

ZBIGNIEW CAPUTA

Katedra Klimatologii
Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski

ZRÓŻNICOWANIE ALBEDO ORAZ WSPÓŁCZYNNIKÓW NAGRZEWANIA
I EFEKTYWNOŚCI POCHŁANIANIA PROMIENIOWANIA NA OBSZARZE
PUSTYNI BŁĘDOWSKIEJ

Diversity of albedo and longwave exchange and radiative efficiency coefficients
on the Błędów Desert area

ABSTRAKT: Na wytypowanych powierzchniach piaszczystych Pustyni Błędowskiej na Wyżynie Śląskiej przeprowadzono kompleksowe badania meteorologiczne i biologiczne w sezonach wegetacyjnych 2001 i 2002 r. Artykuł przedstawia część badań dotyczących promieniowania słonecznego, albedo oraz współczynników nagrzewania, efektywności pochłaniania promieniowania jako wskaźników do oceny i porównania wybranych powierzchni. Analizowano przebieg oraz rozkład przestrzenny poszczególnych składników bilansu promieniowania, salda promieniowania oraz wspomnianych współczynników dla powierzchni typowych dla Pustyni Błędowskiej.

Ze względu na łatwe wyznaczanie albedo jest ono najczęściej stosowane do porównywania cech powierzchni w badaniach bilansu promieniowania krótkofalowego. Przyjmuje wartości od 0,1 dla ciemnych lub wilgotnych powierzchni do 0,4 dla jasnego piasku. Na powierzchniach piaszczystych pokrytych substancją organiczną lub roślinnością w pierwszym etapie sukcesji (inicjalną) współczynnik efektywności pochłaniania osiąga wartość 0,54 – dużo wyższą niż na powierzchni piaszczystej (0,37). Określono współczynnik nagrzewania. Współczynnik ten jest również uzależniony od cech środowiska, ponieważ uwzględnia wymianę energii w postaci strumieni długofalowych między atmosferą a podłożem. Jego wartości zmieniają się w zakresie od -0,32 do -0,35. Stwierdzono, że współczynnik ten nie jest wystarczająco precyzyjny do określania nagrzewania powierzchni piaszczystych i suchych.

słowa kluczowe – key words:

współczynnik nagrzewania – *coefficient longwave exchange*, efektywność pochłaniania promieniowania – *radiative efficiency*, albedo – *albedo*, Pustynia Błędowska – *Błędów Desert*

WSTĘP

Artykuł jest kontynuacją analizy wyników uzyskanych w czasie badań na wytypowanych powierzchniach piaszczystych Pustyni Błędowskiej na Wyżynie Śląskiej przeprowadzonych w sezonach wegetacyjnych 2001 i 2002 r. (9, 10, 3). W opracowaniu tym szczególną uwagę zwrócono na promieniowanie oraz podjęto próbę wyznaczenia współczynników pozwalających na porównywanie cech powierzchni.

Ze względu na dużą zmienność wartości promieniowania całkowitego i salda promieniowania (Q^*) oraz zależność od szerokości geograficznej, pogody i czynników lokalnych, wygodny do porównań wydaje się być współczynnik określający ilość promieniowania pochłoniętego przez powierzchnię. Biorąc pod uwagę saldo promieniowania Q^* i strumień promieniowania całkowitego ($K\downarrow$) można wyznaczyć współczynnik efektywności pochłaniania radiacji (radiative efficiency) ϕ_p jako stosunek $Q^*/K\downarrow$. Jest on przydatny do wykazania zmienności przestrzennej pochłaniania radiacji przez powierzchnię czynną. Ponadto współczynnik α (albedo) oraz ϕ_p zależą od stanu podłoża oraz wyrażają zdolność powierzchni do pochłaniania promieniowania słonecznego (5).

Współczynnik ϕ_p jest wykorzystywany w opracowaniach dotyczących powierzchni o silnie zróżnicowanych cechach. Dla przykładu w Arktyce Kanadyjskiej (tundra) jego zmienność jest mała od 0,56 do 0,70 (11). Słabością tego współczynnika jest to, iż wartości natężenia $K\downarrow$ występują po obu stronach zależności $Q^*/K\downarrow$ – w mianowniku oraz w liczniku jako składnik salda Q^* .

