim sposobem na wykonywanie pomiarów było określenie okresów krótszych niż jedna godzina, podczas których pomiary wykonywane były co sekundę (pomiar z nierównomiernym krokiem czasowym - dalej oznaczone jako NK). Średnie godzinowe wartości $R_{S\downarrow}$ zostały także określone na podstawie średnich z 10, 15, 20, 30 i 40-minutowych odcinków czasowych w ciągu każdej godziny.

Różnice między wynikami obliczeń promieniowania uzyskanymi za pomocą różnych metod pomiarowych, a wartościami rzeczywistymi obliczono przy pomocy:

- bezwzględnego błędu oceny (AE):

$$AE = |E - O| \quad (3)$$

gdzie:

E - wartość rzeczywista;

O - wartość obliczona

oraz

- względnego błędu oceny (RE):

$$RE = \frac{|E - O|}{E} \quad (4)$$

Należy tutaj zauważyć, że podczas obliczeń zostały wykorzystane tylko te pomiary, w których rzeczywista wartość $R_{S\downarrow}$ była większa od zero. Postąpiono tak z powodu niemożności wykonania obliczeń przy pomocy wzoru 4 (dzielnik przez zero).

WYNIKI

A. Średnie godzinowe wartości promieniowania całkowitego

Wyniki obliczeń dotyczących średnich godzinowych wartości promieniowania całkowitego przedstawione zostały w Tabelach 1 i 2. Średnia wartość rzeczywista promieniowania całkowitego w analizowanym zbiorze wyniosła $253,0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Średnie wartości zbiorów z $R_S\downarrow$ uzyskanych różnymi metodami były bardzo podobne do wartości rzeczywiste, a różnice nie przekroczyły $0,7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Maksymalna zaobserwowana wartość rzeczywista promieniowania całkowitego wynosiła w tym zbiorze $890,3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (Tab.1). Analiza maksymalnych wartości promieniowania prowadzi do wniosku, że wraz z wydłużaniem interwału czasowego w pomiarach o równomiernym kroku czasowym oraz skracaniem czasu obserwacji w pomiarach z nierównomiernym krokiem czasowym zwiększają się maksymalne obserwowane wartości $R_S\downarrow$. Fakt ten ma stosunkowo proste wytłumaczenie – mniejsza częstotliwość lub krótszy czas pomiaru zwiększa prawdopodobieństwo pomierzenia zawyżonych wartości promieniowania (trafienie z pomiarami między dwie chmury).

Średnie wartości względnych (ARE) i bezwzględnych (AAE) błędów oceny wzrastają:

- o wraz ze wzrostem wielkości interwału czasowego (TI) - dla metod o równomiernym kroku czasowym;
- o wraz ze skracaniem długości okresów pomiarowych (TP) - dla metod z nierównomiernym krokiem czasowym.

W przypadku metod RK maksymalne wartości błędów bezwzględnych osiągają nawet $830 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ - tak dużą wartość błędu stwierdzono w przypadku gdy wykonywany był tylko jeden pomiar na godzinę. Maksymalna wartość bezwzględnego błędu nie osiąga tak dużych wartości jak w przypadku pomiarów RK i dla pomiarów NK 10-minutowych i wynosi $429,1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. W przypadku względnych błędów oceny, maksymalna wartość podczas pomiarów RK wynosi 320%, a dla NK 10-minutowych 214%. Informacja o średnich wartościach zarówno bezwzględnych, jak i względnych błędów oceny jest także bardzo użyteczna podczas pomiarów. W przypadku pomiarów wykonywanych raz na godzinę (pomiarzy RK) średnia wartość bezwzględnego błędu wynosi $47,7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, a średni błąd względny 27,1%. Dla pomiarów NK wykonywanych co godzinę przez 10 minut średnia wartość błędu bezwzględnego wynosiła $33,7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, a względnego 23,2%.

