

BILANS PROMIENIOWANIA NA POLU PSZENICY, KONICZYNY  
I BEZ ROŚLIN W RELACJI DO CAŁKOWITEGO  
PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

*J. Kossowski*

Instytut Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego, Polska Akademia Nauk  
ul. Doświadczalna 4, P.O. Box 201, 20-290 Lublin 27

**S t r e s z c z e n i e.** W pracy wykorzystano wyniki pomiarów całkowitego promieniowania słonecznego i bilansu promieniowania na polu pszenicy ozimej, koniczyny czerwonej i z glebą bez roślin, przeprowadzonych w wybranych dniach wiosennych i letnich w Felinie koło Lublina. Dokonano porównania bilansu promieniowania na tych polach przy występowaniu różnych warunków pogodowych, przy czym główną uwagę skupiono na relacji między wielkościami bilansu promieniowania i promieniowania słonecznego. Rozpatrywano stosunek sum tych strumieni promieniowania z okresu dziennego (od wschodu do zachodu słońca) oraz w różnych porach dnia, a ponadto wyznaczono równania opisujące zależność bilansu promieniowania od promieniowania słonecznego w przebiegu dziennym (w oparciu o wartości półgodzinne). Stwierdzono, że relacja między całkowitym promieniowaniem słonecznym a bilansem promieniowania była wyraźnie różna przy porównaniu pól z pokrywą roślinną i bez niej, natomiast mało zróżnicowana w przypadku pól z uprawą roślin tworzących w pełni okresu wegetacyjnego zwarty lan (jak pszenica i koniczyna).

**S ł o w a k l u c z o w e:** bilans promieniowania, pszenica, koniczyna, gleba bez roślin

WSTĘP

Podstawowym czynnikiem kształtującym warunki klimatyczne naturalnego i rolniczego środowiska roślin (gleby i przygruntowej warstwy powietrza) jest proces dopływu, transformacji i wymiany energii zachodzący na powierzchni granicznej między atmosferą a jej podłożem, nazywanej z tego względu powierzchnią czynną. W przypadku pól uprawnych stanowi ją powierzchnia gleby bądź powierzchnia gleby i porastających ją roślin łącznie. Transformacja i wymiana energii dokonuje się wówczas w obrębie warstwy czynnej, której grubość i charakter zmienia się w miarę wzrostu i rozwoju roślin. Rodzaj i charakter powierzchni (warstwy) czynnej jest więc - obok warunków atmosferycznych - istotnym czynnikiem kształtującym strukturę bilansu promieniowania, a także inne składniki bilansu cieplnego na polach uprawnych.

Wartość bilansu promieniowania ( $R_n$ ) w danym czasie określa różnica natężenia strumieni promieniowania skierowanych do- i od powierzchni czynnej:

$$R_n = R_k + R_d = (1 - \alpha) Q_s + R_d \quad (1)$$

gdzie:  $R_k$  - bilans promieniowania w zakresie krótkofalowym,  $R_d$  - bilans promieniowania w zakresie długofalowym,  $Q_s$  - promieniowanie słoneczne,  $\alpha$  - albedo powierzchni czynnej (tj. stosunek promieniowania słonecznego odbitego od powierzchni do padającego na nią). Na ogół przyjmuje się, że podczas okresu wegetacyjnego (miesiące letnich), wielkość bilansu promieniowania stanowi w przybliżeniu połowę (lub niewiele więcej) wielkości całkowitego promieniowania słonecznego rejestrowanego nad powierzchnią czynną [5,10]. Z danych eksperymentalnych wynika jednak, że stosunek  $R_n/Q_s$  dla różnych powierzchni naturalnych i rolniczych może wynosić od 0,3 do 0,8 [1,2,8,9,12]. Podobnie jest z zależnością bilansu promieniowania od promieniowania słonecznego, określaną dla różnych powierzchni (zazwyczaj poprzez równanie  $R_n = a Q_s - b$ ). Z zestawienia dokonanego przez Linacre [7] wynika, że współczynnik kierunkowy „a” w tego typu równaniach wyznaczonych dla rozmaitych naturalnych i rolniczych obiektów zawierał się w przedziale 0,58-0,94. Ponadto stwierdzane było zróżnicowanie relacji bilansu promieniowania - promieniowanie słoneczne w trakcie badań prowadzonych na jednym (określonym) obiekcie w wyniku zmian charakteru powierzchni czynnej (np. w kolejnych fazach rozwoju roślin), jak i oddziaływania warunków pogodowych [6,9,11].

