

Krystyna Bryś

**POCHŁANIANIE I WYPROMIENIOWANIE
ENERGII SŁONECZNEJ
PRZEZ WYBRANE POWIERZCHNIE ROLNICZE**

***SOLAR ENERGY ABSORPTION AND EMISSION THROUGH
SELECTED AGRICULTURE SURFACES***

Streszczenie

Przeanalizowano wpływ szaty roślinnej na różnicowanie bilansu radiacyjnego powierzchni rolniczych. Pod uwagę wzięto dwie kontrastowe powierzchnie: trawiastą (łąka) i nieporośniętą roślinnością (stałe przekopywany ugór). Opracowano materiał pomiarowy z badań aktynometrycznych prowadzonych w roku 2009 w Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii Uniwersytetu Przyrodniczego Wrocław-Swojec. Wykorzystano dane pochodzące z ciągłej rejestracji gęstości strumienia całkowitego promieniowania słonecznego K_{\downarrow} , gęstości strumienia promieniowania odbitego od powierzchni trawy i ugoru K_{\uparrow} , gęstości strumienia promieniowania zwrotnego atmosfery L_{\downarrow} i gęstości strumienia promieniowania powierzchni bez roślin i porośniętej trawą L_{\uparrow} . Kontrastowość cech fizyczno-biologicznych rozpatrywanych dwóch powierzchni czynnych wpływa istotnie na różnicowanie ich właściwości radiacyjnych (absorpcyjnych i dystrybucyjnych). W efekcie występują wyraźne różnice w wartościach synchronicznych pomierzonych parametrów radiacyjnych tych powierzchni. Skoncentrowano się na ukazaniu tych różnic i ich przyczyn. Szczególną uwagę poświęcono różnicom w średnich wartościach dobowych i miesięcznych całkowitego bilansu promieniowania i jego najważniejszych składowych. Zwrócono uwagę na topoklimatyczne skutki zaobserwowanych różnic radiacyjnych.

Słowa kluczowe: bilanse radiacyjne, łąka, powierzchnia rolnicza bez roślin, zmiany klimatyczne

Summary

There is analyzed plant cover impact on the differentiation of agriculture surfaces net radiation. Two contrasting surfaces: grass and bare soil are taken to consideration. There analysed data were collected from actinometrical measurements in 2009 in the Wrocław-Swojec Agro- and Hydrometeorology Observatory belonging to Wrocław University of Environmental and Life Sciences. There are used data from permanent registration of flux intensity of: global solar radiation $K\downarrow$, reflected solar radiation $K\uparrow$, incoming long-wave radiation $L\downarrow$ and outgoing long-wave radiation $L\uparrow$. Contrasting physical and biological features of considered agriculture surfaces have an important influence on the differentiation of their radiation properties (absorption and emission). As a result there are legible differences in synchronically values of measured radiation parameters from these surfaces. The analysis were concentrated on showing these differences and their reason. Particular attention is paid on differences in daily and monthly global solar radiation averages and their the most important components. Topoclimatic effects of these radiation differences were discussed.

Key words: radiation balances, grass-land, bare soil of agriculture surface, climatic changes

WSTĘP

Współczesne problemy inżynierii środowiska wiążą się m.in. z nowym, uwypuklającym rolę interakcji, spojrzeniem na dynamikę zmian obiegu i przekształceń energii zachodzących w różnych ekosystemach (rolniczych, leśnych i zurbanizowanych). Dbłość o użytkowanie ziemi rolniczej powinna być w najbliższych latach priorytetem w ochronie środowiska, bo to właśnie zmiany użytkowania ziemi są jednym z podstawowych czynników powodujących zmiany klimatyczne [Kędziora 1999; Olejnik 1996; Schönwiese 1997; Bryś 2008, 2009].

W czasach ciągłej rozbudowy miast i osiedli, kosztem zajmowania pod zabudowę terenów rolniczych, dokonuje się takich zmian użytkowania ziemi, które są przykładem złego gospodarowania przestrzenią. Skutki tych zmian odczuwalne są w pierwszej kolejności w zmianach topo-klimatycznych. Inaczej bowiem gospodaruje dostarczoną energią słoneczną powierzchnia bez roślin, inaczej powierzchnia pokryta zwartą pokrywą roślinną. Ma to także zasadnicze znaczenie w zmianach bilansu wodnego.

Całkowity bilans promieniowania Q^* jest najważniejszą wielkością charakteryzującą stosunki energetyczne środowiska przyrodniczego. Określa on ilość energii użytecznej dla ekosystemu. Energia ta wykorzystywana na strumień ciepła jawnego, utajonego i strumień glebowy różnicuje warunki mikro- i topo-klimatyczne, co w rezultacie tworzy mozaikę klimatów lokalnych różnych obszarów (m.in. przestrzeni rolniczej, leśnej i zurbanizowanej).