Obok współczynnika ϕ_p stosowany jest w modelach regresji współczynnik nagrzewania powierzchni $\lambda_p = L^*/K\downarrow$. Wyraża on zmiany salda promieniowania długofalowego podłoża do zmian promieniowania słonecznego. Jest to zatem wyznacznik cech powierzchni, które decydują o pochłanianiu promieniowania. Indeks ten jest również czuły na cechy środowiska, ponieważ uwzględnia intensywność strumieni długofalowych ($L^* = L\downarrow - L\uparrow$) powierzchni czynnej.

Celem niniejszych badań jest wyznaczenie wspomnianych współczynników na Pustyni Błędowskiej oraz porównanie ich z analogicznymi wartościami uzyskanymi dla powierzchni standardowej.

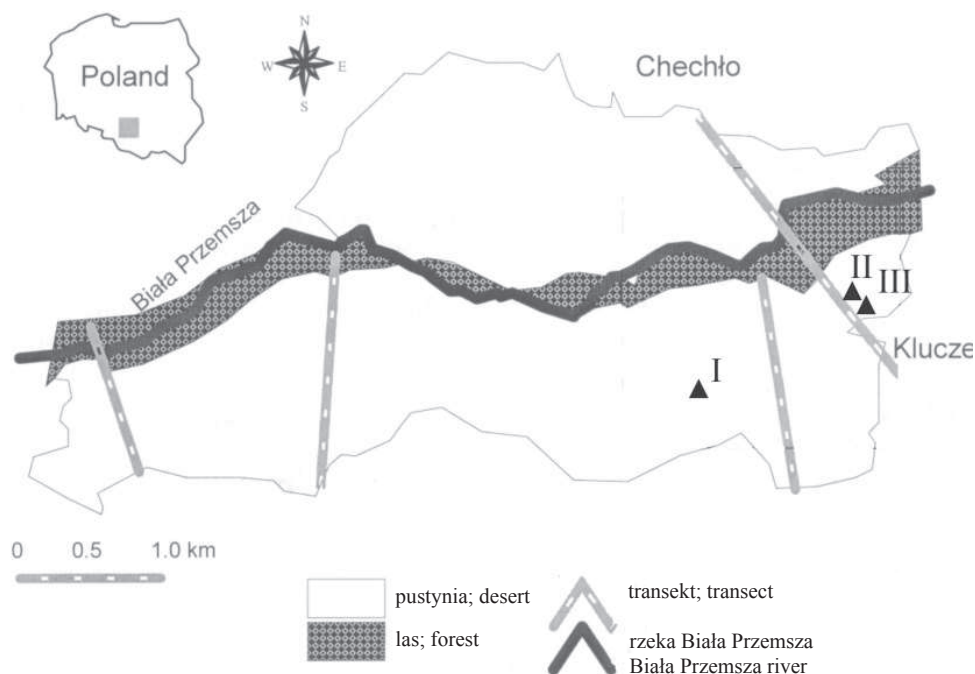
OBSZAR BADAŃ I METODA BADAŃ

Pustynia Błędowska, na której były prowadzone pomiary, jest uważana za osobliwość przyrodniczą nie tylko w skali Polski. Położona jest we wschodniej części Wyżyny Śląskiej i zajmuje powierzchnię około 30 km². Porośnięta w dużej części borami sosnowymi, posiada powierzchnie otwarte charakterystyczne dla pustyni. Oprócz wydmowego wału ciągnącego się wzdłuż Białej Przemszy występują tu liczne wydmy różnej wielkości i kształtu. W szczególnych przypadkach wydmy oddzielone są od siebie powierzchniami deflacyjnymi. Obecnie rzadko spotyka się czynne pola deflacyjne, ponieważ w znacznym stopniu zostały one utrwalone przez zbiorowiska roślinne (8). Są to murawy napiaskowe z dominacją traw, a także z mchami i porostami, następnie zarośla wierzbowe oraz monokultury sosnowe (13). Należy zaznaczyć, że Pustynia Błędowska nie jest pustynią w sensie klimatycznym i nie może być porównywana z prawdziwymi pustyniami (choćby z tego względu, że średnia roczna suma opadu wynosi dla tego obszaru około 700 mm).