Znane z literatury wyniki badań nie zawsze jednak są porównywalne, z uwagi na różne warunki prowadzenia pomiarów oraz obszerność i sposób opracowania materiału obserwacyjnego. W tym kontekście niniejsza praca stanowi dalszy przyczynek do zagadnienia zróżnicowania bilansu radiacyjnego i jego struktury na polach uprawnych. Celem jej jest przedstawienie związku między wartościami całkowitego promieniowania słonecznego a bilansu promieniowania na polu pszenicy ozimej, koniczyny czerwonej i bez roślin, określonego w oparciu o dane uzyskane z równoległe prowadzonych pomiarów, a przy tym obejmujące różne przedziały czasowe w ciągu dnia.

#### OBIEKT I METODY BADAŃ

Materiał obserwacyjny wykorzystany w pracy stanowią wyniki pomiarów przeprowadzonych w latach 1978 i 1979 na tzw. polach ustalonych przy Stacji Agrometeorologicznej AR w Lublinie, położonych na peryferiach miasta (w Felinie). Na polach tych (z glebą płową, lessopodobną) uprawiano 6 różnych roślin, w tym pszenicę ozimą i koniczynę czerwoną. Pola z uprawą tych właśnie, tak

odmiennych roślin, wybrano jako obiekty badań porównawczych prowadzonych w okresie wegetacji wiosenno-letniej w 1978 roku. Natomiast w następnym sezonie pomiary prowadzone były równocześnie na polu pszenicy i bez roślin.

Promieniowanie słoneczne całkowite mierzono solarymetrem holenderskiej firmy Kipp i Zonen zainstalowanym na Stacji, a bilans promieniowania na poszczególnych polach - za pomocą bilansomierzy typu CN-1 australijskiej firmy Middleton. Bilansomierze umieszczone były na wysokości 1,5 m nad glebą jak i łanem roślin. Systematyczne pomiary średniej wysokości łanu i odpowiednio częste podwyższanie przyrządu umocowanego na wysięgniku masztu, zapewniało utrzymywanie tego dystansu w trakcie sezonu. Rejestrowane były chwilowe wartości sygnałów napięciowych, które następnie przeliczano (wyrażając je w jednostce natężenia strumienia promieniowania) i uśredniano dla okresów półgodzinnych.

Porównania przebiegu dziennego bilansu promieniowania na rozpatrywanych polach oraz analizy jego relacji do całkowitego promieniowania słonecznego dokonano w oparciu o materiały z 10 wybranych dni w danym sezonie. Były to wyłącznie dni bez opadów atmosferycznych, a przy tym dobrane tak, by reprezentowały różne warunki pogodowe (dni pochmurne, o zachmurzeniu umiarkowanym, zmiennym oraz dni słoneczne i bezchmurne). W sezonie 1978 wybrano dni: 17, 18 i 19 maja, 6, 7, 13 i 14 czerwca oraz 13, 16 i 18 lipca, a w sezonie 1979 - 5, 6, 9, 11, 12, 25, 26 i 29 czerwca oraz 4 i 5 lipca. Dane charakteryzujące warunki atmosferyczne w tych dniach zamieszczone zostały w innej pracy [6].

Zróźnicowanie stanu powierzchni (warstwy) czynnej na polach w trakcie sezonu 1978 wiązało się z kolejnymi fazami rozwoju i zmianą wysokości roślin, jak również planową ingerencją użytkownika pól (RZD w Felinie). Podczas rozpatrywanych dni w maju, średnia wysokość pokrywy roślinnej na polu koniczyny wynosiła 26-29 cm, natomiast pszenicy ozimej 37-40 cm (faza strzelania w źdźbło). W wybranych dniach czerwca średnia wysokość łanu roślin wzrastała od 69 do 78 cm w przypadku koniczyny (początek kwitnienia), a pszenicy - od 75 do 88 cm (faza kłoszenia). W dniu 21 czerwca koniczyna została skoszona i uprzątnięta, w związku z czym podczas pozostałych uwzględnianych dni w miesiącu lipcu - mimo iż odrastające rośliny miały wysokość 34-41 cm - charakter powierzchni czynnej tego pola różnił się od występującego wcześniej (pokrywa roślinna nie była już tak równa i jednolicie zwarta). W tym samym czasie wysokość łanu pszenicy, znajdującej się w końcowym okresie dojrzałości mleczej, wynosiła 103 cm.

