

JAKUB WOJKOWSKI, BARBARA SKOWERA

Katedra Meteorologii i Klimatologii Rolniczej, Wydział Inżynierii Środowiska
Akademia Rolnicza w Krakowie

STRUKTURA BILANSU PROMIENIOWANIA W WYBRANYCH TYPACH SYTUACJI SYNOPTYCZNYCH

The structure of the radiation balance dependent on synoptic situations

ABSTRAKT: W pracy przedstawiona została charakterystyka składników bilansu promieniowania powierzchni czynnej w różnych warunkach pogodowych. Przeanalizowane zostały wyniki pomiarów aktywności w najczęściej występujących typach sytuacji synoptycznych w południowej Polsce. Struktura bilansu promieniowania kształtowała się odmiennie w poszczególnych typach pogody, a intensywność analizowanych składników bilansu zależna była głównie od zachmurzenia i typu sytuacji synoptycznej. W strukturze bilansu promieniowania powierzchni Ziemi podstawowe znaczenie miała wielkość promieniowania całkowitego. We wszystkich zarejestrowanych typach pogody strumienie promieniowania krótkofalowego, w porównaniu ze strumieniami długofalowymi charakteryzowały się stosunkowo dużą zmiennością dobową.

słowa kluczowe – key words:

bilans radiacyjny – *budget radiation*, promieniowanie słoneczne – *solar radiation*, sytuacje synoptyczne – *synoptic situations*

WSTĘP

Zasadniczym celem badań było znalezienie odpowiedzi na pytanie, jak w określonych typach sytuacji synoptycznych w południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej mogą kształtować się dobowe przebiegi składników bilansu promieniowania. Cyrkulacja atmosferyczna obok radiacji, obiegu ciepła i wody jest podstawowym procesem wpływającym na przebieg warunków pogodowych i klimatycznych. Pod wpływem czynników cyrkulacyjnych, a zwłaszcza układów barycznych i frontów atmosferycznych kształtowane jest zachmurzenie, które stanowi jeden z ważniejszych elementów meteorologicznych odzwierciedlających stan atmosfery i mających decydujący wpływ na docieranie promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi.

MATERIAŁY I METODY

Niniejsza praca oparta jest na wynikach własnych pomiarów i badań aktywności promieniowania wykonanych w różnych okresach lat 1997–2000 (3). Pomiary składników bilansu promieniowania przeprowadzono na stacji meteorologicznej należącej do Katedry Meteorologii i Klimatologii Akademii Rolniczej w Krakowie. Stacja ta położona jest w podmiejskiej strefie Krakowa, w odległości około 10 km na północ od jego centrum, w miejscowości Garlica Murowana. Pod względem geograficznym obszar ten znajduje się w południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. W ramach podziału Polski na regiony fizycznogeograficzne (1) jest to granica Wyżyny Olkuskiej [341.32] i Płaskowyżu Proszowickiego [342.23].

Wartości strumieni promieniowania wyznaczono na podstawie bezpośrednich pomiarów. W tym celu posłużono się pyradiometrem (produkcji THEODOR FRIEDRICHS & CO) i pyranometrem Janiszewskiego. Za pomocą cyfrowego rejestratora zapisywano w pamięci napięciowe sygnały wolnozmiennie pochodzące z termososów oraz z termometru oporowego PT-100.

Radiometry zainstalowano w ogródku meteorologicznym i umieszczono na wysokości 150 cm nad powierzchnią gruntu. Powierzchnia gruntu pod czujnikami w okresie wegetacyjnym pokryta była roślinnością trawiastą, którą sukcesywnie kosowano do wysokości ok. 10 cm. Pomiary aktywności promieniowania wykonywano w średnim czasie słonecznym (miejscowym) miejsca obserwacji.