Badania biologiczne prowadzono w kilkunastu punktach oraz kilku transektach na powierzchniach charakterystycznych dla Pustyni Błędowskiej. Badania dotyczą-

ce zróżnicowania mikroklimatycznego były prowadzone przy użyciu automatycznych stacji terenowych Campbell. Pomiary prowadzono w okresie wegetacyjnym na wybranych zbiorowiskach roślinnych każdorazowo przez okres kilku dni, ponadto wykonywano systematycznie obserwacje ekologiczne na wybranych transektach (10). Pomiary bilansu promieniowania powierzchni deflacyjnej przeprowadzono 17–19.05.2000 r., natomiast powierzchni pokrytej roślinnością kserotermiczną i w młodniku sosnowym w dniach 2–3.08.2001 r. Jednocześnie prowadzono analogiczne pomiary na powierzchni standardowej na stacji meteorologicznej Wydziału Nauk o Ziemi UŚ w Sosnowcu (1).

W trzech punktach rejestrowano elementy meteorologiczne (temperaturę gruntu na głębokości 5 cm, temperaturę powierzchni oraz temperaturę powietrza, wilgotność powietrza, prędkość i kierunek wiatru na wysokości 200 cm; składniki bilansu promieniowania na wysokości 150 cm) przez kilka pogodnych dni (rys. 1). Pierwszym punktem było pole deflacyjne pozbawione roślinności, drugim – zbiorowisko z *Corynephorus canescens* znajdujące się na wzniesieniu (fot. 1). Trzecim punktem był młodnik sosnowy z drzewami o wysokości od 0,3 do 1,5 m (fot. 2). Powierzchnia pod sosnami częściowo pokryta była igłami i glonami na jasnym piasku. Ponadto badano inne powierzchnie występujące wzdłuż transektów, jednak nie zaliczane do dominujących na obszarze Pustyni Błędowskiej. Na uwagę zasługuje powierzchnia