Wybrane dni w sezonie 1979 obejmowały fazę kłoszenia do dojrzałości mleczej pszenicy (włącznie), przy czym średnia wysokość jej łanu wzrastała od 73 do 93 cm. Na stanowiącym wtedy obiekt badań porównawczych polu bez roślin przeprowadzone

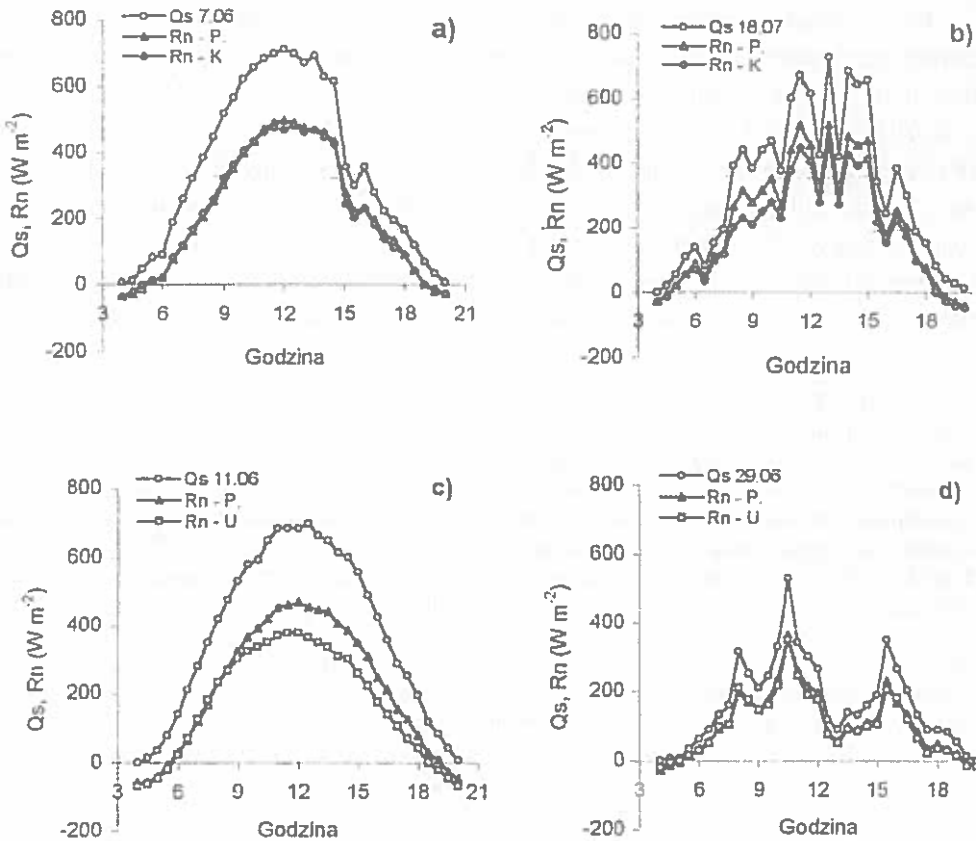
zostały zabiegi: orka jesienna oraz spulchnienie gleby kultywATOREM i broną na wiosnę, a chwasty likwidowano poprzez opryski poletka herbicydami (ponawiane w miarę ich pojawiania się). Należy dodać, że w wyniku właściwej dla tej gleby tendencji do zaskorupiania się i wcześniej występujących opadów, powierzchnia gleby na poletku była wyrównana, o znikomym mikroreliefie. Ponadto, wahania zawartości wody w powierzchniowej (0-5 cm) warstwie gleby podczas rozpatrywanych dni, mieszczące się w przedziale  $0,136 - 0,185 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , okazały się znacznie mniejsze niż na polu pszenicy ( $0,064 - 0,215 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ).

Przy porównywaniu wartości bilansu promieniowania na rozpatrywanych polach oraz przy określaniu ich stosunku do całkowitego promieniowania słonecznego zdecydowano posługiwać się sumami obliczonymi dla różnych okresów dnia. Ze względu na charakter przebiegu dobowego bilansu promieniowania, w tym krótszy okres występowania dodatnich (skierowanych ku powierzchni czynnej) jego wartości w porównaniu do okresu dopływu promieniowania słonecznego, występowanie maksimum dziennego w godzinach południowych oraz zaznaczającą się niekiedy asymetrię przebiegu, obliczono i poddano analizie: 1) sumy bilansu promieniowania w okresie dziennym (od wschodu do zachodu słońca), 2) sumy wartości dodatnich w danym dniu, 3) sumy z trzech godzin okołopołudniowych, 4) sumy wartości dodatnich w godzinach przed i popołudniowych. Po dokonaniu analizy czasu występowania wartości dodatnich  $R_n$  i wartości  $Q_s$  większych od zera oraz z uwagi na korzystanie nie z chwilowych lecz średnich półgodzinnych wartości promieniowania, przyjęto przy tym stosować stały (średni) przedział 16-godzinny dla okresu dziennego, a 12-godzinny dla okresu występowania dodatnich wartości  $R_n$ . Mimo tego uproszczenia, uzyskiwane wyniki tylko nieznacznie odbiegały od rzeczywistych [6].