Na strukturę i zmienność bilansu promieniowania mają istotny wpływ czynniki lokalne, m.in. rodzaj użytkowania terenu. Właściwości fizyczne powierzchni czynnej oddziałują na wartości poszczególnych strumieni energii [Grzybowski 1976; Paszyński i in. 1999; Usowicz, Marczewski 2005]. Wymianę energii pomiędzy atmosferą a podłożem przedstawia w swoich pracach wielu autorów [Paszyński 1966; Paszyński, Niedźwiedź 1991; Kapuściński 2000; Olejnik 1996; Miara i in. 1984, 1987]. Zagadnienia bilansu radiacyjnego i cieplnego obszarów zurbanizowanych przedstawiono m.in. w pracach Fortuniaka [2006], Caputy [2005], Budzika [2006].

Rozróżnienie przestrzeni badawczej na przestrzeń rolniczą i zurbanizowaną akcentuje współczesne podejście do badań bilansowych. Uwypukla ono rolę pokrywy roślinnej w gospodarowaniu dostępną w środowisku energią [Bryś 2008, 2009; Kędziora 1999; Olejnik 1996; Paszyński i in. 1999]. Daje to także możliwość opisu i porównania klimatu solarne miast i terenów rolniczych [Podstawczyńska 2007; Bryś K., Bryś T. 2001, 2003, 2007]. Dokładne rozpoznanie struktury bilansu radiacyjnego różnych ekosystemów stanowi podstawę oceny bilansu cieplnego i wodnego w różnorodności środowiskowej (przyrodniczej i antropogenicznej).

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Celem opracowania jest analiza wpływu szaty roślinnej na różnicowanie salda promieniowania powierzchni rolniczych. Pod uwagę wzięto dwie kontrastowe powierzchnie: trawiastą (łąka) i nie porośniętą roślinnością (ugór). Wykorzystano materiał pomiarowy z badań aktywności promieniowania prowadzonych w roku 2009 w Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii Uniwersytetu Przyrodniczego Wrocław-Swojec ($\varphi = 51^{\circ}07' N$; $\lambda = 17^{\circ}08' E$, $h = 117m$ n.p.m.), położonym w północno-wschodniej, peryferyjnej części miasta, poza zasięgiem miejskiej wyspy ciepła.

Analizowane dane pochodziły z ciągłej rejestracji gęstości strumienia całkowitego promieniowania słonecznego K_{\downarrow} , gęstości strumienia promieniowania odbitego od powierzchni trawy i ugoru K_{\uparrow} , gęstości strumienia promieniowania zwrotnego atmosfery L_{\downarrow} i gęstości strumienia promieniowania powierzchni bez roślin i porośniętej trawą L_{\uparrow} . Strumień bilansu krótko- i długofalowego rejestrowano za pomocą dwóch bilansomierzy CNR-1 (Net Radiometr firmy Kipp & Zonen) zainstalowanych w bliskiej od siebie odległości (ok. 15 m) nad powierzchnią trawy (uważaną w klimatologii za powierzchnię standardową) i nad powierzchnią bez roślin. Zakres spektralny pomiaru promieniowania krótkofalowego to 0,3–3 μm , promieniowania długofalowego: 5–42 μm . Dokładny opis systemu pomiarowego znajdziemy w opracowaniu Caputy i Leśnioka [2009].

Na podstawie pomiarów gęstości strumieni wszystkich składowych całkowitego bilansu promieniowania (krótkofalowego i długofalowego) obliczono saldo promieniowania Q^* wg wzoru:

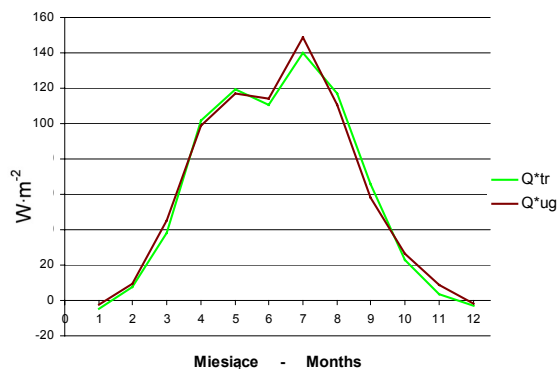
$$Q^* = K\downarrow - K\uparrow + L\downarrow - L\uparrow \text{ [Oke 1987; Paszyński i in. 1999]}$$

gdzie:

- Q^* – saldo promieniowania w pełnym zakresie widma [$W \times m^{-2}$],
- $K\downarrow$ – promieniowanie słoneczne całkowite – promieniowanie krótkofalowe dochodzące [$W \times m^{-2}$],
- $K\uparrow$ – promieniowanie słoneczne odbite – promieniowanie krótkofalowe odbite [$W \times m^{-2}$],
- $L\downarrow$ – promieniowanie zwrotne atmosfery – promieniowanie długofalowe dochodzące [$W \times m^{-2}$],
- $L\uparrow$ – promieniowanie długofalowe uchodzące [$W \times m^{-2}$].