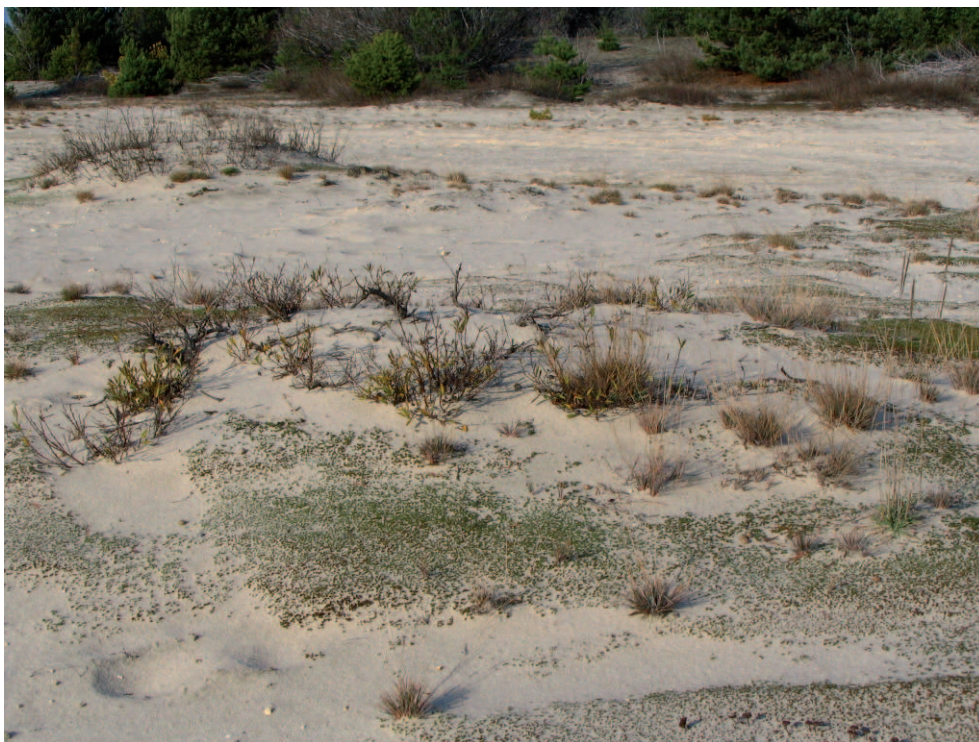


Rys. 1. Obszar badań. Zaznaczono linie transektów oraz punkty lokalizacji stacji pomiarowej
The area of research. Line research and point where localisation station are marked

blisko cieków lub wilgotna. Występowała w obniżeniach terenu, blisko cieków, była porośnięta roślinnością higrofilną. W jej obrębie występowały podmokłe obszary porośnięte również zbiorowiskami leśnymi. Szczegółowy opis pomiarów i stanowisk znajduje się w pracy Rahmonov i Caputy (9).

Przeprowadzone badania na charakterystycznych powierzchniach Pustyni Błędowskiej pozwoliły na obliczenie bilansu promieniowania dla pogodnej doby maja i sierpnia ze względu na zbliżony czas trwania dnia. Obok salda promieniowania Q^* obliczono również współczynniki: nagrzewania, efektywności pochłaniania promieniowania oraz albedo jako elementy służące ocenie i porównaniom właściwości powierzchni czynnej (1, 2). Pomiary wykonane w punktach obserwacyjnych oraz wzdłuż transektów pozwoliły na wyznaczenie tych współczynników dla powierzchni piaszczystych i dla powierzchni pokrytych roślinnością, charakterystycznych dla Pustyni Błędowskiej.

Następnie porównano badane powierzchnie pustyni z powierzchnią standardową (murawa na stacji meteorologicznej Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Sosnowcu) i przyjęto za 100% wartość salda promieniowania Q^* tej powierzchni. Następnie dla poszczególnych powierzchni Pustyni Błędowskiej obliczono od-



Fot. O. Rahmonov

Fot. 1. Pole deflacyjne oraz roślinność inicjalna (glony, mchy, trawy)
Deflation field and initial plants (algae, moss, grass)



Fot. O. Rahmonov

Fot. 2. Bór sosnowy wkraczający na teren Pustyni Błędowskiej.
The pines forest is entranced on the Błędów Desert

chylenia procentowe od wartości salda Q^* powierzchni standardowej zmierzonych w czasie pogodnego dnia.

WYNIKI I DYSKUSJA

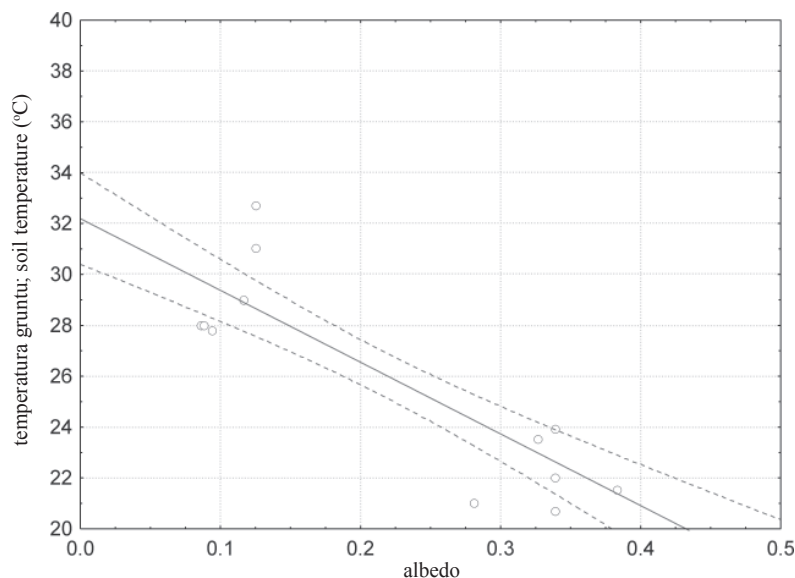
Na podstawie badań struktury bilansu promieniowania Wyżyny Śląsko-Krakowskiej (2) oraz wyznaczonych odchyłeń salda promieniowania od wartości uzyskanych dla powierzchni standardowej (9) stwierdzono, iż obszary podmokłe porośnięte zbiorowiskami leśnymi charakteryzują się dodatnim odchyleniem salda Q^* sięgającym nawet 40%. Obszary suche i bardzo suche związane są z nieckami deflacyjnymi oraz formami akumulacyjnymi. Porośnięte są one murawami napiaskowymi (szczotlichowymi i strzęplicowymi) charakteryzującymi się ujemnym odchyleniem salda promieniowania o 20–30% od wartości standardowej (3).