Oprócz określenia stosunku sum bilansu promieniowania na rozpatrywanych polach do promieniowania słonecznego, wyznaczono również równania opisujące zależność  $R_n$  od  $Q_s$  w poszczególnych dniach oraz we wszystkich 10 (łącznie) wybranych w danym sezonie dniach.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Niezależnie od warunków pogodowych, przebiegi bilansu promieniowania na polu pszenicy i koniczyny w wybranych dniach maja i czerwca 1978 roku były bardzo zbliżone, natomiast odbiegały od siebie w miesiącu lipcu (co ilustruje Rys. 1a, b). Wiązało się to ze stanem pokrywy roślinnej, w gruncie rzeczy podobnym pod względem wysokości i zwartości łanu w pierwszych miesiącach, a zróżnicowanym w późniejszym okresie (gdym na jednym polu znajdowała się odrastająca po skoszeniu koniczyna, a na drugim łan pszenicy osiągający największą wysokość podczas



Rys. 1. Porównanie przebiegu dziennego całkowitego promieniowania słonecznego ( $Q_s$ ) i bilansu promieniowania ( $R_n$ ) na polu pszenicy ozimej (P) i koniczyny czerwonej (K) w dniu 7.06.1978 i 18.07.1978 oraz na polu pszenicy (P) i bez roślin (U) w dniu pogodnym (11.06.1979) i pochmurnym (29.06.1979).

Fig. 1. Comparison of the daily course of total solar radiation ( $Q_s$ ) and net radiation ( $R_n$ ) on winter wheat field (P) and red clover field (K) in 7.06 and 18.07.1978, as well as on winter wheat field (P) and bare soil (U) in the day with clear (11.06.1979) and overcast sky (29.06.1979).

sezonu). Różnice te nie były jednak tak duże jak w przypadku przebiegów bilansu promieniowania obserwowanych w dniach słonecznych na polach o diametralnie różnym charakterze powierzchni czynnej, tj. polu pszenicy i bez roślin. Zaznaczały się one począwszy od godzin przedpołudniowych i utrzymywały aż do końca dnia, przy czym mniejsze wartości bilansu promieniowania notowano na polu bez roślin (Rys. 1c). W dniach pochmurnych natomiast, różnice wartości bilansu promieniowania w przebiegu dziennym pomiędzy polem pszenicy i bez roślin były niemal zupełnie zniwelowane (Rys. 1d).

Potwierdzeniem powyższych spostrzeżeń są dane liczbowe zawarte w Tabeli 1, dotyczące średnich sum bilansu promieniowania w okresie 12-godzinnym (w przybliżeniu odpowiadającym okresowi występowania jego wartości dodatnich), jak i wartości stosunku sum bilansu promieniowania do sum promieniowania słonecznego ( $sRn/sQs$ ) obliczonego dla 16-, 12- i 3-godzinnych okresów podczas dnia. Porównanie danych z pola pszenicy i koniczyny - niemal identycznych dla rozpatrywanych 7 dni w maju i czerwcu 1978, a zróżnicowanych (mniejszych na polu koniczyny) dla 3 dni lipca - wskazuje na podobieństwo kształtowania się bilansu promieniowania na tych polach w trakcie sezonu wegetacyjnego. Podobieństwo to

**Tabela 1.** Średnie oraz najmniejsze i największe wartości stosunku  $sRn/sQs$  w rozpatrywanych dniach badań na poszczególnych polach obliczone na bazie danych: a) z okresu dziennego (16 h), b) okresu o dodatnich wartościach  $Rn$  (12 h), c) 3 godzin okolicy południowych, d) jako stosunek sumy wartości dodatnich  $Rn$  do sumy  $Qs$  w godzinach przedpołudniowych i e) w godzinach popołudniowych, w zestawieniu z sumami  $Rn$  podczas 12-godzinnego okresu o wartościach dodatnich. Objasnienia: P, K, U - odpowiednio, pole pszenicy, koniczyny i bez roślin; (10), (7), (3) - ilość uwzględnianych dni (10 w sezonie, 7 w miesiącu maju i czerwcu, 3 w lipcu)

**Table 1.** Mean, lowest and highest values of the ratio of net to solar radiation sums ( $sRn/sQs$ ) in ten analysed days during a given season, calculated on the data base: a) from sunrise to sunset (16 h), b) for period with positive net radiation values (12 h), c) for three midday hours; and as ratio of positive values  $Rn$  to solar radiation sums ( $sRn+sQs$ ) in a forenoon (d) and afternoon (e) period. Additionally, the sums of positive values of net radiation are presented. Explanations: P, K, U - winter wheat field, red clover field and bare soil, respectively; (10), (7), (3) - number of days taken into consideration (10 days during a season, 7 in May and June, 3 in July)