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

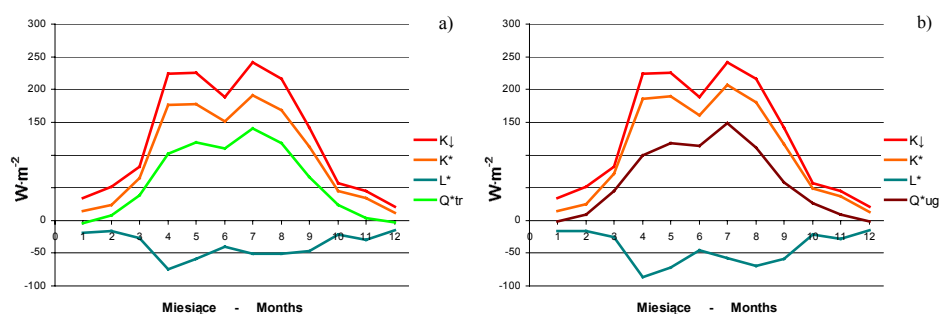
Przebieg roczny średnich miesięcznych wartości bilansu promieniowania powierzchni trawy Q^*_{tr} i ugoru Q^*_{ug} w 2009 roku w Obserwatorium Wrocław-Swojec (rys. 1) odzwierciedla nie tylko ich podobną zmienność sezonową.



Rysunek 1. Przebieg roczny średnich miesięcznych wartości bilansu promieniowania powierzchni trawy Q^*_{tr} i ugoru Q^*_{ug} w 2009 roku w Obserwatorium Wrocław-Swojec
Figure 1. Annual variation of average monthly flux intensity of net radiation for grass Q^*_{tr} and for bare soil Q^*_{ug} in 2009 in the Wrocław-Swojec Observatory

Także różnice pomiędzy dwiema powierzchniami wydają się niewielkie, gdyż średnie roczne saldo promieniowania dla powierzchni bez roślin Q^*_{ug} ($61,2 Wm^{-2}$) było tylko o $0,4 Wm^{-2}$ większe niż dla powierzchni porośniętej trawą

Q^*_{tr} ($60,2 \text{ Wm}^{-2}$). Wyniki badań w sezonie wegetacyjnym (IV–IX) wskazują jednak, że powierzchnia z roślinami ma już o 1 Wm^{-2} wyższe średnie saldo promieniowania ($109,1 \text{ Wm}^{-2}$) niż powierzchnia ugoru ($108,1 \text{ Wm}^{-2}$), choć deszczowy czerwiec ($141,7 \text{ mm}$) i lipiec roku 2009 ($134,2 \text{ mm}$) wyraźnie zaburzył te relacje, na co wskazuje porównanie wyników z latami wcześniejszymi [Bryś 2009].

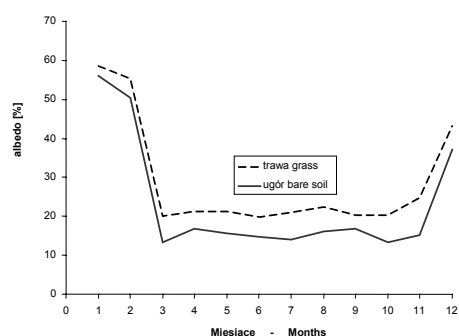


Rysunek 2. Przebieg roczny natężenia strumienia promieniowania całkowitego $K\downarrow$, bilansu krótkofalowego K^* , bilansu długofalowego L^* i salda promieniowania Q^* dla powierzchni trawy (a) i ugoru (b) w roku 2009 w Obserwatorium Wrocław-Swojec
Figure 2. Annual variation of average monthly flux intensity of global solar radiation $K\downarrow$, net short-wave radiation K^* , net long-wave radiation L^* , net radiation Q^* for surface of grass (a) and bare soil (b) in 2009 in the Wrocław-Swojec Observatory

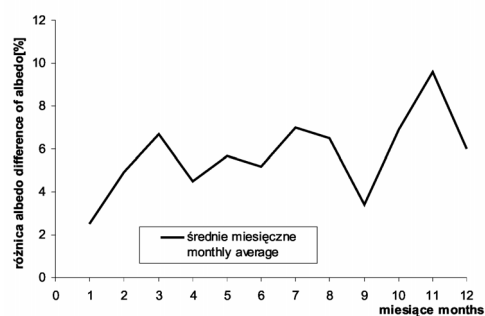
Na rysunku 2 przedstawiono przebiegi roczne składowych całkowitego bilansu promieniowania Q^* : natężenia strumienia promieniowania całkowitego $K\downarrow$, bilansu krótkofalowego K^* , bilansu długofalowego L^* dla powierzchni trawy (a) i ugoru (b). Widoczne różnice w bilansie krótkofalowym są kształtowane przez różne dla tych dwóch powierzchni promieniowanie odbite. Zmiany albedo w przebiegu rocznym zależą nie tylko od wysokości Słońca, ale także od sezonowych zmian barwy, wilgotności i szorstkości podłoża. Promieniowanie słoneczne pochłonięte czyli saldo promieniowania krótkofalowego K^* jest różnicą między promieniowaniem całkowitym $K\downarrow$ a promieniowaniem odbitym $K\uparrow$. Nad powierzchnią trawiastą (rys. 2a) średnie miesięczne wartości bilansu krótkofalowego oscylowały od $11,7 \text{ Wm}^{-2}$ w grudniu do $190,8 \text{ Wm}^{-2}$ w lipcu. Bilans promieniowania krótkofalowego powierzchni bez roślin (rys. 2b) wahał się od $12,4 \text{ Wm}^{-2}$ w grudniu do $206,7 \text{ Wm}^{-2}$ w lipcu. Amplituda roczna tego bilansu dla trawy ($179,1 \text{ Wm}^{-2}$) była niższa od amplitudy bilansu krótkofalowego ugoru ($194,3 \text{ Wm}^{-2}$). Bilans długofalowy L^* (z odwrotnym znakiem niż inne bilanse) nazywany jest promieniowaniem efektywnym. Nad powierzchnią łąki średnie wartości miesięczne L^* wahały się od $-14,8 \text{ Wm}^{-2}$ w grudniu do $-75,1 \text{ Wm}^{-2}$