Bilans promieniowania składa się z części krótkofalowej, której źródłem jest Słońce i z części długofalowej, na którą przypada promieniowanie powierzchni Ziemi i atmosfery:

$$Q^* = (K\downarrow - K\uparrow) + (L\downarrow - L\uparrow) = Q_K + Q_L$$

gdzie: Q^* – saldo promieniowania w pełnym zakresie widma,

Q_K – saldo promieniowania krótkofalowego (promieniowanie słoneczne pochłonięte),

Q_L – saldo promieniowania długofalowego (wypromieniowanie efektywne),

$K\downarrow$ – promieniowanie słoneczne całkowite (bezpośrednie i rozproszone),

$K\uparrow$ – promieniowanie słoneczne odbite od powierzchni czynnej,

$L\downarrow$ – promieniowanie zwrotne atmosfery,

$L\uparrow$ – promieniowanie długofalowe od powierzchni czynnej.

Saldo promieniowania w pełnym zakresie widma Q^* wyznaczono za pomocą pyradiometru ($Q\downarrow$, $Q\uparrow$) jako różnicę radiacji dochodzącej do powierzchni czynnej $Q\downarrow = K\downarrow + L\downarrow$ i uchodzącej od powierzchni ku górze $Q\uparrow = K\uparrow + L\uparrow$.

$$Q^* = Q\downarrow - Q\uparrow = (K\downarrow + L\downarrow) - (K\uparrow + L\uparrow)$$

gdzie: $Q\downarrow$ – promieniowanie dochodzące w pełnym zakresie widma,

$Q\uparrow$ – promieniowanie uchodzące w pełnym zakresie widma.

Przyjęto umownie, że wszystkie strumienie promieniowania dochodzące do powierzchni czynnej mają wartość dodatnią, zaś wszystkie strumienie uchodzące od powierzchni czynnej – wartość ujemną.

Za pomocą pyranometru (albedomierza) Janiszewskiego ($K\downarrow$, $K\uparrow$) wyznaczono saldo promieniowania krótkofalowego Q_k jako różnicę między zmierzonym promieniowaniem słonecznym całkowitym $K\downarrow$ i promieniowaniem słonecznym odbitym $K\uparrow$:

$$Q_k = K\downarrow - K\uparrow$$

Saldo promieniowania długofalowego Q_L obliczono jako różnicę salda promieniowania w pełnym zakresie widma Q^* i promieniowania krótkofalowego Q_k :

$$Q_L = Q^* - Q_k$$

Podobnie – jako różnicę między dochodzącym lub uchodzącym strumieniem promieniowania w pełnym zakresie widmowym a odpowiednimi strumieniami promieniowania krótkofalowego – obliczono dochodzące i uchodzące promieniowanie długofalowe:

$$\begin{aligned} L\downarrow &= Q\downarrow - K\downarrow \\ L\uparrow &= Q\uparrow - K\uparrow \end{aligned}$$

Struktura bilansu promieniowania kształtuje się odmiennie w różnych typach pogody, a intensywność poszczególnych składników bilansu uzależniona jest głównie od sytuacji synoptycznej wpływającej na zawartość pary wodnej w atmosferze (5). W niniejszej pracy posłużono się opracowanym przez Niedźwiedzia (2) kalendarzem typów sytuacji synoptycznych, sporządzonym dla dorzecza górnej Wisły. Wydzielił on 21 typów sytuacji synoptycznych, z których 16 cechuje wyraźny kierunek napływu mas powietrza, a cztery nie wykazują adwekcji lub charakteryzują się bardzo zmiennymi kierunkami napływu mas powietrza (**a** – sytuacje antycyklonalne, **c** – sytuacje cyklonalne):

Na, Nc – sytuacje z adwekcją powietrza z północy;

NEa, NEc – sytuacje z adwekcją powietrza z północo-wschodu;

Ea, Ec – sytuacje z adwekcją powietrza ze wschodu;

SEa, SEc – sytuacje z adwekcją powietrza z południo-wschodu;

Sa, Sc – sytuacje z adwekcją powietrza z południa;

SWa, SWc – sytuacje z adwekcją powietrza z południo-zachodu;

Wa, Wc – sytuacje z adwekcją powietrza z zachodu;

NWa, NWc – sytuacje z adwekcją powietrza z północo-zachodu.