Pole sezon	Wartość	Suma $Rn+$ ( $J\ cm^{-2}$ )	$sRn/sQs$			$sRn+sQs$	
			a	b	c	d	e
P- 1978	Najmniejsza	526	0,531	0,568	0,627	0,600	0,564
	Największa	1326	0,699	0,726	0,742	0,710	0,706
	Średnia (10)	1041	0,629	0,659	0,689	0,635	0,645
	Średnia (7)	1041	0,625	0,655	0,684	0,629	0,643
	Średnia (3)	1042	0,639	0,669	0,700	0,650	0,651
K- 1978	Najmniejsza	489	0,492	0,528	0,520	0,526	0,466
	Największa	1302	0,638	0,675	0,691	0,658	0,664
	Średnia (10)	1002	0,605	0,636	0,658	0,615	0,614
	Średnia (7)	1043	0,626	0,657	0,681	0,633	0,639
	Średnia (3)	906	0,556	0,587	0,605	0,573	0,557
P - 1979	Najmniejsza	623	0,583	0,602	0,603	0,548	0,576
	Największa	1397	0,655	0,675	0,723	0,688	0,691
	Średnia (10)	1113	0,609	0,637	0,674	0,608	0,634
U- 1979	Najmniejsza	583	0,448	0,486	0,515	0,484	0,442
	Największa	1093	0,610	0,632	0,656	0,658	0,551
	Średnia (10)	920	0,502	0,533	0,567	0,539	0,494

występuje przynajmniej do czasu zmiany barwy (w fazie dojrzewania pszenicy i kwitnienia koniczyny) lub zaistnienia innego typu zdarzeń (jak np. wyleganie czy skoszenie roślin). Warto dodać, że również stosunek sumy dodatnich wartości  $R_n$  do sumy promieniowania słonecznego ( $sR_n/sQ_s$ ), obliczony oddzielnie dla godzin przed i popołudniowych, był na obu polach podobny w dniach przed skoszeniem koniczyny, a wyraźnie różny w następujących dniach. Ponadto zwraca uwagę zmiana wartości tego stosunku w okresie przedpołudniowym w porównaniu do popołudniowego. Na polu pszenicy oraz koniczyny przed skoszeniem stosunek  $sR_n/sQ_s$  w godzinach przedpołudniowych okazał się mniejszy niż w godzinach popołudniowych, natomiast na polu koniczyny po jej skoszeniu - większy przed południem.

Wpływ rodzaju powierzchni czynnej na kształtowanie się bilansu promieniowania na polach uprawnych najbardziej jest widoczny przy analizie danych z pola pszenicy i bez roślin zebranych w sezonie 1979 (Tabela 1). Suma dodatnich wartości  $R_n$  na polu pszenicy (średnia z 10 wybranych dni) była o 17% większa niż na polu bez roślin, a stosunek wartości  $sR_n/sQ_s$  większy o 0,1 we wszystkich trzech (16, 12 i 3-godzinnych) okresach dnia. Należy zaznaczyć, że w każdym z analizowanych dni suma  $R_n$  na polu pszenicy była większa, ale w pochmurnym dniu (29 czerwca) tylko o 7%, podczas gdy w dniu słonecznym (11 czerwca) aż o 23% w porównaniu do zanotowanej na polu bez roślin. Porównanie wartości stosunku  $sR_n/sQ_s$  w dwóch połowach dnia na tych polach wykazuje, że na polu pszenicy większe wartości stosunku notowano po południu, natomiast na polu bez roślin przed południem, przy czym różnice między przedpołudniową a popołudniową częścią dnia były o wiele bardziej znaczące niż stwierdzone w przypadku pola pszenicy i odrastającej koniczyny.