w kwietniu (amplituda wyniosła więc $60,3 \text{ Wm}^{-2}$). Dla ugoru wartości L^* wahały się od $-14,3 \text{ Wm}^{-2}$ w grudniu do $-86,7 \text{ Wm}^{-2}$ w kwietniu (amplituda: $72,4 \text{ Wm}^{-2}$). Gleba bez roślin nagrzewa się bardziej niż gleba porośnięta trawą i szybciej traci ciepło. Potwierdzają to wyższe amplitudy bilansu promieniowania długofalowego L^* dla ugoru.

Wyliczono albedo obu powierzchni wpływające na stopień odbicia energii krótkofalowej. Wyróżniają się tu miesiące zimowe z pokrywą śnieżną wyraźnie zwiększającą odbicie promieniowania krótkofalowego. Przebieg albedo (stosunek promieniowania odbitego do całkowitego) trawy i ugoru w 2009 roku ukazano na rysunku 3. Wyższe albedo łąki w stosunku do ugoru notowane jest nie tylko w sezonie wegetacyjnym [Bac, Baranowski 1968; Łykowski 1968], ale również w ciągu całego roku. Różnice w przebiegu rocznym w listopadzie osiągnęły ok.10% (rys. 4).

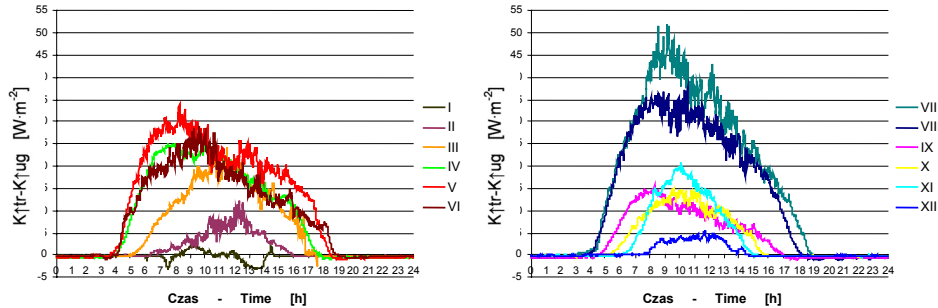


Rysunek 3. Średnie miesięczne albedo trawy i ugoru w roku 2009 w Obserwatorium Wrocław-Swojec
Figure 3. Monthly averages of grass and bare soil albedo in 2009 in the Wrocław-Swojec Observatory

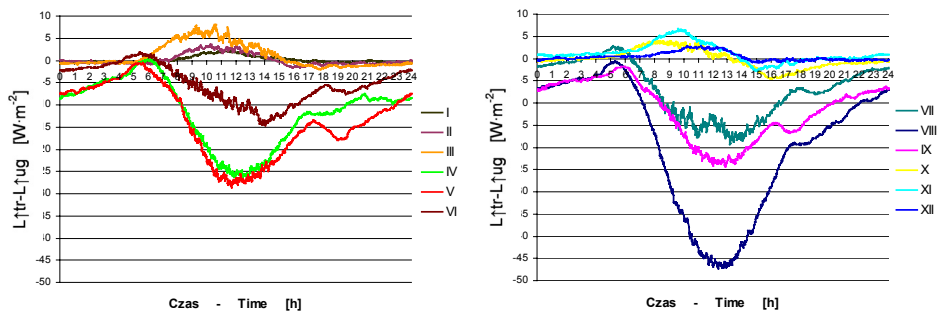


Rysunek 4. Różnice albedo pomiędzy trawą i ugiem w roku 2009 w Obserwatorium Wrocław-Swojec
Figure 4. Differences of albedo between grass and bare soil in 2009 in the Wrocław-Swojec Observatory

W dalszej analizie skoncentrowano się na ukazaniu różnic radiacyjnych obu powierzchni. Na rysunku 5 ukazano przebieg dobowy różnicy natężenia strumieni promieniowania odbitego pomiędzy trawą i ugiem ($K\hat{T}_{tr} - K\hat{T}_{ug}$). Różnice te są dodatnie dla wszystkich miesięcy oprócz stycznia, gdy zanotowano przewagę promieniowania odbitego dla powierzchni ugoru. Amplitudy różnic sięgają w pierwszym półroczu w południe do 35 Wm^{-2} (rys. 5a). W półroczu drugim 2009 roku (rys. 5b) wartości różnic ($K\hat{T}_{tr} - K\hat{T}_{ug}$), zwłaszcza w lipcu i sierpniu, wyraźnie odbiegają od wartości innych miesięcy i sięgają nawet 50 Wm^{-2} .



