

**Jan KOSSOWSKI<sup>1</sup>, Bonifacy ŁYKOWSKI<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut Agrofizyki PAN

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences

<sup>2</sup>Zakład Meteorologii i Klimatologii SGGW

Division of Meteorology and Climatology WAU

## **Sumy dzienne promieniowania słonecznego w okresie letnim w Felinie koło Lublina i ich związek z usłonecznieniem i zachmurzeniem**

### **Daily sums of solar radiation during summer period in Felin near Lublin and their relationship with sunshine duration and cloudiness**

**Słowa kluczowe:** całkowite promieniowanie słoneczne, usłonecznienie rzeczywiste, zachmurzenie ogólne, insolacyjne lato

**Key words:** global solar radiation, real sunshine duration, cloudiness, insolation summer

#### **Wprowadzenie**

Wobec skąpej sieci punktów pomiarów aktynometrycznych na świecie (także w Polsce) w opracowaniach dotyczących rozkładów przestrzennych warunków solarnych wykorzystywane były metody pośrednie, umożliwiające obliczanie sum całkowitego promieniowania słonecznego dla dowolnego miejsca i przedziału czasu (np. średnich miesięcznych) na podstawie bardziej dostępnych danych meteorologicznych. W najbardziej znanych i najczęściej stosowanych takich metodach podstawowe dane sta-

nowiły wartości usłonecznienia rzeczywistego (w relacji do usłonecznienia możliwego) bądź stopnia zachmurzenia ogólnego nieba (przy znanej lub oszacowanej wielkości sumy promieniowania słonecznego w dniach bezchmurnych). Jednakże, jak niejednokrotnie wykazywano, rezultaty otrzymywane przy użyciu tego rodzaju metod pośrednich (uwzględniając przy tym istniejące modyfikacje podstawowych formuł) różniły się, a jednocześnie w różnym stopniu odbiegały od danych rzeczywistych (Podogrocki 1978, Tamulewicz 1988, Tamulewicz i Woś 1996).

Warto przy tym dodać, że badając zależności sum całkowitego promieniowania słonecznego od usłonecznienia i oddzielnie – zachmurzenia, stwierdzano nie tylko istotne różnice w ich charakterze, ale i pewną rozbieżność, jeśli posługiwano się danymi średnimi (np. mie-

sięcznymi) z wielolecia i gdy korzystano z danych dobowych (Berland 1960, Pal-tineanu i in. 2002). Ponadto trzeba mieć na uwadze, że na ostateczny kształt tych-że zależności znaczący wpływ wywierać może czynnik lokalny, w tym ukształto-wanie (topografia) i rodzaj terenu (typ krajobrazu), w jakim ulokowana jest sta-cja meteorologiczna, a także bliskość za-kładów przemysłowych, miast i koryta-rzy lotniczych. Jest więc raczej normą, iż rzeczywiste (określone drogą pomiarów) stosunki radiacyjne w danym miejscu różnią się od oszacowanych metodami klimatycznymi, a tym bardziej dotyczy to danych uzyskiwanych z interpolacji między stacjami (map). Stąd też wynika potrzeba prowadzenia obserwacji akty-nometrycznych w rozmaitych warun-kach terenowych oraz publikowania ich wyników, nawet jeśli zebrane materiały nie pochodzą z długiego okresu lub nie obejmują pełnego cyklu rocznego.

Niniejsza praca dotyczy podstawo-wych, bezpośrednich związków wiel-kości sum dziennych całkowitego pro-mieniowania słonecznego z usłonecz-nieniem i zachmurzeniem, opisywanych w możliwie najprostszy sposób (równa-niami liniowymi lub wielomianem), oraz efektywności stosowania takich równań do szacowania wartości sum tego pro-mieniowania w przypadku posługiwania się danymi dziennymi i uśrednionymi dla dekad. Zależności te rozpatrywano na podstawie danych odnoszących się do okresu zbliżonego do insolacyjnego lata, a dodatkowo do dni bezopadowych i z opadem podczas tego okresu.

## Material i metody

Podstawę opracowania stanowi ma-teriał obserwacyjny zebrany podczas kilkuletnich badań prowadzonych na obiektach (Obserwatorium Agromete-orologiczne i pola doświadczalne) lubelskiej Akademii Rolniczej w Felinie koło Lublina ( $\varphi$  N  $51^{\circ} 14'$ ;  $\lambda$  E  $22^{\circ} 38'$ ), a który tylko fragmentarycznie (i pod in-nym kątem) wykorzystany był w dotych-czas opublikowanych pracach (Łykow-ski 1987, Kossowski i Łykowski 1999, Kossowski 2000). Obejmuje on dane dotyczące sum dziennych promienio-wania słonecznego całkowitego ( $\Sigma Q_{s_d}$ ) oraz usłonecznienia rzeczywistego ( $U_r$ ) i stopnia zachmurzenia ogólnego ( $N_o$ ) w dniach od 11 maja do 31 lipca w latach 1978, 1979, 1984, 1988 i 1989. Przyję-ty przedział czasowy rozpatrywanych danych jest nieprzypadkowy – jest on tylko nieznacznie krótszy od okresu „in-solacyjnego lata” w Lublinie (Filipiuk 1995), a zarazem dostosowany do peł-nych dekad. Ponadto charakteryzuje go długi, trwający co najmniej 15,5 godzi-ny, dzień oraz niewielkie zróżnicowanie jego długości, sięgające najwyżej około 7% w stosunku do najdłuższego dnia.