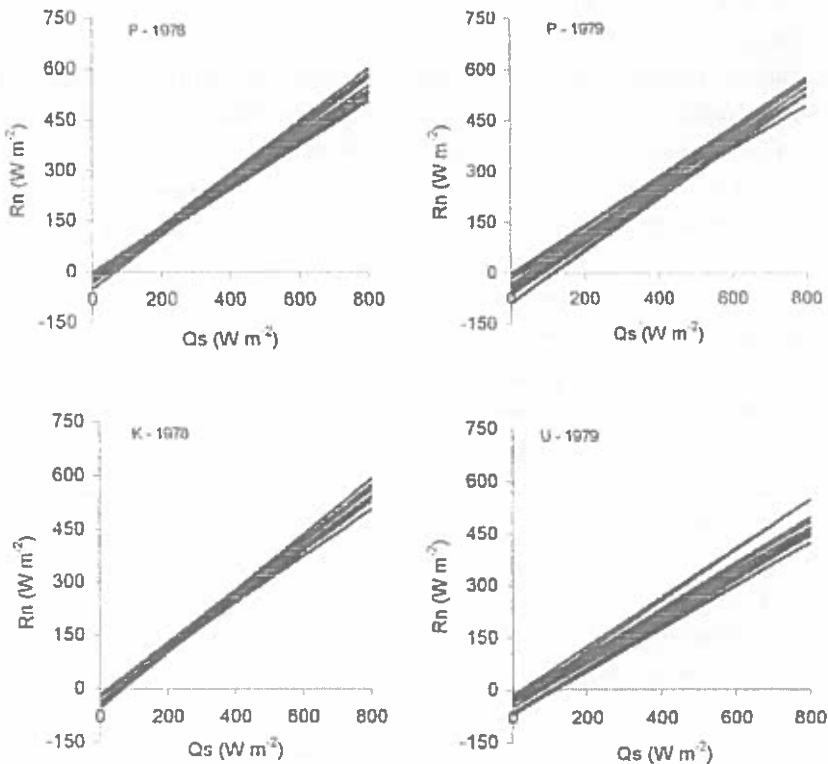
Uogólniając powyższe spostrzeżenie można wysunąć wniosek, że dla zielonego łąnu roślin (np. pszenicy czy koniczyny) charakterystyczne jest występowanie większych wartości stosunku  $sR_n/sQ_s$  w godzinach popołudniowych w porównaniu do godzin przedpołudniowych, a w przypadku gleby nie porośniętej roślinnością (i zwłaszcza w dniach słonecznych) występowanie większych wartości tego stosunku w okresie przedpołudniowym. Przyczyn obserwowanej nierównomierności (asymetrii) relacji wartości bilansu promieniowania do całkowitego promieniowania słonecznego w przed- i popołudniowej połowie dnia, inaczej zaznaczającej się na polach z pokrywą roślinną i bez niej, należy upatrywać w różnym przebiegu absorpcji promieniowania słonecznego i tempie ogrzewania się, a następnie wychładzania powierzchni (warstwy) czynnej na tych polach.

Przedstawione w Tabeli 1 dane pokazują również jak dalece zróżnicowane wartości stosunku  $R_n/Q_s$  notowane były w poszczególnych dniach badań (głównie pod wpływem warunków pogodowych). Zagadnienie to omawiane było gdzie indziej [4], warto jednak

je zasygnalizować, gdyż świadczy o znaczeniu innych czynników niż charakter powierzchni czynnej, w kształtowaniu tego stosunku na polach uprawnych.

Dokonaną analizę relacji między bilansem promieniowania na polu pszenicy, koniczyny i bez roślin a promieniowaniem słonecznym uzupełnia rozpatrzenie zależności  $R_n = f(Q_s)$ . W oparciu o średnie wartości z okresów półgodzicznych wyznaczone zostały równania regresji  $R_n = a Q_s - b$  dla każdego z wybranych dni, a także - na podstawie łącznych danych z 10 dni w sezonie - analogiczne równania charakteryzujące zależność  $R_n$  od  $Q_s$  na określonym polu (przy przeciętnym dla tych dni stanie pogody i powierzchni czynnej). Otrzymywane przy tym współczynniki korelacji były zawsze wysokie (ponad 0,95).

Jak pokazują wykresy na Rys. 2, zależność bilansu promieniowania od całkowitego promieniowania słonecznego w poszczególnych dniach na danym polu nie była taka



Rys. 2. Linie regresji otrzymane przy określaniu zależności bilansu promieniowania od promieniowania słonecznego całkowitego podczas wybranych dni w danym sezonie na polu pszenicy (P), koniczyny (K) i bez roślin (U).

Fig. 2. Regression lines of net on total solar radiation obtained on the basis of 12-hourly data during particular days in a given season for field of winter wheat (P), red clover (K) and bare soil (U).



sama, przy czym przyczyny tego zróżnicowania należy upatrywać bardziej w panujących w tych dniach warunkach pogodowych, niż zmianie stanu powierzchni (warstwy) czynnej. Wartości współczynników kierunkowych „a” w równaniach dotyczących pola pszenicy mieściły się w przedziale od 0,635 do 0,796 (sezon 1978) i od 0,616 do 0,795 (sezon 1979), pola koniczyny - od 0,662 do 0,792, a pola bez roślin - od 0,604 do 0,703. Okazało się więc, że na polach z szatą roślinną wartości tego współczynnika występowały w podobnym przedziale (pomimo różnych cech ładu), natomiast na polu bez roślin były przeważnie niższe. Wartości współczynników b w równaniach, jakkolwiek znacznie zróżnicowane pomiędzy dniami, nie wykazywały widocznego powiązania z rodzajem pola.