Ca – sytuacja centralna antycyklonalna, brak adwekcji, centrum wyżu nad Polską południową,

Ka – klin antycyklonalny, czasem kilka niewyraźnych ośrodków lub rozmyty obszar podwyższonego ciśnienia, oś wału wysokiego ciśnienia;

Cc – sytuacja centralna cyklonalna, centrum niżu nad Polską południową lub Słowacją;

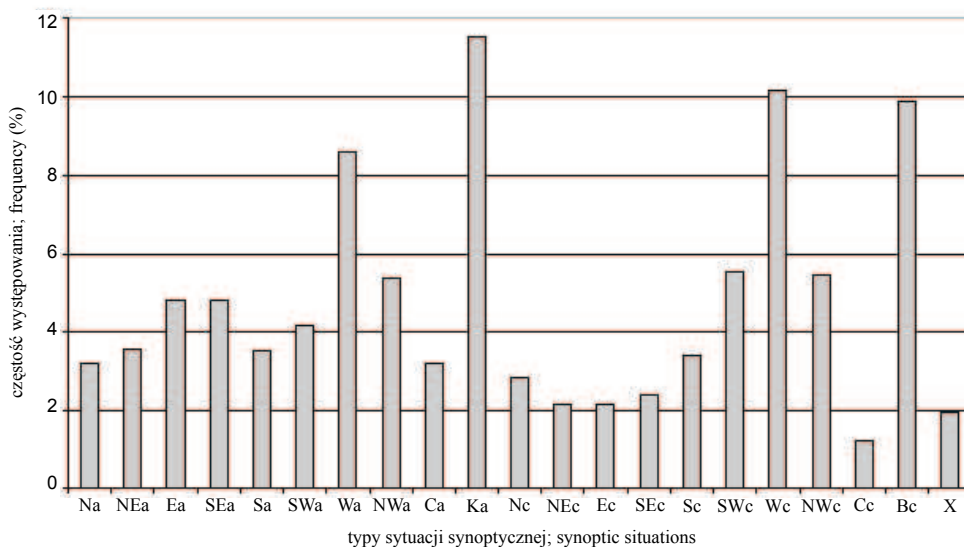
Bc – bruzda cyklonalna, rozmyty obszar niskiego ciśnienia lub oś bruzdy niżowej z różnymi kierunkami adwekcji i systemem frontów oddzielających różne masy powietrza;

X – sytuacje niedające się zaklasyfikować i siodła baryczne.

WYNIKI

W południowej Polsce w ostatnim pięćdziesięcioleciu dominującą grupą były typy cyrkulacji: **Ka**, **Wc**, **Bc** oraz **Wa**, a najrzadziej występował typ **Cc** (rys. 1). Fakt ten potwierdza typową cechę klimatu Polski, jaką jest przewaga zachodniego kierunku napływu mas powietrza polarno-morskiego, którego obszarem źródłowym jest Ocean Atlantycki. Zimą powoduje to ocieplenie i odwilże oraz zwiększone zachmurzenie i opady. Latem masy tego powietrza napływając bardziej z północozachodu powodują duże zachmurzenie z przejaśnieniami oraz bardzo częste i obfite opady.