Promieniowanie słoneczne mierzo-no solarymetrem firmy Kipp i Zonen umieszczonym na wysokości 2,5 m nad powierzchnią trawnika stacji, przy czym sygnał napięciowy z przyrządu był reje-strowany (z krokiem czasowym 40 lub 120 s – zależnie od sezonu), a jednocześ-nie (od połowy sezonu 1979) zliczany dla okresu doby przy użyciu integratora

tej samej firmy. Zaistniałe z przyczyn technicznych (głównie braku zasilania) luki w ciągu tych pomiarów (po kilka dni w sezonie, w sumie 23) zostały uzupełnione danymi uzyskanymi z Obserwatorium Meteorologicznego UMCS, położonego w centrum Lublina (około 7 km od Felina). Jeśli chodzi o materiały wykorzystywane w pracy (heliograficzne i nefologiczne), to warto jedynie zwrócić uwagę, że średni dla dnia stopień zachmurzenia ogólnego określano na podstawie obserwacji w 3 standardowych terminach, przy stosowaniu jednolitej skali 0–10 (dane z sezonu 1989 notowane w skali 0–8 zostały odpowiednio przeliczone).

Opracowanie i analizę materiału obserwacyjnego wykonano dla następujących zbiorów danych: pełnego – z codziennych pomiarów i obserwacji w 8 dekadach rozpatrywanych 5 lat (łącznie 410 dni), ograniczonego do dni bezopadowych (było ich 252) oraz z opadem (158 dni). Kryterium wydzielenia dni bezopadowych był brak opadu nie tylko podczas całej doby, ale również w okresie dziennym (w godz. 4–21). Liczba tak wyodrębnionych dni bezopadowych stanowiła od 50 do 68,3% dni w poszczególnych okresach letnich, a 61,5% pełnego zbioru danych. Dodatkowo, nader istotnym uzasadnieniem oddzielnego rozpatrywania dni bez opadu i z opadem jest zupełnie odmienny rozkład częstości występowania poszczególnych klas wielkości usłonecznienia i zachmurzenia, różny również od stwierdzonego na materiale z całego okresu letniego.

Ze względu na nietypowy (nieciągły) i niezbyt obszerny materiał obserwacyjny, jakim dysponowano, nie zostały tu

przedstawione pełne charakterystyki statystyczne czy trendy zmian w czasie sum dziennych promieniowania słonecznego (jak w innych pracach z obszaru Polski: Podogrocki 1977, Niedziałek 1983, Filipiuk 1995, Bogdańska i Podogrocki 2000), a główną uwagę skupiono na zagadnieniu zależności tych sum od usłonecznienia i zachmurzenia oraz dokładności ich opisu za pomocą różnego typu (acz nieskomplikowanych) równań. Przy ich doborze korzystano również z doświadczeń innych autorów (m.in. Bennett 1964, Norris 1968, Smolen 1995, Paltineanu i in. 2002).

## Omówienie wyników

Średnia wartość sumy dziennej całkowitego promieniowania słonecznego w Felinie podczas rozpatrywanych 5 okresów letnich (w dniach 11 V – 31 VII) wynosiła  $16,05 \text{ MJ m}^{-2}$ , natomiast w poszczególnych latach, w wyniku zróżnicowanych warunków pogodowych, różniła się znacznie (tab. 1). Podczas dni bezopadowych sumy promieniowania słonecznego były znacząco większe – średnio o 15,9%, a w pojedynczym sezonie (1988 r.) nawet o 21%. W dniach z opadem średnia suma promieniowania okazała się mniejsza o 26,2% w porównaniu do średniej dla całego okresu letniego. Z natury rzeczy o zwiększeniu sum dziennych promieniowania słonecznego w dniach bezopadowych, a zmniejszeniu w dniach z opadem, jak również o zróżnicowaniu wartości tych sum między sezonami decydowały w odpowiedni sposób (choć niezupełnie proporcjonalnie) wielkości usłonecznienia i stopnia zachmurzenia