Tabela 1. Średnie godzinowe – pomiary ciągłe

Table 1. Hourly values of global radiation and their characteristics – continuous methods

Indeksy	Interwał czasowy między pojedynczymi obserwacjami (TI) [s]																		
	1	2	3	4	5	10	15	20	30	60	120	180	360	720	900	1200	1800	3600	
$R_s \downarrow$ [W·m ⁻²]	MAX	890,3	890,2	891,3	889,8	891,8	891,8	894,1	896,8	887,1	885,6	902,8	894,9	913,0	972,1	982,0	992,4	1040,8	1095,5
$R_s \downarrow$ [W·m ⁻²]	AVG	253,0	253,0	253,0	253,0	253,0	253,0	253,0	253,0	252,9	253,1	252,9	253,1	252,6	252,6	252,7	252,7	252,6	253,7
AE [W·m ⁻²]	MAX	0,0	3,8	6,7	7,7	8,9	11,9	21,8	21,0	31,8	48,8	77,8	88,7	258,2	331,6	334,6	376,3	647,5	830,0
AE [W·m ⁻²]	AVG	0,0	0,3	0,4	0,5	0,6	0,9	1,2	1,4	1,8	2,9	4,7	5,9	9,6	15,6	18,2	22,1	30,5	47,7
RE [%]	MAX	-	0,500	0,333	0,500	0,250	1,000	1,000	1,000	1,000	2,000	1,000	2,000	1,000	1,000	1,150	1,000	1,190	3,206
RE [%]	AVG	-	0,001	0,002	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,008	0,013	0,018	0,025	0,039	0,070	0,084	0,113	0,157	0,271

Tabela 2. Średnie godzinowe – pomiary okresowe**Table 2.** Hourly values of global radiation and their characteristics – periodic methods

Indeksy		Długość okresów pomiarowych (TP) [min]				
		10	15	20	30	40
$R_{S\downarrow}$ [W·m ⁻²]	MAX	954,6	947,2	906,3	920,9	886,6
$R_{S\downarrow}$ [W·m ⁻²]	AVG	252,9	253,0	252,8	252,7	252,9
AE [W·m ⁻²]	MAX	429,1	434,0	362,3	267,2	165,7
AE [W·m ⁻²]	AVG	33,7	28,9	24,9	18,2	12,2
RE [%]	MAX	2,141	2,757	1,979	1,000	1,000
RE [%]	AVG	0,232	0,211	0,192	0,156	0,116

Uzyskane wartości posłużyły do obliczenia współczynników równań opisujących zależności między średnimi wartościami AAE, i ARE a długościami TI i TP. W przypadku metod RK równania te mają następujące postaci (Rys. 2.A.):

$$AAE = 0,1896 \cdot TI^{0,6716} \quad R^2 = 0,9995 \quad (6)$$

gdzie: AAE - średni bezwzględny błąd oceny [W·m⁻²], AAE TI - interwał czasowy między pojedynczymi pomiarami [s],
oraz (Rys. 2.B.)

$$ARE = -6,0 \cdot 10^{-9} \cdot TI^2 + 1,0 \cdot 10^{-4} \cdot TI + 0,0039 \quad R^2 = 0,9992 \quad (5)$$

gdzie: ARE - średni względny błąd oceny [1].

W przypadku metod NK uzyskano następujące zależności błędów od długości okresów pomiarowych (Rys. 3.A.):

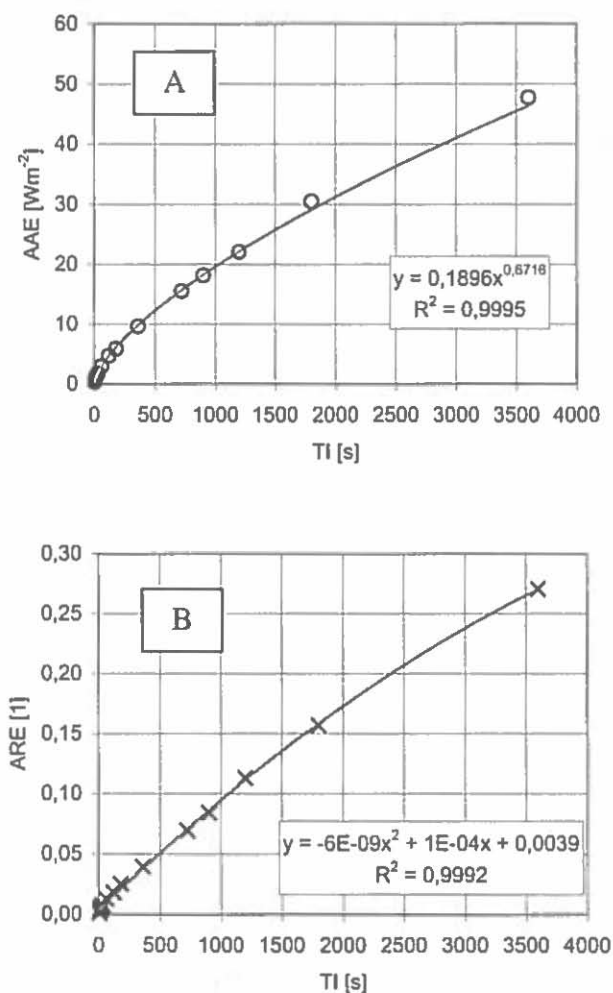
$$AAE = -0,6603 \cdot TP + 38,924 \quad R^2 = 0,9949 \quad (7)$$