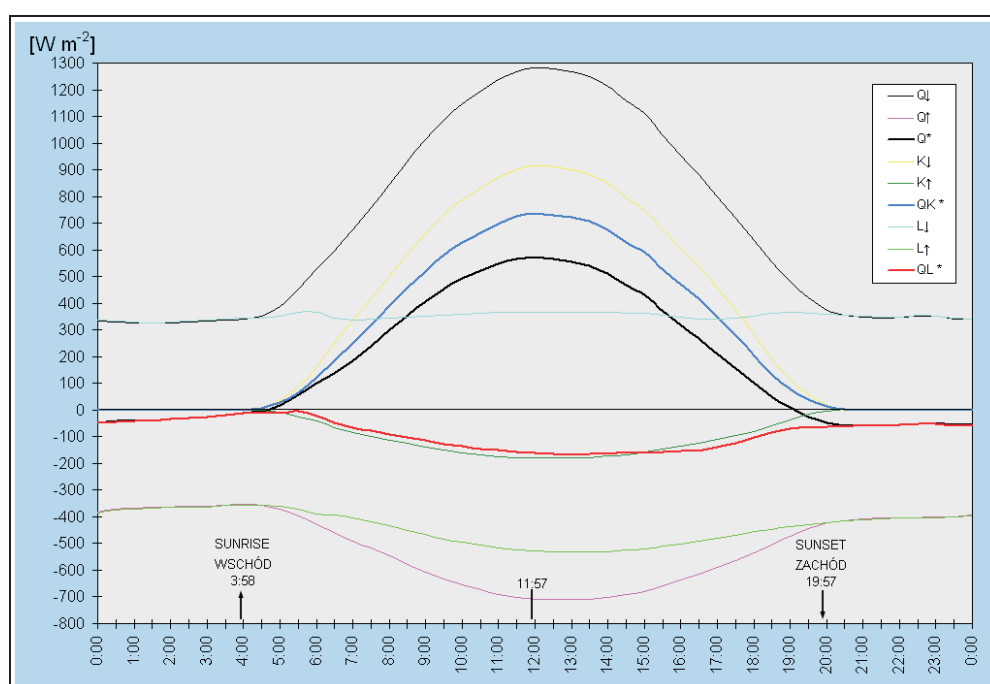
W dalszej części pracy ograniczono się do przedstawienia składowych bilansu promieniowania w sytuacjach synoptycznych najczęściej pojawiających się nad obszarem południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej.



Rys. 1. Częstość występowania typów sytuacji synoptycznych w dorzeczu górnej Wisły (1951–2000)

Frequency of the synoptic situations in the Vistula basin (1951–2000)

Promieniowanie w sytuacji wyżowej – Ka. Sytuacja synoptyczna **Ka** jak już wcześniej wspomniano była najczęściej obserwowanym typem cyrkulacji. W ciągu roku pojawiała się przeciętnie 42 razy. Typowym jej przykładem był dzień 29 maja 1998 roku (rys. 2). Zachmurzenie nieba przez cały dzień wynosiło 0 stopni. Polska południowa znajdowała się wówczas w zasięgu obszaru wysokiego ciśnienia, w ciepłym przetransformowanym powietrzu polarno-morskim (PPms). Masa tego powietrza napłynęła z umiarkowanych szerokości geograficznych z południowego Oceanu Atlantyckiego i uformowała pogodę słoneczną, suchą i gorącą.



Rys. 2. Przebieg dobowy składników bilansu promieniowania w sytuacji wyżowej Ka
Daily course of the radiation budget elements during Ka cyclone situation

W sytuacji synoptycznej **Ka** obliczony w pełnym zakresie widma bilans radiacyjny Q^* był dodatni i osiągnął $15,7 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$. Maksymalną wartość strumienia Q^* zanotowano w południe i wynosiła ona $572 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, a minimalną ($-60 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$) około godziny 21.

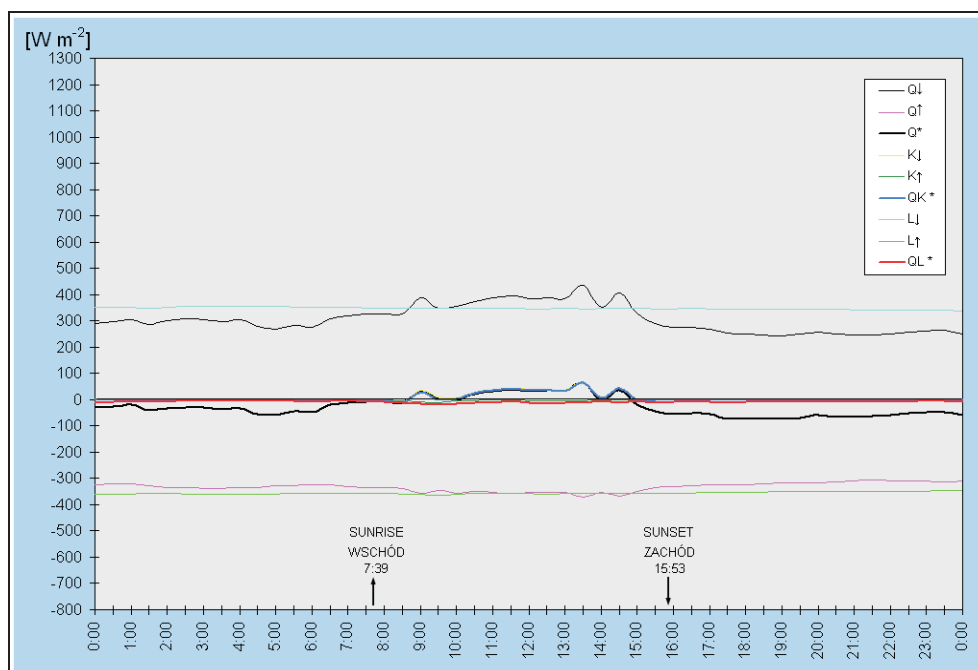
Nateżenie całkowitego promieniowania słonecznego K_{\downarrow} osiągnęło tego dnia maksymalną wartość $914 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, co stanowi 67% stałej słonecznej – $1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (4). Suma dzienna promieniowania całkowitego K_{\downarrow} wyniosła $60,6 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$.