TABELA 1. Średnie wartości sum dziennych promieniowania słonecznego całkowitego ( $\Sigma Q_{s_d}$ ) w Felinie w okresach letnich (11 V – 31 VII) oraz w dniach bezopadowych i z opadem podczas tychże okresów na tle danych dotyczących średniego usłonecznienia rzeczywistego ( $U_r$ ) i stopnia zachmurzenia ogólnego ( $N_o$ )

TABLE 1. Mean values of daily sum of global solar radiation ( $\Sigma Q_{s_d}$ ) in Felin during the summer periods (11 V – 31 VII) and days without and with precipitation within these periods on the grounds of the data concerning mean sunshine duration ( $U_r$ ) and total cloudiness ( $N_o$ )

Sezon Season	Liczba dni Number of days	$\Sigma Q_{s_d}$ [MJ·m <sup>-2</sup> ]	$U_r$ [h]	$N_o$ [0–10]
Okres lata / Summer period				
1978	82	16,27	7,69	5,82
1979	82	18,12	8,46	5,45
1984	82	14,15	5,53	7,25
1988	82	14,99	6,80	6,66
1989	82	16,73	7,90	5,96
1978 ... 1989	410	16,05	7,28	6,23
Dni bezopadowe / Days without precipitation				
1978 ... 1989	252	18,68	9,20	5,04
Dni z opadem / Days with precipitation				
1978 ... 1989	158	11,85	4,20	8,13

nieba. Innego rodzaju charakterystykę materiału obserwacyjnego, bardziej przydatną przy interpretacji omawianych dalej wyników, przedstawiono w tabeli 2. Dotyczy ona udziału procentowego dni z różną wielkością promieniowania słonecznego, usłonecznienia i zachmurzenia w rozpatrywanych trzech zbiorach danych.

Na ogół przyjmuje się, że funkcjonalna zależność sum dziennych całkowitego promieniowania słonecznego od usłonecznienia rzeczywistego (także względnego) ma postać równania liniowego, zwłaszcza gdy jest określana na bazie danych uśrednionych (np. dla miesięcy). Takie też podejście zastosowano, rozpatrując związek średnich dekadowych wartości sum dziennych promieniowania słonecznego ( $\Sigma Q_{s_d}$ ) i usłonecznienia rzeczywistego ( $U_r$ ) w Felinie (rys. 1a). Jak się jednak okazało, równie dobrze zależność tę daje się opisać wie-

lomianem II stopnia (rys. 1b). Natomiast przy wyznaczaniu zależności średnich dekadowych wartości sum dziennych promieniowania słonecznego od stopnia zachmurzenia ( $N_o$ ) stwierdzono (rys. 1c, d), że nieco lepszą dokładność opisu uzyskuje się za pomocą wielomianu niż równania liniowego (o czym świadczy większy o 1,3% współczynnik determinacji  $R^2$ ). Podkreślić należy również, że wartości  $R^2$  w otrzymanych równaniach dla związku dekadowych wartości  $\Sigma Q_{s_d}$  z  $U_r$  były niespełna o 9% większe niż dla związku  $\Sigma Q_{s_d}$  z  $N_o$ .

Obraz i wyniki analizy omawianych zależności, ale dokonanych na podstawie danych z pojedynczych dni podczas rozpatrywanych 5 okresów letnich (OL), przedstawiają wykresy na rysunku 2. Jeśli chodzi o zależności  $\Sigma Q_{s_d}$  od  $U_r$ , to oba zastosowane sposoby opisu (równanie liniowe i wielomian) były skuteczne w podobnym stopniu (niewiele różniące

TABELA 2. Częstość dni [%] o określonym przedziale wartości sumy dziennej całkowitego promieniowania słonecznego ( $\Sigma Q_{s_d}$ ), liczby godzin usłonecznienia rzeczywistego ( $U_r$ ) i wartości średniego zachmurzenia ogólnego ( $N_o$ ) w obrębie rozpatrywanych zbiorów danych