gdzie: AAE - średni bezwzględny błąd oceny [W·m⁻²],
oraz (Rys. 3.B.)

$$ARE = -0,0045 \cdot TP + 0,2832 \quad R^2 = 0,9870 \quad (8)$$

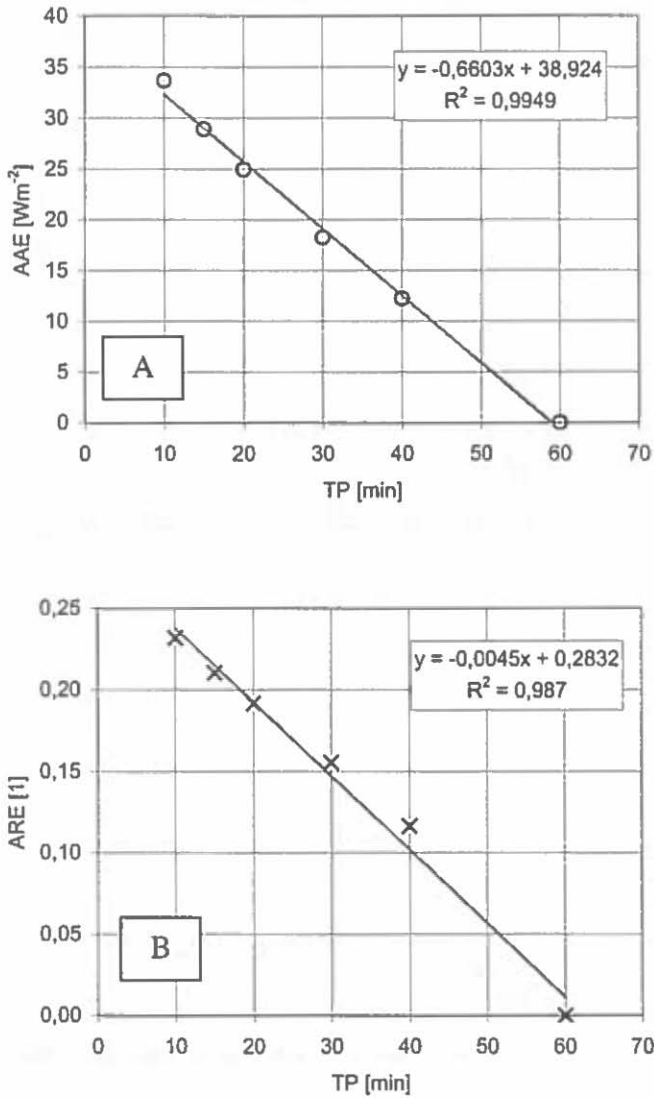
gdzie: ARE - średni względny błąd oceny [1], TP - długość okresu pomiarowego [min].

Powyższe funkcje pozwalają na stosunkowa łatwą ocenę wpływu przyjętego sposobu pomiaru na dokładność oceny średnich godzinowych wartości strumieni promieniowania całkowitego.



Rys. 2. Zależność pomiędzy średnimi wartościami błędów bezwzględnych (AAE) [A] i względnych (ARE) [B] od długości interwału czasowego (TI) dla średnich godzinnych strumieni promieniowania całkowitego – pomiary o równomiernym kroku czasowym.

Fig. 2. Average absolute (AAE) [A] and relative (ARE) [B] values versus time interval (TI) in average values of hourly global radiation – continuous methods.