Strumień promieniowania długofalowego uchodzącego $L\uparrow$ osiągnął maksymalną wartość $533 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Przebieg strumienia promieniowania słonecznego odbitego $K\uparrow$ przez cały niemal dzień był równy i zbliżony z przebiegiem promieniowania długofalowego pochłoniętego Q_L . Najmniejszą zmiennością w ciągu doby cechował się strumień promieniowania zwrotnego atmosfery $L\downarrow$, utrzymywał się średnio na poziomie $354 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Promieniowanie w sytuacji niżowej – Wc. Sytuacja synoptyczna **Wc**, czyli układ niskiego ciśnienia z adwekcją powietrza z zachodu, w ciągu roku pojawiała się przeciętnie 37 razy. Jako jej przykład wybrano dzień 5 stycznia 1998 roku (rys. 3).

Zachmurzenie nieba w pierwszym i drugim terminie obserwacji wynosiło 10 stopni, a pod koniec dnia zmniejszyło się do 3 stopni. Polska południowa znajdowała się wówczas w zasięgu obszaru niskiego ciśnienia, w powietrzu polarno-morskim (PPm). Masa powietrza PPM napłynęła z umiarkowanych szerokości geograficznych z południowego Oceanu Atlantyckiego. Adwekcji tego powietrza towarzyszył front okluzji, który spowodował wystąpienie w drugiej połowie dnia niewielkich przelotnych opadów, oraz uformował pogodę pochmurną i wilgotną.

W sytuacji synoptycznej **Wc** pełny bilans radiacyjny Q^* był ujemny i wyniósł $-2,4 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$. W porównaniu z dniem pogodnym w sytuacji synoptycznej **Ka**, prawie wszystkie strumienie w sytuacji **Wc** cechowały się bardzo małą zmiennością w cią-



Rys. 3. Przebieg dobowy składników bilansu promieniowania w sytuacji niżowej Wc
Daily course of the radiation budget elements during Wc anticyclone situation

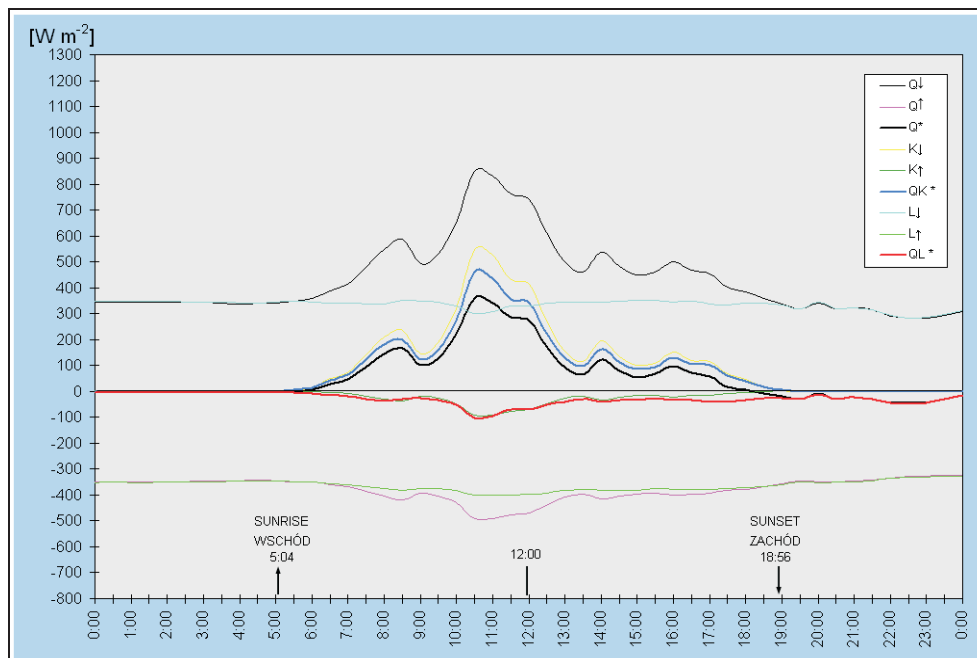
gu doby. Strumień Q^* nie osiągnął wyraźnej wartości maksymalnej. Najwyższą jego wartość zanotowano po południu i wynosiła ona $64 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Minimum ($-75 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) strumień Q^* osiągnął około godziny 18.