Rysunek 5. Przebieg dobowy różnicy natężenia strumieni promieniowania odbitego pomiędzy trawą i ugiem ($K_{tr} - K_{ug}$) w roku 2009 w Obserwatorium Wrocław-Swojec
Figure 5. Daily variation of difference of flux intensity of reflected solar radiation between grass and bare soil ($K_{tr} - K_{ug}$) in 2009 in the Wrocław-Swojec Observatory



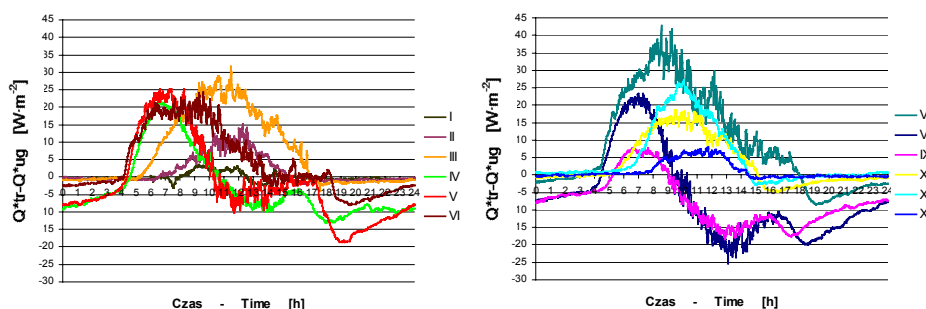
Rysunek 6. Przebieg dobowy różnicy natężenia strumienia promieniowania długofalowego pomiędzy trawą i ugiem ($L_{tr} - L_{ug}$) w roku 2009 w Obserwatorium Wrocław-Swojec

Figure 6. Daily variation of difference of flux intensity of long-wave radiation between grass and bare soil ($L_{tr} - L_{ug}$) in 2009 in the Wrocław-Swojec Observatory

Istotnym regulatorem zmian salda promieniowania jest wypromieniowanie podłoża (rys. 6). W miesiącach zimowych (oprócz grudnia) różnice wypromieniowania pomiędzy trawą i ugiem ($L_{tr} - L_{ug}$) były w godzinach dziennych przeważnie dodatnie a amplituda ich wahań sięgała ok. 10 Wm^{-2} . Różnice ujemne dominowały wiosną (w maju różnica natężenia badanych strumieni promieniowania długofalowego ($L_{tr} - L_{ug}$) osiągnęła w godzinach południowych około -28 Wm^{-2} (rys. 6a), zaś w sierpniu w południe (rys. 6b) aż -47 Wm^{-2} . Wypromieniowanie ugoru było większe niż powierzchni porośniętej zwartą pokrywą roślinną. Pokrywa roślinna spełniła tutaj rolę izolatora i zatrzymała więcej ciepła w glebie niż powierzchnia bez roślin.

Różnice ujemne ($L \hat{\uparrow}_{tr} - L \hat{\uparrow}_{ug}$) obserwowano także nocą (prawie dla wszystkich miesięcy). To także za przyczyną izolacyjnej roli trawnika, który nie dopuszczał nocą do dużego wypromieniowania ciepła. Jesienią różnice zmniejszają się do ok. -22 Wm^{-2} , zimą są najmniejsze, w dzień dodatnie (do ok. 5 Wm^{-2}), nocą znacznie mniejsze, ujemne lub oscylujące wokół 0 (rys. 6a i 6b). W miesiącach zimowych (różnice strumieni ($L \hat{\uparrow}_{tr} - L \hat{\uparrow}_{ug}$) zmieniają się na wartości dodatnie w dzień, po południu i nocą zanikają. To dzienne wychylenie to wynik innej temperatury podłoża z pokrywą roślinną i pokrywą śnieżną zarazem, która zimą pełni rolę izolatora, chroniąc glebę przed utratą ciepła.

Obok grubości pokrywy śnieżnej nie bez znaczenia jest również liczba dni z jej zaleganiem. Zanikanie pokrywy śnieżnej na wiosnę opóźnia wzrost temperatury powietrza powyżej 0°C (strata ciepła na proces topnienia i sublimacji) i wpływa na wypromieniowanie podłoża [Karpieńska 1982]. Pokrywa śnieżna, retencjonując wodę w postaci stałej, jest jednym z ważniejszych składników bilansu wodnego gleby. Duże albedo pokrywy śnieżnej przyczynia się do występowania tzw. inwersji śnieżnych na skutek silnego wypromieniowania ciepła z jej powierzchni. Z punktu widzenia rolnictwa pokrywa śnieżna decyduje o warunkach prezimowania roślin uprawnych chroniąc je przed wymarzaniem.