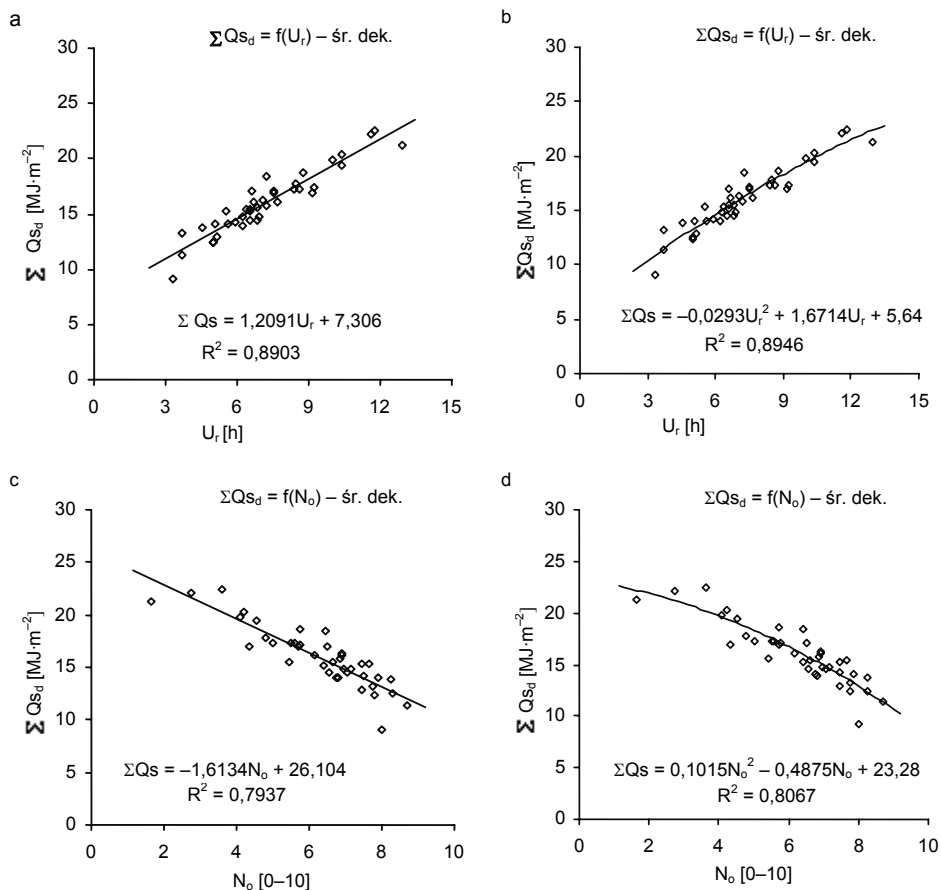
TABLE 2. Frequency of days [%] in several interval values of global solar radiation sum ( $\Sigma Q_{s_d}$ ), hours of sunshine duration ( $U_r$ ) and daily mean total cloudiness ( $N_o$ ) within the examined data sets

Rodzaj i przedział wartości danych Kind and interval values of the data	Okres lata Summer period	Dni bez opadu Days without precipitation	Dni z opadem Days with precipitation
$\Sigma Q_{s_d}$ [ $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ]			
0–5,0	4,6	0,4	11,4
5,01–10,0	12,0	4,4	24,1
10,01–15,0	23,4	15,9	35,4
15,01–20,0	30,5	32,9	26,6
> 20,01	29,5	46,4	2,5
$U_r$ [h]			
0–3,0	20,7	7,1	42,4
3,1–6,0	19,8	14,7	27,9
6,1–9,0	20,0	19,4	20,9
9,1–12,0	21,2	29,4	8,2
> 12,0	18,3	29,4	0,6
$N_o$ [0–10]			
0–2,0	9,7	15,9	0
2,1–4,0	14,9	23,0	1,9
4,1–6,0	20,5	25,4	12,7
6,1–8,0	23,9	23,0	25,3
8,1–10	31,0	12,7	60,1

się wartości  $R^2$ , a przy tym zbliżone do otrzymanych dla danych dekadowych). Natomiast w przypadku zależności  $\Sigma Q_{s_d}$  od  $N_o$  (rys. 2b) układ punktów na wykresie jednoznacznie wskazywał na konieczność stosowania przy jej opisie równania innego niż liniowe (tj. wielomianu). Zwraca też uwagę duży rozrzut punktów, znacznie większy niż przy rozpatrywaniu związku  $\Sigma Q_{s_d}$  z  $U_r$  ( $R^2$  mniejszy o 15%), co w pewnym stopniu można wytłumaczyć rodzajem danych, jakimi się tu posługiwano (zachmurzenie ogólne i to notowane tylko trzykrotnie w ciągu dnia) oraz specyfiką wpływu obecności poszczególnych rodzajów chmur na natężenie rejestrowanego promieniowania słonecznego całkowitego (Norris 1968, Kasten i Czeplak 1980). Znane zjawisko

występowania największych wartości  $\Sigma Q_{s_d}$  przy niewielkim zachmurzeniu (np. chmurami Cu), a nie przy bezchmurnym niebie, znalazło potwierdzenie także i w prezentowanym tu materiale obserwacyjnym – w przebiegu krzywej  $\Sigma Q_{s_d} = f(N_o)$  występuje maksimum przy stopniu zachmurzenia 1–1,3.