Całkowite promieniowanie słoneczne $K\downarrow$ osiągnęło tego dnia najwyższą wartość niespełna $70 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, co stanowi zaledwie 5% wartości stałej słonecznej. Suma dzienna promieniowania całkowitego $K\downarrow$ wyniosła $0,6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$.

Strumień promieniowania długofalowego uchodzącego $L\uparrow$ osiągnął maksymalną wartość $364 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Najmniejszą zmiennością w ciągu doby cechował się strumień promieniowania zwrotnego atmosfery $L\downarrow$ – średnio $347 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, oraz strumień promieniowania powierzchni czynnej $L\uparrow$, średnio – $355 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Promieniowanie w sytuacji niżowej – Bc. Sytuacja cyklonalna Bc w ciągu roku pojawiała się przeciętnie 36 razy. Jako jej przykład wybrano dzień 17 kwietnia 1998 roku (rys. 4).

Zachmurzenie nieba w ciągu dnia było duże i zmienne. Polska południowa znajdowała się wówczas w zasięgu obszaru niskiego ciśnienia, w przetransformowanym powietrzu polarno-morskim (PPms). Masa powietrza PPms napłynęła z umiarkowanych szerokości geograficznych znad północnego Oceanu Atlantyckiego. Adwekcji tego przetransformowanego powietrza towarzyszył front stacjonarny, który uformował pogodę pochmurną. Rano pojawiła się rosa oraz zamglenia.



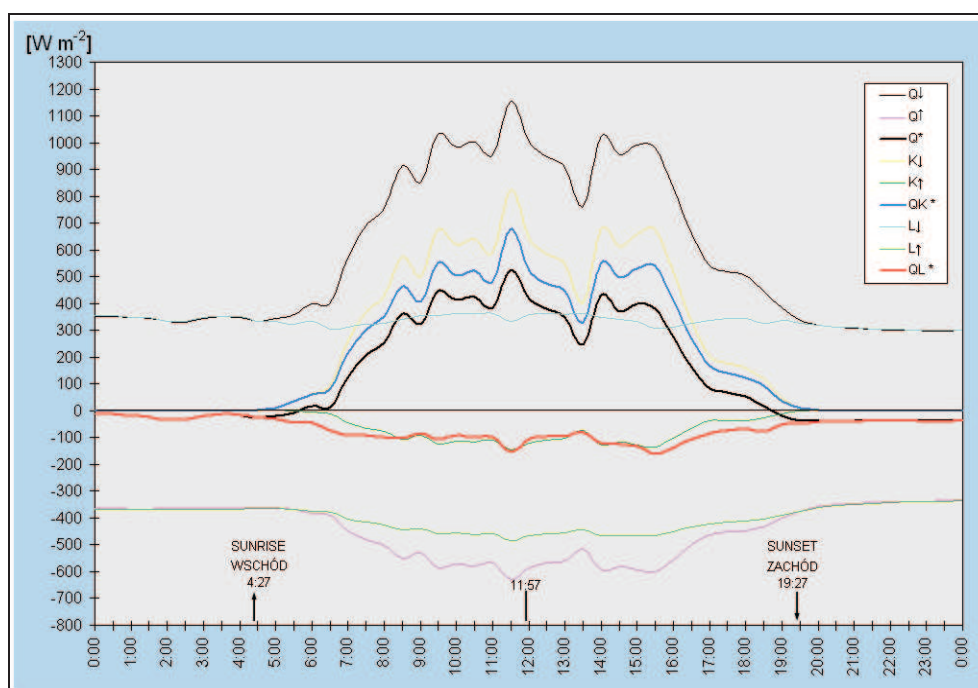
Rys. 4. Przebieg dobowy składników bilansu promieniowania w sytuacji niżowej Bc
Daily course of the radiation budget elements during Bc anticyclone situation