Rys. 3. Zależność pomiędzy średnimi wartościami błędów bezwzględnych (AAE) [A] i względnych (ARE) [B] od długości interwału czasowego (TI) dla średnich godzinnych strumieni promieniowania całkowitego - pomiary o nierównomiernym kroku czasowym.

Fig. 3. Average absolute (AAE) [A] and relative (ARE) [B] values versus time interval (TI) in average values of hourly global radiation – periodic methods.

B. Średnie dobowe wartości promieniowania całkowitego

W Tabelach 3 i 4 zamieszczono wartości strumieni $R_{\Sigma\downarrow}$ oraz błędów obliczonych dla okresów dobowych. Uzyskane wartości średnie i ekstremalne promieniowania całkowitego wykazują bardzo małą zależność od zastosowanych metod pomiarowych. We wszystkich różnica między wartościami rzeczywistymi, a uzyskanymi przy pomocy różnych metod nie przekroczyła $3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ – taka wartość w przypadku średnich wartości dobowych nie jest znacząca. Można jedynie stwierdzić, iż średnie i ekstremalne wartości dobowe uzyskane przy pomocy pomiarów NK wykazują brak czułości na skracanie długości okresu pomiarowego z 40 do 10 minut. Na uwagę zasługuje fakt, że wartości minimalne uzyskane przy pomocy metod NK są nieznacznie niższe od uzyskanych przy pomocy metod RK.

W przypadku analizy błędów oceny (pomiarów RK) średnich dobowych wartości $R_{\Sigma\downarrow}$ okazuje się, że nawet pomiary wykonywane najrzadziej (raz na godzinę) mogą spowodować średni błąd bezwzględny $9,8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, który można określić jako stosunkowo mały. Maksymalna wartość AAE dla tak długiego interwału czasowego może wynieść $52,7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Pomiarów NK w najgorszym wypadku (10-minutowy okres pomiarowy) powodują średni bezwzględny błąd oceny rzędu $6,6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, a ekstremalna jego wartość może osiągnąć $48,3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Względny błąd oceny przy jednogodzinnym interwale czasowym wyniósł średnio 7%, a maksymalnie osiągnął 32%. Średni względny błąd dla pomiarów okresowych 10-minutowych wyniósł 5%, a maksymalna jego wartość wyniosła 28%. Generalnie można stwierdzić, iż nawet rzadkie pomiary promieniowania pozwalają na stosunkowo dokładną ocenę średnich dobowych gęstości strumienia promieniowania całkowitego.

Na podstawie uzyskanych wyników określono także równania opisujące zależności średnich wartości AAE i ARE dla średnich dobowych wartości $R_{\Sigma\downarrow}$ od długości interwału czasowego oraz długości okresu pomiarowego (Rys. 4.A.):

$$\text{AAE} = 0,043 \cdot \text{TI}^{0,6705} \quad R^2 = 0,9983 \quad (9)$$

gdzie: AAE - średni bezwzględny błąd oceny [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],
oraz (Rys. 4.B.)

$$\text{ARE} = 0,0003 \cdot \text{TI}^{0,672} \quad R^2 = 0,9978 \quad (10)$$

gdzie: ARE - średni względny błąd oceny [1], TI - interwał czasowy między pojedynczymi pomiarami [s].

Tabela 3. Średnie dobowe – pomiary ciągłe

Table 3. Daily values of global radiation and their characteristics – continuous methods

Indeksy	Interwał czasowy między pojedynczymi obserwacjami (TI) [s]																		
		1	2	3	4	5	10	15	20	30	60	120	180	360	720	900	1200	1800	3600
$R_{S\downarrow}$ [W·m ⁻²]	MAX	340,0	339,9	339,9	339,8	340,4	340,4	339,9	340,5	340,0	341,0	342,1	340,8	342,0	342,0	341,7	341,9	342,2	343,2
$R_{S\downarrow}$ [W·m ⁻²]	MIN	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,2	16,1	16,2	16,2	16,3	16,9	15,5	16,7	15,8	17,0
$R_{S\downarrow}$ [W·m ⁻²]	AVG	162,9	162,9	162,9	162,9	162,9	162,9	162,9	162,9	162,9	163,1	162,8	163,0	162,6	162,6	162,7	162,9	162,5	162,8
AE [W·m ⁻²]	MAX	0,0	0,4	0,5	0,6	0,6	1,0	1,3	2,1	1,8	3,3	6,0	8,0	20,3	19,7	17,8	28,5	37,0	52,7
AE [W·m ⁻²]	AVG	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,7	1,1	1,3	2,4	3,9	3,9	5,3	7,1	9,8
RE [%]	MAX	0,000	0,002	0,003	0,003	0,004	0,007	0,012	0,010	0,011	0,016	0,025	0,036	0,096	0,103	0,105	0,174	0,253	0,321
RE [%]	AVG	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000