Wyniki przeprowadzonej analizy zależności  $\Sigma Q_{s_d}$  od  $U_r$  oraz  $N_o$  dla dni bezopadowych (dbo) podczas tych samych okresów letnich przedstawiono na rysunku 3a, b. Ze względu na mniejszą liczbę dni o umiarkowanym, a zwłaszcza dużym i całkowitym zachmurzeniu (patrz dane w tab. 2), nastąpiły zmiany położenia (przekoszenie) linii bądź krzywej zależności  $\Sigma Q_{s_d}$  od  $U_r$  oraz  $N_o$  w porównaniu do otrzymanych dla ca-

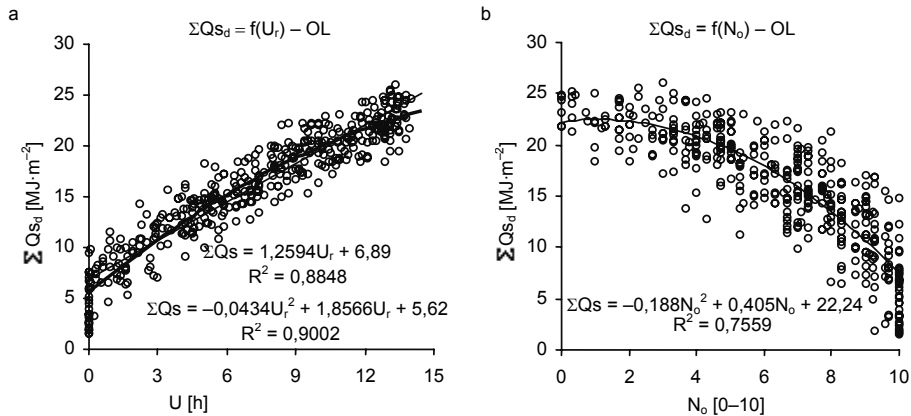


RYSUNEK 1. Związek średnich dekadowych sum dziennych promieniowania słonecznego całkowitego ( $\Sigma Q_{s_d}$ ) z usłonecznieniem rzeczywistym ( $U_r$ ) oraz stopniem zachmurzenia ogólnego ( $N_o$ ), określony za pomocą równań liniowych i wielomianu II stopnia, Felin, dane z okresów letnich (2. dekada V – 3. dekada VII) lat 1978, 1979, 1984, 1988 i 1989

FIGURE 1. Relationship of mean decade sums of global solar radiation during a day ( $\Sigma Q_{s_d}$ ) and recorded sunshine duration ( $U_r$ ) and total cloudiness ( $N_o$ ), described by linear equations and polynomial regressions, Felin, the data from summer periods (2nd decade May – 3rd decade July) of 1978, 1979, 1984, 1988 and 1989

łego okresu letniego, co wyraziło się zmniejszonymi wartościami współczynników kierunkowych równań przy wzroście wartości wyrazu wolnego mniej więcej o 2 MJ·m<sup>-2</sup>. Warto też zwrócić uwagę, że przebieg opisanej równaniem liniowym i wielomianem zależności  $\Sigma Q_{s_d}$  od  $U_r$  okazał się bardziej zbliżony

(o mniejszych różnicach) w przypadku dni bezopadowych (rys. 3a) niż dla całego okresu letniego (rys. 2a). Wykresy na rysunku 3c, d, przedstawiające omawiane zależności dla dni z opadem (dzo), są pochodną zupełnie innej niż w dniach bezopadowych częstości występowania różnych klas wielkości usłonecznienia



RYSUNEK 2. Związek sum dziennych promieniowania słonecznego całkowitego ( $\Sigma Q_{s_d}$ ) podczas okresu letniego (11 V – 31 VII): a – z usłonecznieniem rzeczywistym ( $U_r$ ), opisany równaniem liniowym i wielomianem II stopnia, b – ze średnim dziennym stopniem zachmurzenia ogólnego ( $N_o$ ), Felin, dane z lat 1978, 1979, 1984, 1988 i 1989

FIGURE 2. Relation of daily sums of global solar radiation ( $\Sigma Q_{s_d}$ ) during summer period (11 May – 31 July): a – and real sunshine duration ( $U_r$ ), described by linear regression and a 2-degree polynomial, b – and relation of these sums with mean day amount of total cloudiness ( $N_o$ ), Felin, the data from 1978, 1979, 1984, 1988 and 1989