W sytuacji synoptycznej **Bc** bilans radiacyjny w pełnym zakresie widma Q^* był dodatni i osiągnął $4,9 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$. Maksymalną wartość strumienia Q^* zanotowano przed południem i wynosiła ona $359 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Minimum ($-46 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) strumień Q^* osiągnął około godziny 23.

Wyraźne w ciągu dnia wahania wszystkich strumieni krótkofalowych spowodowane były zmianami zachmurzenia. Całkowite promieniowanie słoneczne $K\downarrow$ osiągnęło tego dnia najwyższą wartość $549 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, co stanowi 40% wartości stałej słonecznej. Suma dzienna promieniowania całkowitego $K\downarrow$ wyniosła $8,7 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$.

Przebieg strumienia promieniowania słonecznego odbitego $K\uparrow$ przez cały niemal dzień był równy i zbliżony z przebiegiem promieniowania długofalowego pochłoniętego Q_L . Strumień promieniowania długofalowego uchodzącego $L\uparrow$ osiągnął maksymalną wartość $402 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Najmniejszą zmiennością w ciągu doby cechował się strumień promieniowania zwrotnego atmosfery $L\downarrow$ – średnio $333 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Promieniowanie w sytuacji wyżowej – Wa. Sytuacja synoptyczna **Wa**, czyli układ wysokiego ciśnienia z adwekcją powietrza z zachodu, w ciągu roku pojawiała się przeciętnie 31 razy. Jako jej przykład wybrano dzień 7 maja 1998 roku (rys. 5).



Rys. 5. Przebieg dobowy składników bilansu promieniowania w sytuacji wyżowej Wa
Daily course of the radiation budget elements during Wa anticyclone situation

Zachmurzenie nieba było bardzo zmienne. W pierwszym terminie wynosiło 1 stopień, w drugim terminie 9 stopni, a pod koniec dnia zmieniło się do 6 stopni. Polska południowa znajdowała się wówczas w zasięgu obszaru wysokiego ciśnienia, w powietrzu polarno-morskim ciepłym (PPmc). Masa powietrza PPmc napłynęła z umiarkowanych szerokości geograficznych znad północnego Oceanu Atlantyckiego i charakteryzowała się wyższą temperaturą niż temperatura podłoża, nad które napłynęła. Adwekcji tego powietrza towarzyszył front ciepły, który spowodował wzrost zachmurzenia, oraz uformował pogodę pochmurną.

W sytuacji synoptycznej **Wa** pełny bilans radiacyjny Q^* był dodatni i osiągnął $11,7 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$. Maksymalną wartość strumienia Q^* zanotowano przed południem i wynosiła ona $526 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Minimum ($-40 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) strumień Q^* osiągnął około godziny 20. Wyraźne wahania wszystkich strumieni w ciągu dnia spowodowane były przejściem frontu ciepłego i bardzo zmiennym zachmurzeniem.

Całkowite promieniowanie słoneczne $K\downarrow$ osiągnęło tego dnia najwyższą wartość $823 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, co stanowi 60% wartości stałej słonecznej. Suma dzienna całkowitego promieniowania słonecznego $K\downarrow$ wyniosła $17,7 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$.