Równania ogólnie opisujące omawianą zależność na poszczególnych polach w trakcie 10-dniowych pomiarów (uzyskane na podstawie 240 par danych z okresów 12-godzinnych odpowiadających w przybliżeniu występowaniu dodatnich wartości  $R_n$  podczas dnia), były następujące:

- dla pola pszenicy w sezonie 1978

$$R_n = 0,737 Q_s - 26,1 \text{ W m}^{-2} \quad (r=0,985 \quad R^2=96,9\% \quad \text{bł.st.}=23,3), \quad (2)$$

- dla pola pszenicy w sezonie 1979

$$R_n = 0,704 Q_s - 28,3 \text{ W m}^{-2} \quad (r=0,982 \quad R^2=96,4\% \quad \text{bł.st.}=26,6), \quad (3)$$

- dla pola koniczyny (sezon 1978)

$$R_n = 0,724 Q_s - 30,4 \text{ W m}^{-2} \quad (r=0,991 \quad R^2=98,2\% \quad \text{bł.st.}=17,7), \quad (4)$$

- dla pola bez roślin (sezon 1979)

$$R_n = 0,579 Q_s - 22,4 \text{ W m}^{-2} \quad (r=0,976 \quad R^2=95,2\% \quad \text{bł.st.}=25,3). \quad (5)$$

Porównanie ich wskazuje, że tylko przy zdecydowanie odmiennym charakterze powierzchni czynnej (jak w zestawieniu gleba - łąn roślin) zaznacza się wyraźnie zróżnicowanie zależności bilansu promieniowania od całkowitego promieniowania słonecznego. Tym samym potwierdzone zostały spostrzeżenia dokonane wcześniej, przy analizie stosunku sum wartości tych strumieni promieniowania z analogicznych (a także innych) okresów w ciągu dnia.

Przedstawione w pracy wyniki odnośnie relacji między bilansem promieniowania a promieniowaniem słonecznym na polu pszenicy, koniczyny i bez roślin, uzyskane w oparciu o wyselekcjonowany materiał obserwacyjny (z dni bezopadowych, o zróżnicowanym lecz przeważnie niewielkim lub umiarkowanym zachmurzeniu nieba), mogą nieco odbiegać od danych uśrednionych dla ciągu dni w dłuższym okresie (np. dla miesięcy czy okresów międzyfazowych roślin). Wiąże się to z wpływem warunków atmosferycznych na przebiegi dobowe  $R_n$  i  $Q_s$ , a tym samym na ich relację. W dniach

pochmurnych zarówno wartości stosunku  $Rn/Q_s$  jak i współczynników w równaniach  $Rn = a Q_s - b$  są relatywnie niższe [3,6, 7], toteż uwzględnianie takich dni w zbiorze danych wyjściowych musi powodować obniżenie średniej wartości stosunku  $Rn/Q_s$  obliczanej dla wszystkich dni w danym okresie, czy też wartości współczynników (zwłaszcza kierunkowego) przy określaniu zależności  $Rn = f(Q_s)$ . W ten sposób uzasadnić można np. nieco niższe (o 2-5%) wartości stosunku  $Rn/Q_s$  w okresie dziennym na polu pszenicy i koniczyny uzyskane przez Łykowskiego [8] w porównaniu do prezentowanych w niniejszej pracy, a także wyższą wartość współczynnika kierunkowego ( $a = 0,808$ ) otrzymaną przez Fritschena [4] dla pola pszenicy (w Arizonie), na podstawie pomiarów prowadzonych od wschodu do zachodu słońca przy bezchmurnej pogodzie.

### WNIOSKI

Zróznicowanie relacji między całkowitym promieniowaniem słonecznym a bilansem promieniowania na polach uprawnych zaznacza się wyraźnie przy porównaniu pól z pokrywą roślinną i bez niej, natomiast jest niewielkie i trudniejsze do uchwycenia w przypadku pól z uprawą różnych roślin (jak pszenicy i koniczyny) tworzących w pełni okresu wegetacyjnego zwarty łańcuch roślinności. Wskazuje na to dokonana analiza stosunku wartości bilansu promieniowania do wartości promieniowania słonecznego podczas różnych okresów dnia, jak i równań opisujących zależność między tymi strumieniami promieniowania na polu pszenicy ozimej, koniczyny czerwonej i glebie bez roślin.