Tabela 4. Średnie dobowe – pomiary okresowe

Table 4. Daily values of global radiation and their characteristics – periodic methods

Indeksy		Długość okresów pomiarowych (TP) [min]				
		10	15	20	30	40
$R_{S\downarrow}$ [W·m ⁻²]	MAX	340,9	340,9	341,2	340,7	340,5
$R_{S\downarrow}$ [W·m ⁻²]	MIN	15,3	15,5	15,2	15,3	15,6
$R_{S\downarrow}$ [W·m ⁻²]	AVG	162,7	162,7	162,5	162,6	162,7
AE [W·m ⁻²]	MAX	48,3	36,1	32,1	23,2	16,9
AE [W·m ⁻²]	AVG	6,6	5,6	4,8	3,7	2,7
RE [%]	MAX	0,279	0,197	0,146	0,113	0,094
RE [%]	AVG	0,054	0,040	0,034	0,028	0,019

W przypadku metod okresowych uzyskano następujące zależności błędów od długości okresów pomiarowych (Rys. 5A.):

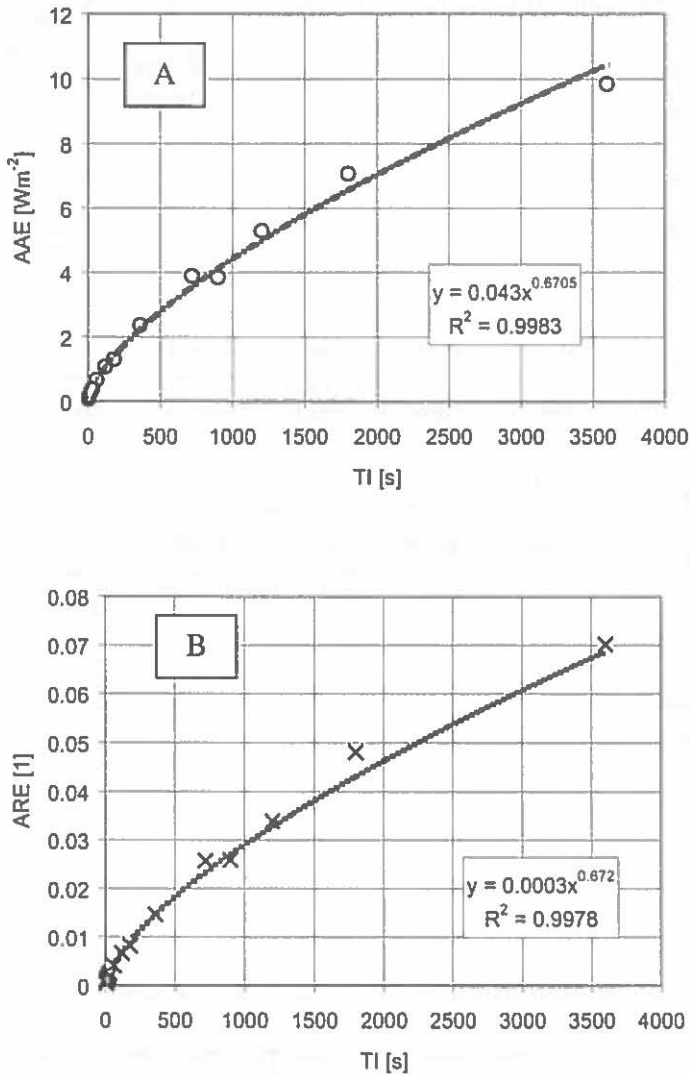
$$AAE = -0,1273 \cdot TP + 7,6016 \quad R^2 = 0,9772 \quad (11)$$

gdzie: AAE - średni bezwzględny błąd oceny [W·m⁻²],
oraz (Rys. 5B.)