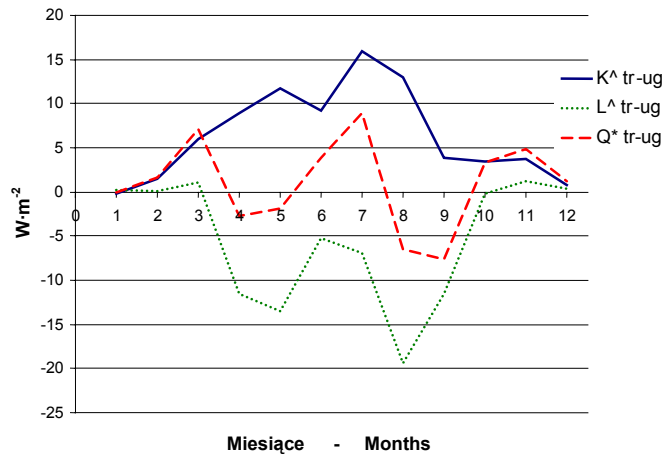
Rysunek 7. Przebieg dobowy różnicy salda promieniowania pomiędzy trawą i ugorem ($Q^*_{tr} - Q^*_{ug}$) w roku 2009 w Obserwatorium Wrocław-Swojec

Figure 7. Daily variation of difference of net radiation between grass and bare soil ($Q^*_{tr} - Q^*_{ug}$) in 2009 in the Wrocław-Swojec Observatory

Wymienione czynniki sezonowe i zmiany powierzchni czynnej kształtują zróżnicowany przebieg roczny salda promieniowania obu badanych powierzchni (rys. 7). Różnice salda promieniowania pomiędzy powierzchnią porośniętą trawą i powierzchnią bez roślin ($Q^*_{tr} - Q^*_{ug}$) przedstawiono w uśrednionym przebiegu dobowym (wykres z lewej dotyczy miesięcy I–VI, zaś z prawej VII–XII). W pierwszej połowie roku wahały się one w maju od -18 Wm^{-2} do 25 Wm^{-2} . W drugiej połowie roku wyróżnia się lipiec z wahaniami od -8 Wm^{-2} do 41 Wm^{-2} ,

przy czym w dzień saldo promieniowania powierzchni trawiastej jest większe, nocą (przy ujemnych różnicach Q^*) saldo promieniowania jest większe dla ugoru.

W rocznym przebiegu różnic ($Q_{tr}^* - Q_{ug}^*$) zauważamy wyraźne zmniejszenie ich wartości od $-8,0 \text{ Wm}^{-2}$ do $8,0 \text{ Wm}^{-2}$ (rys. 8). Wahania różnic ($K\hat{\lambda}_{tr} - K\hat{\lambda}_{ug}$) zamykają się w przedziale od $0-15 \text{ Wm}^{-2}$, największe różnice sięgające prawie -20 Wm^{-2} (sierpień) zanotowano dla ($L\hat{\lambda}_{tr} - L\hat{\lambda}_{ug}$). Świadczy to intensywniejszym nagrzewaniu się podłoża bez pokrywy roślinnej a oszacowane ilości różnic wskazują na znaczną zmienność tych różnic w analizowanym okresie [Bryś 2008, 2009].



Rysunek 8. Przebieg roczny różnicy (pomiędzy trawą i ugorom): salda promieniowania ($Q_{tr}^* - Q_{ug}^*$), strumienia promieniowania odbitego ($K\hat{\lambda}_{tr} - K\hat{\lambda}_{ug}$), strumienia promieniowania długofalowego ($L\hat{\lambda}_{tr} - L\hat{\lambda}_{ug}$) w roku 2009 w Obserwatorium Wrocław–Swojec

Figure 8. Annual variation of difference (between grass and bare soil) of: net radiation ($Q_{tr}^* - Q_{ug}^*$), reflected solar radiation flux ($K\hat{\lambda}_{tr} - K\hat{\lambda}_{ug}$), long-wave radiation flux ($L\hat{\lambda}_{tr} - L\hat{\lambda}_{ug}$) in 2009 in the Wrocław–Swojec Observatory

PODSUMOWANIE

Wyniki powyższych analiz dwóch powierzchni rolniczych położonych w bliskiej od siebie odległości (15 m), potwierdzają ważną rolę szaty roślinnej przy absorbowaniu i dystrybucji dopływającej do powierzchni czynnej energii słonecznej. Całkowity bilans promieniowania Q^* to dostępna w środowisku energia, która zostaje potem wykorzystana na 3 strumienie: ciepło jawne, utajone i strumień ciepła glebowego. W rezultacie podziału energii na te strumienie, dochodzi do wytworzenia się mozaiki klimatów lokalnych. Wpływ szaty roślin-

nej i obecność sprzężeń zwrotnych wpływają na topoklimatyczne skutki zaobserwowanych różnic radiacyjnych.

Prowadzone od roku 2007 badania aktynometryczne w Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii Wrocław-Swojec, które obejmują pomiary całkowitego bilansu promieniowania dwóch powierzchni – trawnika i ugoru, akcentują zmienną, klimatotwórczą rolę powierzchni rolniczych.