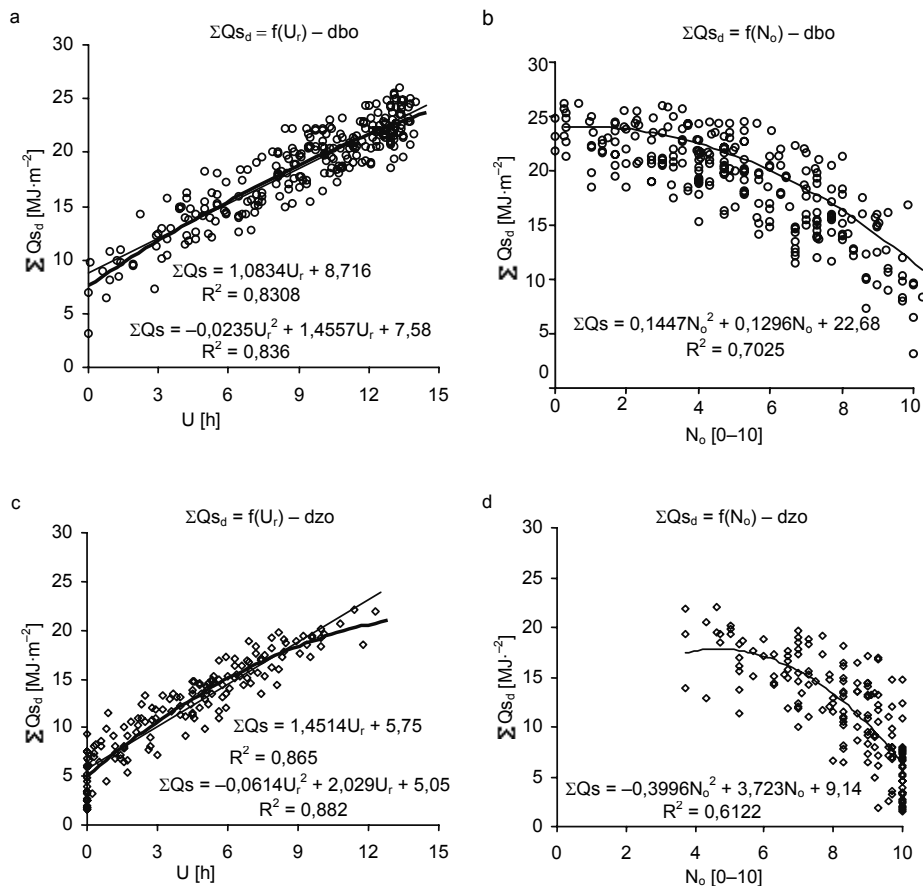
i zachmurzenia, zwłaszcza dotyczących wartości skrajnych (tab. 2). Należy podkreślić, że w równaniach zależności  $\Sigma Q_{s_d}$  od  $U_r$  dla dni z opadem wartości wyrazu wolnego są o 3 MJ·m<sup>-2</sup> mniejsze niż w analogicznych równaniach dla dni bezopadowych.

Porównanie efektywności stosowania poszczególnych równań do szacowania wartości  $\Sigma Q_{s_d}$  umożliwiają dane zestawione w tabeli 3. Już na pierwszy rzut oka widać, jak bardzo różnią się wielkością możliwych błędów szacowania wartości średnie dekadowe i z pojedynczych dni. Błędy względne wyliczonych wartości  $\Sigma Q_{s_d}$  dla pojedynczych dni są o rząd wielkości większe niż dla danych dekadowych, a błędy standardowe estymacji większe dwukrotnie. Duże różnice w wielkości możliwego błędu zaznaczyły się również, jeśli  $\Sigma Q_{s_d}$  oszacowano za pomocą równań otrzymanych dla całego okresu letniego i dla dni bezopado-

wych; w tym drugim przypadku błędy względne okazały się niemal dwukrotnie mniejsze. Inne, nader istotne spostrzeżenie, jakiego można dokonać, analizując dane w tej tabeli, to mniejsze błędy szacowania sum dziennych promieniowania słonecznego przy korzystaniu z równań zależności  $\Sigma Q_{s_d}$  od usłonecznienia niż zachmurzenia, a także gdy do opisu tych zależności stosowano regresję krzywoliniową (wielomian), a nie liniową.

## Uwagi końcowe i wnioski

Przyjęte w pracy podejście przy określaniu związku sum dziennych całkowitego promieniowania słonecznego z usłonecznieniem rzeczywistym i średnim dziennym stopniem zachmurzenia ogólnego podczas okresu letniego mogło być zastosowane tylko przy założeniu, że w rozpatrywanym przedziale czasowym



RYSUNEK 3. Związek sum dziennych promieniowania słonecznego całkowitego ( $\Sigma Q_{s_d}$ ) z usłonecznieniem rzeczywistym ( $U_r$ ) i średnim stopniem zachmurzenia ogólnego ( $N_o$ ) określony dla dni bezopadowych (dbo) i dni z opadem (dzo) podczas okresu letniego rozpatrywanych lat w Felinie.  
 FIGURE 3. Relations of daily sums of global solar radiation ( $\Sigma Q_{s_d}$ ) with real sunshine duration ( $U_r$ ) and mean amount of total cloudiness ( $N_o$ ) obtained for days without (dbo) and with precipitation (dzo) during summer period of the examined years in Felin

długość dnia jest zbliżona (tj. jej zróżnicowanie nie wpływa istotnie na kształt określanych zależności).