$$ARE = 0,274 \cdot TP^{-0,6996} \quad R^2 = 0,9696 \quad (12)$$

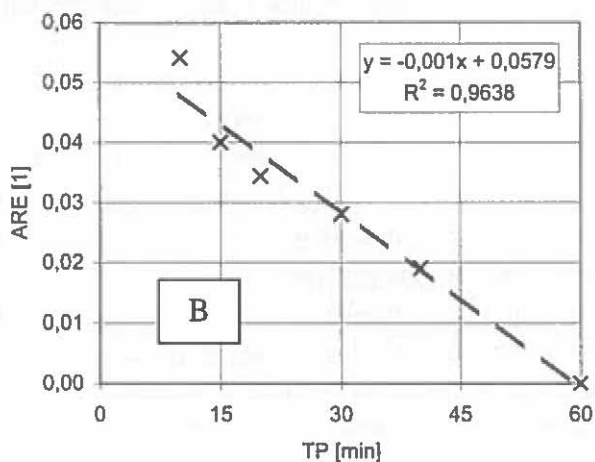
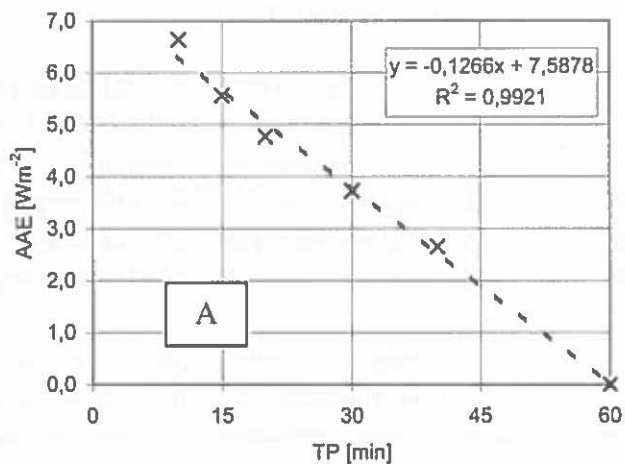
gdzie: ARE - średni względnego błędu oceny [1], TP - długość okresu pomiarowego [min].

Powyższe równania pozwalają na ocenę średnich wartości błędów pomiarowych podczas oceny średnich dobowych wartości strumienia promieniowania całkowitego wynikających z różnych sposobów wykonywania pomiarów.



Rys. 4. Zależność pomiędzy średnimi wartościami błędów bezwzględnych (AAE) [A] i względnych (ARE) [B] od długości interwału czasowego (TI) dla średnich dobowych strumieni promieniowania całkowitego - pomiary o równomiernym kroku czasowym.

Fig. 4. Average absolute (AAE) [A] and relative (ARE) [B] values versus time interval (TI) in average values of daily global radiation – continuous methods.



Rys. 5. Zależność pomiędzy średnimi wartościami błędów bezwzględnych (AAE) [A] i względnych (ARE) [B] od długości interwału czasowego (TI) dla średnich dobowych strumieni promieniowania całkowitego - pomiary o nierównomiernym kroku czasowym.

Fig. 5. Average absolute (AAE) [A] and relative (ARE) [B] values versus time interval (TI) in average values of daily global radiation – periodic methods.

WNIOSKI

Na podstawie analizy zgromadzonych danych można stwierdzić, że:

- Wydłużanie interwału czasowego pomiędzy pojedynczymi pomiarami (pomiar z równomiernym krokiem czasowym - metody RK) nie wpływa na ogólną średnią godzinową wartość $R_S \downarrow$, ale powoduje systematyczny wzrost maksymalnej (obserwowanej) godzinowej wartości obliczonego strumienia.
- W przypadku metod o nierównomiernym kroku czasowym (metody NK) opisane zależności obserwowane są w przypadku gdy okres pomiarowy ulegał skróceniu.
- Wydłużenie interwału czasowego ($TI = 3600$ s), jak i skrócenie okresu pomiarowego ($TP = 10$ min) nie miało znacznego wpływu na uzyskane wartości średnie i ekstremalne. Wyliczone wartości wykazały bardzo małą (brak) zależność od zastosowanych w tych badaniach metod pomiarowych.
- W przypadku pomiarów RK wydłużanie interwałów między pojedynczymi pomiarami powodowało zawsze wzrost wartości błędów zarówno bezwzględnych, jak i względnych.
- Wzrost wartości błędów obserwowany był także podczas pomiarów NK i związany był ze skracaniem okresu pomiarowego.
- Równania opisujące zależności między średnimi wartościami błędów względnych i bezwzględnych dla godzinowych i dobowych okresów pomiarowych pozwoliły na ocenę błędów pomiarowych wynikających ze zmienności promieniowania oraz sposobu jego pomiaru.
- Wydłużanie okresu między pojedynczymi pomiarami, a co za tym idzie zmniejszanie liczby obserwacji w okresie jednej godziny, spowodowało wzrost zarówno wielkości względnych, jak i bezwzględnych błędów oceny średniej godzinowej wartości promieniowania całkowitego.