Badania te mają na celu określenie wpływu zmian użytkowania powierzchni Ziemi na zachodzące obecnie zmiany klimatyczne, ze zwróceniem szczególnej uwagi na obszary rolnicze. To oddziaływanie zależy od charakteru powierzchni ziemi i przejawia się przez mechanizmy fizyczne (zmiany albedo, siły tarcia, parowania, konwekcji i turbulencji) oraz przez zmianę składu chemicznego atmosfery. Lokalne zmiany użytkowania ziemi splatają się tu z globalnym trendem zmniejszania się powierzchni rolniczych i leśnych na rzecz obszarów zurbanizowanych. Ekspansja powierzchni antropogenicznych pozbawionych roślin i odchodzenie od tradycyjnej struktury upraw powodują długotrwałe skutki nie tylko topoklimatyczne, ale mogą wpływać także na zmiany klimatyczne w większych skalach przestrzennych. Dotychczasowe badania dowodzą, że szata roślinna pełni rolę swoistego topo- i mezoskalowego buforu w stosunku do zachodzących zmian klimatycznych o charakterze globalnym [Bryś 2009]. Ścisłe określenie tych relacji wymaga rozpoznania mechanizmów przepływu energii powodujących zmiany bilansu energetycznego różnych powierzchni. Obserwacje nad temperaturą gleby [Bryś 2004, 2008; Karpińska 1982; Radomski 1973] pozwoliły uchwycić znaczące różnice pomiędzy nagrzewaniem się powierzchni porośniętej trawą i powierzchni bez roślin (ugór). Skutkiem takiego nagrzewania są istotne zmiany bilansu krótko- i długofalowego, a w rezultacie salda promieniowania.

WNIOSKI

1. Struktura bilansu cieplnego zależy w bardzo dużym stopniu od czynników lokalnych. W krajobrazie rolniczym kształtuje się ona głównie w zależności od występowania lub braku pokrywy roślinnej.

2. Uzyskane rezultaty, wraz z wynikami wcześniejszych badań nad termiką gleby wskazują na istotny, buforujący wpływ pokrywy roślinnej na skutki termiczne oddziaływań promieniowania słonecznego na powierzchnię czynną gleby i gruntu.

3. Kontrastowość cech fizyczno-biologicznych rozpatrywanych dwóch powierzchni czynnych wpływa istotnie na różnicowanie ich właściwości radiacyjnych (absorpcyjnych i dystrybucyjnych). Dowodzą tego wyraźne różnice w wartościach synchronicznych pomierzonych parametrów radiacyjnych tych powierzchni. Największe różnice sięgające prawie -20 Wm^{-2} zanotowano w przebiegu rocznym dla ($L \hat{t}_{tr} - L \hat{t}_{ug}$), w przebiegu dobowym osiągnęły one aż

-47 Wm⁻². Potwierdza to ważną, izolacyjną rolę pokrywy roślinnej chroniącej grunt przed utratą ciepła.

4. Podstawowym regulatorem zmian różnic bilansu obu powierzchni w okresie letnim jest zmiana albedo. W okresie zimowym o obecności lub braku podobnych różnic decyduje stan gruntu kształtowany przez obecność lub brak pokrywy śnieżnej.

5. Przeprowadzone badania pośrednio dowodzą, że zmiany użytkowania ziemi powodują istotne różnice w saldzie promieniowania agroekosystemów. Skutki tych zmian odczuwalne są w pierwszej kolejności w zmianach topoklimatycznych. Inaczej bowiem gospodaruje dostarczoną energią słoneczną powierzchnia bez roślin, inaczej powierzchnia pokryta zwartą pokrywą roślinną.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007–2010 jako projekt badawczy N30507332/2594.

BIBLIOGRAFIA

- Bac S., Baranowski S. *Wielkość i przebieg albedo niektórych powierzchni rolniczych*, Prace Instytutu Gospodarki Wodnej, t. 4, Warszawa 1968.
- Bartoszek K. *Charakterystyka pokrywy śnieżnej w Obserwatorium Agrometeorologicznym w Felinie (1955/1956–2004/2005)*, Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Vol.LXII (1), Sectio E. Lublin 2007. 2004 s. 39–47.
- Bryś K. *Wieloletnia zmienność termiki gleby we Wrocławiu-Swojcu i jej radiacyjne i cyrkulacyjne uwarunkowania*, Acta Agrophysica, 3(2). Lublin. 2004, s. 209–219.
- Bryś K. *Rola terenowych stacji Akademii Rolniczej we Wrocławiu w poznaniu klimatu solarnego Wrocławia i Dolnego Śląska* [w:] Rola stacji terenowych w badaniach geograficznych. Pod red. K. Krzemienia, J. Trepińskiej i A. Bokwy. Wyd. Inst. Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków 2005, s. 141–154.
- Bryś K. *Wieloletni wpływ pokrywy roślinnej na termikę gleby* Acta Agrophysica 161, Vol. 12(1). Lublin 2008. s. 39–55.
- Bryś K. *Zmiany bilansu promieniowania powierzchni bez roślin i porośniętej trawą we Wrocławiu-Swojcu*, Acta Agrophysica 171, Vol. 14(2). Lublin 2009, s. 287–303.
- Bryś K., Bryś T. *Wahania natężenia promieniowania słonecznego całkowitego w 55-letniej serii wrocławskiej (1946–2000)*, Prace i Studia Geograficzne, t. 29. Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2001, s. 161–171.
- Bryś K., Bryś T. *Fluctuations of global solar radiation in the 20th century at Wrocław and their relations to Wolf's number and circulation changes*, Acta Univ. Wratisl. St. Geogr. 2542, t. 75. Wrocław 2003, s. 189–202.
- Bryś K., Bryś T. *Zmienność klimatu solarnego Wrocławia w latach 1875–2004*, Pamiętnik Puławski, 144. IUNiG, Puławy 2007, s. 13–33.
- Budzik T. *Pomiary promieniowania krótkofalowego i długofalowego w Sosnowcu w latach 2002–2005 z wykorzystaniem bilansomierza CNR-1 (Net Radiometr Kipp & Zonen)*, Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Geographia, Sectio B, Vol. LXI. Lublin 2006, s. 100–106.
- Caputa Z. *Pomiary mikroklimatyczne, gradientowe i bilansu promieniowania za pomocą automatycznych stacji pomiarowych* [w:] Rola stacji terenowych w badaniach geograficznych. Pod red. K. Krzemienia, J. Trepińskiej i A. Bokwy. Wyd. Inst. Geografii i Gosp. Przestrzennej UJ. Kraków 2005, s. 155–170.