Najmniejszą zmiennością w ciągu doby cechowały się strumienie długofalowe. Promieniowanie zwrotne atmosfery $L\downarrow$ wyniosło średnio $333 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, a uchodzące $L\uparrow$ $-407 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

PODSUMOWANIE

Warunki klimatyczne określonego miejsca kształtowane są przede wszystkim ilością energii dochodzącej do podłoża oraz sposobem jej wykorzystania w różnego rodzaju procesach fizycznych. Z tych względów ważne w badaniach klimatycznych jest poznanie składników bilansu promieniowania powierzchni czynnej oraz jego struktury. Składniki bilansu promieniowania słonecznego nie należą niestety do powszechnie mierzonych elementów klimatu. Istniejąca literatura dotycząca zagadnień bilansu promieniowania powstała głównie na podstawie obliczonych pośrednio, ze wzorów empirycznych, składników bilansu. Wykorzystane w niniejszej pracy wyniki bezpośrednich pomiarów aktynometrycznych na obszarze południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej umożliwiły przeanalizowanie zmienności w przebiegu dobowym poszczególnych składników bilansu z uwzględnieniem wpływu bardzo zmiennej na tym obszarze cyrkulacji atmosferycznej.

Jak stwierdzono w badaniach, bardzo duży wpływ na bilans radiacyjny miał rodzaj napływającej masy powietrza i jej pochodzenie, a także pojawianie się frontów atmosferycznych.

W strukturze bilansu promieniowania powierzchni Ziemi podstawowe znaczenie miała wielkość promieniowania całkowitego $K\downarrow$, czyli suma promieniowania słonecznego, na którą składało się promieniowanie bezpośrednie oraz promieniowanie rozproszone. Maksymalne wartości strumienia promieniowania całkowitego notowane były w maju.

Od wschodu Słońca do jego kulminacji obserwowany był wzrost krótkofalowych składników bilansu radiacyjnego, a następnie powolny ich spadek aż do zachodu Słońca. Maksima dobowe występowały na ogół w godzinach południowych, co było uwarunkowane przede wszystkim wysokością Słońca nad horyzontem Ziemi. W nocy występowała strata promieniowania, ponieważ promieniowanie słoneczne nie uzupełniało ubytku promieniowania długofalowego.

Zmiana znaku wartości strumienia Q^* nie pokrywała się z terminem wschodu i zachodu Słońca. Rano zmiana wartości ujemnych Q^* na dodatnie była opóźniona w stosunku do wschodu Słońca, wieczorem zaś zmiana ta poprzedzała zachód Słońca.

We wszystkich zarejestrowanych typach pogody strumienie promieniowania krótkofalowego $K\downarrow$ i $K\uparrow$, w porównaniu ze strumieniami długofalowymi $L\downarrow$ i $L\uparrow$, charakteryzowały się stosunkowo dużą zmiennością dobową.

LITERATURA

1. Kondracki J.: Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa, 1998.
2. Niedźwiedz T.: Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły. Rozprawa hab. nr 58, UJ Kraków, 1981.
3. Olechnowicz-Bobrowska B., Wojkowski J.: Struktura bilansu promieniowania w południowej części Polski. Maszynopis, AR Kraków, 1998.
4. Paszyński J., Skoczek J., Miara K.: Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego. Dok. Geogr., PAN IGiPZ, Warszawa, 1999, 14.
5. Wojkowski J., Olechnowicz-Bobrowska B.: Struktura bilansu promieniowania na Płaskowyżu Proszowickim. Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska SGGW, Warszawa, 2001, 23: 67-71.

THE STRUCTURE OF THE RADIATION BALANCE DEPENDENT ON SYNOPTIC SITUATIONS

Summary

The aim of the studies was to mark daily variation of the radiation balance components in various weather conditions, in the south of Poland.

The structure of the radiation balance components are formed differently in various weather types and the intensity of the individual radiation components depend mainly on the cloudiness, fog and the air humidity.

The value of the total radiation, which is the sum of the solar radiation consisting of the direct radiation and the distracted one, was of the main importance to the radiation balance.

At all observed weather types, short wave radiation fluxes were characterised by considerable daily variability in comparison to long wave fluxes.

Praca wpłynęła do Redakcji 23 XI 2005 r.