ADNOTACJE

Pyranometr CM11 został zakupiony ze środków KBN w ramach projektu badawczego numer: 6 P04F 019 15, umowa nr 0898/P-04/98/15.

PIŚMIENNICTWO

1. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M.: Crop evaporation. Guidelines for computing crop water requirements. In: FAO Irrigation and Drainage Paper, 56, 301, 1998.
2. Chojnicki B.H., Olejnik J.: Formula na obliczanie godzinowych wartości salda promieniowania na podstawie pomiarów promieniowania całkowitego i temperatury powietrza. Rocz. AR Pozn. CCCXXIX. Melior. Inż. Środ., 21, 47-59, 2001.
3. Chojnicki B.H., Hoogenboom G.: Sieć automatycznych stacji meteorologicznych jako źródło informacji agrometeorologicznej. Acta Agrophysica, 60, 37-42, 2002.
4. Duffie J.A., Beckman W.A.: Solar engineering of thermal processes. 2nd Edition. John Wiley and Sons. New York, 1991.
5. Hoogenboom G.: Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. Agricultural and Forest Meteorology, 103, 137-157, 2000.
6. Kędziora A.: Podstawy agrometeorologii. Wyd. II PWRiL, Poznań, 223-230, 1999.
7. Leśny J., Olejnik J., Chojnicki B.H., Kędziora A., Eulenstein F.: Automatyczny system pomiarowy do badania struktury bilansu cieplnego – od cechowania do prac polowych. Acta Agrophysica, 57, 57-67, 2001.
8. Llasat M.C., Snyder R.L.: Data error effects on net and evapotranspiration estimation. Agricultural and Forest Meteorology, 91, 209-221, 1998.
9. Rosenberg N.J., Blad B.L., Verma S.B.: Microclimate the biological environment. Sec. Ed. John Wiley & Sons, 1983.
10. Schwerdtfeger P.: Physical principles of micro-meteorological measurements. Developments in Atmospheric Science. 6. Elsevier New York, 1976.
11. Stoutjesdijk Ph., Barkman J.J.: Microclimate vegetation and fauna. OPULUS Press AB. Uppsala, 1992.

PYRANOMETER MEASUREMENT METHOD IMPACT
ON ACCURACY OF HOURLY AND DAILY VALUES
OF GLOBAL RADIATION ESTIMATION

B. H. Chojnicki

Agrometeorology Department, University of Agriculture, ul. Witosa 45, 60-667 Poznań
e-mail:chojnick@owl.au.poznan.pl

Abstract. The hourly or daily values of global radiation are commonly used in environmental modeling and its accuracy of estimation can impact on the assessment of the net radiation, reference evapotranspiration etc. Evaluation of the measurement method impact on absolute and relative errors committed during the estimation of hourly or daily global radiation values is the object of this paper. The global radiation flux time variability can be relatively high during the cloudy days. This

can impact on the precision of hourly and daily values estimation. The measurements were carried out using the CM11 Kipp & Zonen pyranometer installed 7 m above the ground in Poznań city for a 217 days period ranging from March 1st through October 2nd 2001. The single measurement was taken every second. Two kind methods were assessed during this study. The continuous methods where single measurements were carried on with certain time interval (TI). The periodic methods – the measurements were made in certain periods (TP) within 1-hour time interval. The absolute (AE) and relative (RE) errors were calculated each method. The conclusion of the study is that the increasing of TI (for continuous method) and decreasing of TP (for periodic methods) cause the increase of both maximum and average of absolute and relative error values. The formulas that describe the relationships between measurement methods and both absolute and relative average errors were created for practical reasons.

Key words: global radiation, solar radiation measurements, pyranometer.