Prezentowane wyniki (w postaci szeregu równań), otrzymane zarówno na podstawie danych średnich dekadowych, jak i z codziennych pomiarów w okresie letnim w Felinie, mogą być praktycznie wykorzystywane do uzupełnienia luk w pomiarach promieniowania słonecznego

(tj. oszacowania jego sum dziennych na podstawie danych o usłonecznieniu bądź zachmurzeniu). Jednak cenniejszy wydaje się aspekt metodyczny pracy, dotyczący porównania siły związku sum dziennych całkowitego promieniowania słonecznego z usłonecznieniem rzeczywistym oraz średnim dziennym stopniem zachmurzenia ogólnego, a także dokładności opisu tych związków za po-



TABELA 3. Błędy szacowania sum dziennych promieniowania słonecznego całkowitego ( $\Sigma Q_{s_d}$ ) na podstawie danych o usłonecznieniu ( $U_r$ ) bądź zachmurzeniu ogólnym ( $N_o$ ) przy stosowaniu otrzymanych równań (vide rys. 1–3)

TABLE 3. Errors of estimation of daily sum of global solar radiation ( $\Sigma Q_{s_d}$ ) on the basis of data concerning the real sunshine duration ( $U_r$ ) and total cloudiness ( $N_o$ ) using obtained equations (vide Fig. 1–3)

Rodzaj zależności i typ równania Kind of relationships and equation type	Błąd względny [%] Relative error		Standardowy błąd estymacji [MJ·m <sup>-2</sup> ] Standard error of estimation
	średni mean	maksymalny maximal	
<b>OL</b> – wartości dekadowe / decade data			
$\Sigma Q_{s_d} = f(U_r)$ r. liniowe (rys. 1a) / linear eq. (Fig. 1a)	4,96	24,0	0,95
wielomian (rys. 1b) / polynomial (Fig. 1b)	4,87	19,0	0,93
$\Sigma Q_{s_d} = f(N_o)$ r. liniowe (rys. 1c) / linear eq. (Fig. 1c)	6,43	44,0	1,30
wielomian (rys. 1d) / polynomial (Fig. 1d)	6,26	40,5	1,26
<b>OL</b> – wartości dobowe / daily data			
$\Sigma Q_{s_d} = f(U_r)$ r. liniowe (rys. 2a) / linear eq. (Fig. 2a)	16,38	330,6	1,93
wielomian (rys. 2a) / polynomial (Fig. 2a)	14,35	251,3	1,80
$\Sigma Q_{s_d} = f(N_o)$ wielomian (rys. 2b) / polynomial (Fig. 2b)	22,55	423,7	2,81
<b>dbo</b> – wartości dobowe / daily data			
$\Sigma Q_{s_d} = f(U_r)$ r. liniowe (rys. 3a) / linear eq. (Fig. 3a)	9,01	174,2	1,77
wielomian (rys. 3a) / polynomial (Fig. 3a)	8,75	138,4	1,74
$\Sigma Q_{s_d} = f(N_o)$ wielomian (rys. 3b) / polynomial (Fig. 3b)	11,62	199,1	2,35
<b>dzo</b> – wartości dobowe / daily data			
$\Sigma Q_{s_d} = f(U_r)$ r. liniowe (rys. 3c) / linear eq. (Fig. 3c)	23,79	259,4	1,86
wielomian (rys. 3c) / polynomial (Fig. 3c)	21,26	215,6	1,75
$\Sigma Q_{s_d} = f(N_o)$ wielomian (rys. 3d) / polynomial (Fig. 3d)	35,53	394,6	3,16

Objaśnienia / Explanations

OL – okres letni (11 V – 31 VII) / summer period,

dbo, dzo – odpowiednio: dni bezopadowe i dni z opadem w okresie letnim / days without and with precipitation during summer period, respectively.

mocą dwóch typów równań (liniowego i wielomianu II stopnia). Analiza wielkości błędów oszacowywanych (według różnych równań) sum promieniowania słonecznego pozwoliła na wysunięcie następujących wniosków:

1. Generalnie przy szacowaniu sum dziennych promieniowania słonecznego lepiej jest korzystać z równań określających zależności tych sum od wielkości usłonecznienia niż stopnia zachmurzenia nieba, przy czym do opisu obu tych zależności (a złasz-

cza wyznaczanych na podstawie danych dobowych) lepiej jest stosować wielomian niż równanie liniowe.

2. Z większą dozą ufności można traktować dane o promieniowaniu słonecznym oszacowane według równań wyznaczonych na podstawie wartości uśrednionych (dekadowych, miesięcznych) aniżeli na podstawie zbiorów danych z pojedynczych dni.
3. Określanie tych zależności dla wydzielonych z całości materiału obserwacyjnego dni, charakterystycznych

pod jakimś względem (np. jak w niniejszej pracy – dni bezopadowych), jest sensowne, gdyż umożliwia szacowanie sum dziennych promieniowania słonecznego z mniejszym błędem.