- Caputa Z., Leśniok M. *Struktura bilansu promieniowania na obszarach miejskich i wiejskich – system pomiarowy i wybrane wyniki pomiarów na Wyżynie Śląsko-Krakowskiej* Prace Geograficzne UJ, z. 122. Kraków 2009, s. 23–38.
- Grzybowski J. *Mapa wymiany energii między atmosferą a podłożem jako podstawa analizy funkcjonowania środowiska geograficznego*, Przegl. Geogr. 57, 1/2. Warszawa 1976 s. 131–142.
- Fortuniak K. *Miejska wyspa ciepła, podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*, Rozprawa habilitacyjna. Wyd. UŁ. Łódź 2006, ss 233.
- Karpińska Z. *Warunki cieplne gleby* [w:] *Agroklimatyczne podstawy melioracji wodnych w Polsce* pod red. S. Baca jr. PWRiL. Warszawa 1982, s. 205–249.
- Kapuściński J. *Struktura bilansu cieplnego powierzchni czynnej na tle warunków klimatycznych środkowo-zachodniej Polski*, Roczn. AR w Poznaniu, Rozprawy Naukowe 303. Poznań 2000, ss 248.
- Kędziora A. *Podstawy agrometeorologii*, PWRiL. Poznań 1999, ss. 364.
- Leśny J. *Analiza wpływu pokrywy roślinnej na strukturę bilansu cieplnego powierzchni czynnej*, maszynopis pracy doktorskiej. Poznań 1998.
- Łykowski B. *O pomiarach albedo roślin zielonych*. Ekol. Pol. ser. B, t. 14, z. 1. Warszawa 1968.
- Miara K., Paszyński J. *Roczny przebieg albedo powierzchni trawiastej w Polsce* Przegląd Geograficzny, T. LVI, z. 3–4. Warszawa 1984, s. 127–143.
- Miara K., Paszyński J., Grzybowski J. *Zróżnicowanie przestrzenne bilansu promieniowania na obszarze Polski*, Przegl. Geogr. 4. Warszawa 1987, s. 487–509.
- Oke T. R. *Boundary layer climates*. Routledge, London – New York 1987.
- Olejnik J. *Modelowe badania struktury bilansu cieplnego i wodnego zlewni w obecnych i przyszłych warunkach klimatycznych*. Roczn. AR w Poznaniu, Rozprawy Naukowe 268, Poznań 1996. ss.120.
- Olejnik J., Kędziora A. *Model for heat and water balance estimation and its application to land use and climate variation*, Earth Surface Processes and Landforms 16. 1991, s. 601–617.
- Paszyński J. *Atlas bilansu promieniowania w Polsce*. Dok. Geogr. IG PAN, nr 4. Warszawa 1966, s. 1–18.
- Paszyński J., Miara K., Skoczek J. *Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego*. Dok. Geogr. nr 14, Warszawa 1999, ss. 127.
- Paszyński J., Niedźwiedz T. *Klimat* [w:] *Geografia Polski – Środowisko przyrodnicze*, PWN, Warszawa, 288–343.
- Podstawczyńska A., 2007: *Cechy solarne klimatu Łodzi*. Wyd. UŁ, Łódź 1991, ss. 294.
- Radomski C. *Agrometeorologia* PWN, Warszawa 1973, ss. 449.
- Schönwiese Ch.D. *Klimat i człowiek*, Prószyński i Spółka, Warszawa 1997, ss. 185.
- Usovicz B., Marczewski W. *Rozkład właściwości cieplnych gleby na czarnym ugorze i pod murawą*. Acta Agrophysica, 117, 5(3). Lublin 2005, s. 745–757.

Dr Krystyna Bryś
Zakład Agro- i Hydrometeorologii, Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska,
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu,
Plac Grunwaldzki 24; 50-363 Wrocław,
e-mail: krystyna.brys@up.wroc.pl

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Parzonka