Oprócz charakteru powierzchni czynnej, na relację między promieniowaniem słonecznym a bilansem promieniowania wpływają warunki atmosferyczne panujące w danym dniu. Zróznicowanie tej relacji pomiędzy dniami słonecznymi i ciepłymi a pochmurnymi i chłodnymi stwierdzone na danym obiekcie sprawia, iż wyniki badań uzyskane przy określonym typie pogody (np. w dniach bezchmurnych) mogą odbiegać od otrzymanych dla ciągu dni o różnej pogodzie.

Odpowiednio do przebiegu bilansu promieniowania i promieniowania słonecznego, również stosunek ich wartości (obliczany w kolejnych godzinach) wykazuje wyraźny przebieg dzienny. Należy mieć to na uwadze, zwłaszcza, że ujmowany jest na ogół za pomocą jednej wartości liczbowej dla danego dnia (wartości średniej dla wielodniowych okresów badań). Duże znaczenie ma przy tym stosowanie danych obejmujących okres całej doby, okres od wschodu do zachodu słońca lub inny, gdyż konsekwencją jest uzyskiwanie znacznie odbiegających od siebie wartości stosunku bilansu promieniowania do całkowitego promieniowania słonecznego.

## PODZIĘKOWANIE

Panu prof. dr hab. B. Łykowskiemu z Zakładu Meteorologii i Klimatologii SGGW w Warszawie, za współpracę przy organizacji i prowadzeniu pomiarów oraz cenne wskazówki dotyczące przygotowania niniejszej pracy, składam gorące podziękowanie.

## PIŚMIENNICTWO

1. Aase J.K.: Growth, water use and energy balance comparisons between isogenic lines of barley. *Agron.J.*, 63, 425-428, 1971.
2. Ekern P.C.: The fraction of sunlight retained as net radiation in Hawaii. *J.Geophys.Res.*, 70, 785-793, 1965.
3. Feddes R.A.: Water, heat and crop growth. *Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen*, 71-12, 1971.
4. Fritschen L.J.: Net and solar radiation relations over irrigated field crops. *Agr.Meteorol.*, 4, 55-62, 1967.
5. Kędziora A., Tamulewicz J.: Bilans cieplny. W: *Obieg wody i bariery biogeochemiczne w krajobrazie rolniczym* (Red. L.Ryszkowski, J.Marcinek, A.Kędziora). *Wyd.Nauk. UAM, Poznań*, 47-57, 1990.
6. Kossowski J.: Promieniowanie słoneczne całkowite a bilans promieniowania na polu pszenicy ozimej. *Acta Agrophysica*, 22, 59-72, 1999.
7. Linacre E.T.: Estimating the net radiation flux. *Agr. Meteorol.*, 5, 49-63, 1968.
8. Łykowski B.: The structure of the radiation balance of selected plant surfaces. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 346, 77-83, 1987.
9. Łykowski B., Radomski C., Kossowski J.: Radiation and heat balance of agrocoenoses. *Pol. Ecol. Stud.*, 6, 2, 113-128, 1980.
10. Miara K., Paszyński J., Grzybowski J.: Zróżnicowanie przestrzenne bilansu promieniowania na obszarze Polski. *Przeł. Geogr.*, LIX, 4, 487-509, 1987.
11. Sakali L.I.: *Teplowej balans Ukrainy i Moldawii (w j.ros.)*. *Gidromet. Izd., Leningrad*, 1970.
12. Stanhill G., Hofstede G.J., Kalma J.D.: Radiation balance of natural and agricultural vegetation. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 92, 128-140, 1966.

NET RADIATION OVER FIELDS OF WHEAT, CLOVER AND BARE SOIL  
IN RELATION TO SOLAR RADIATION

*J. Kossowski*

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Doświadczalna 4  
P.O. Box 201, 20-290 Lublin 27, Poland

## SUMMARY

The purpose of this paper was to demonstrate the relation between solar and net radiation over winter wheat field, red clover field and bare soil. The measurements were carried out during two seasons

on the experimental fields at Felin near Lublin. For a detailed analysis the ten days in both seasons were selected (days without the rainfall but differed cloudiness). The ratio of net radiation to solar radiation sums for daily (from sunrise to sunset) and for other periods of day was computed. Moreover, on the basis of half-hourly values, the equations of linear regression between net and solar radiation were determined for each day on the examined fields. A considerably different relation between net and solar radiation was stated comparing the crop and bare soil, while it was only slightly differentiated in case of winter wheat and red clover making a compact plant cover.

**K e y w o r d s:** net radiation, wheat, clover, bare soil.