**Podziękowania.** Gorące podziękowanie składamy Panu prof. dr. hab. Józefowi Kołodziejowi za umożliwienie pomiarów i dostęp do danych z Obserwatorium Agrometeorologicznego AR w Felinie oraz dr. Eugeniuszowi Filipiukowi z Zakładu Meteorologii i Klimatologii UMCS za okazaną pomoc przy uzupełnianiu luk w serii pomiarowej promieniowania słonecznego.

## Literatura

- BENNETT I. 1964: A method for preparing maps of mean daily global radiation. *Arch. fur Met. Geophys. Bioklim.* B, 13: 216–248.
- BERLAND T.G. 1960: Metodika klimatologicznych rasczetow summarnoj radiacii. *Meteor. Gidrol.* 6: 9–12.
- BOGDAŃSKA B., PODOGROCKI J. 2000: Zmienność całkowitego promieniowania słonecznego na obszarze Polski w okresie 1961–1995. *Materiały Badawcze IMGW, Meteorologia* 30.
- FILIPUŁ E. 1995: Przebieg roczny promieniowania całkowitego w Lublinie. IGiPZ PAN, Conf. Papers 23: 37–44.
- KASTEN F., CZEPLAK G. 1980: Solar and terrestrial radiation dependent on the amount and type of clouds. *Solar Energy* 24: 177–189.
- KOSSOWSKI J. 2000: Bilans promieniowania na polu pszenicy, koniczyny i bez roślin w relacji do całkowitego promieniowania słonecznego. *Acta Agroph.* 34, 89–100.
- KOSSOWSKI J., ŁYKOWSKI B. 1999: O relacji między promieniowaniem słonecznym a bilansem promieniowania na polu pszenicy ozimej [w:] Modelowanie i monitorowanie procesów agrofizycznych w środowisku glebowym (red.) R. Walczak, B. Usowicz. PTA, Lublin: 40–43.
- ŁYKOWSKI B. 1987: The structure of the radiation balance of selected plant surfaces. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 346: 77–83.
- NIEDZIAŁEK H. 1983: Dienne sumy całkowitego promieniowania słonecznego w różnych masach powietrznych w Puławach. *Annales UMCS, B,* 35/36: 139–160.
- NORRIS D.J. 1968: Correlation of solar radiation with clouds. *Solar Energy* 12: 107–112.
- PALTINEANU C., MIHAILESCU I.F., TORICA V., ALBU A.N. 2002: Correlation between sunshine duration and global solar radiation in south-eastern Romania. *Int. Agrophysics* 16: 139–145.
- PODOGROCKI J. 1977: Zmienność czasowa promieniowania całkowitego w Polsce. *Zesz. Nauk. ART Olszt., Rolnictwo* 21: 113–125.
- PODOGROCKI J. 1978: Spatial distribution of global solar radiation in Poland. *Publ. Inst. Geophys. PAND-5(120)*: 17–30.
- SMOLEN F. 1995: Effect of cloudiness on short- and long-wave radiation fluxes. IGiPZ PAN, Conf. Papers 23: 51–59.
- TAMULEWICZ J. 1988: Bilans radiacyjny w świetle formuł empirycznych na przykładzie powierzchni łąkowej w rejonie Turwi. *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią A, Geogr. Fiz.* 39: 131–150.
- TAMULEWICZ J., WOŚ A. 1996: Radiation characteristics of agricultural landscapes [in:] Dynamics of an agricultural landscape (eds.) L. Ryszkowski, N.R. French, A. Kędziora. PWRiL, Poznań.

## Summary

**Daily sums of solar radiation during summer period in Felin near Lublin and their relationship with sunshine duration and cloudiness.** The paper presents the relationships between daily sums of global solar radiation and real sunshine duration and separately, mean for a day amount of total cloudiness (computed from three standard observation terms) within 11 May – 31 July period in Felin. This period is approximated to the insolation summer one and is charac-

terised by a long day (at least 15.5) and slight differentiation in time. The relationships were obtained on the basis of mean decade data and a stretch of single days during five seasons (but not successive). They were described with two types of equation regressions: linear and curvilinear (a 2-degree polynomial). Additionally, the same relationships were determined regarding the days without and with precipitation during the examined summer periods. The analysis performed in relation to effectiveness of each of these equations application to estimate daily sums of global solar radiation (the relative and standard errors) showed that better results are obtained from the equations concerning relations of the solar radiation with sunshine duration than cloudiness. It also revealed that to describe both types of the relationships,

a polynomial is more efficient than linear regression (particularly in the case of daily data examination). Moreover, it was stated that determination of these relationships for some specific days (eg. days without precipitation) is appropriate as it allows to estimate the daily sum of solar radiation with smaller errors.

**Autors' addresses:**

Jan Kossowski  
Instytut Agrofizyki PAN  
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin  
Poland

Bonifacy Łykowski  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
Zakład Meteorologii i Klimatologii  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
Poland