Badania dotyczące mikroklimatu przeprowadzone na powierzchni czynnej Pustyni Błędowskiej wykazały jej zróżnicowanie pod względem temperatury, wilgotności i salda Q^* . Na to zróżnicowanie wpływała roślinność występująca na pustyni, faza jej rozwoju, barwa i struktura (3). Ze względu na badania prowadzone w róż-

nych punktach oraz okresach rozwoju roślinności pojawiła się potrzeba znalezienia współczynnika pozwalającego na porównania ich wyników.

Współczynnik albedo

Powierzchnie piaszczyste i roślinność Pustyni Błędowskiej charakteryzowały się stosunkowo dużą zmiennością albedo od 0,1 do 0,4. Ciemna, obumarła roślinność miała niskie wartości albedo, natomiast najwyższe przyjmowała powierzchnia piaszczysta. Suchy piasek pola deflacyjnego dobrze odbijał promienie słoneczne ($\alpha = 0,36$), natomiast najwyższe wartości albedo notowano na powierzchni z usuniętą wierzchnią warstwą — jasny, złocisty piasek — 0,39 (T. Oke (6) podaje nawet 0,45!). Obok wysokich wartości albedo na uwagę zasługują wyjątkowo małe wartości strumienia Q^* , zanotowane również dla innych obszarów półpustynnych, np. Ałma-Aty (7). Jednocześnie z pomiarami promieniowania mierzono temperaturę gruntu na głębokości 5 cm w czasie pogodnego dnia w południe (15 powierzchni pomiarowych). Temperatura gruntu dobrze oddaje intensywność strumienia ciepła w gruncie i może być jego wyznacznikiem (12). Dlatego poddano analizie zależności wartości temperatury od albedo dla poszczególnych powierzchni i otrzymano równanie regresji $T_s = 32,2 - 28,2\alpha$. Stwierdzono istotną statystycznie, silną zależność tych elementów ($r^2 = 0,76$) i charakterystyczne dwie grupy wartości: I z niskim albedo i wysoką temperaturą oraz II z wysokim albedo i niższymi wartościami temperatury niż w I grupie (rys. 2).



Rys. 2. Zależność temperatury gruntu od albedo wybranych powierzchni na Pustyni Błędowskiej
The dependence of temperature on albedo of selected area of the Błędów Desert

Ponadto 35 badanych powierzchni sklasyfikowano ze względu na wartość albedo. Wyróżniono: I grupę z niskimi wartościami albedo do 0,15 (rośliny zarodnikowe na ciemnym podłożu), II grupę z średnimi wartościami albedo od 0,16 do 0,24 (rośliny zarodnikowe i naczyniowe na podłożu ciemnoszarym), III grupę z wysokimi wartościami albedo, powyżej 0,25 (rośliny porastające luźne piaski); (3).

Charakterystyka współczynników nagrzewania i efektywności pochłaniania promieniowania

Współczynnik efektywności pochłaniania promieniowania ϕ_p dla powierzchni standardowej przyjmuje wartości ujemne w styczniu i w grudniu, natomiast przez pozostałą część roku jest dodatni. Ze względu na dużą wrażliwość ϕ_p na wartości salda promieniowania Q^* w mniejszym stopniu jest przydatny do porównań w okresie zimowym. Jednak w przeważającej części roku wykazuje dużą stabilność. Można przyjąć, że od marca ($\phi_p = 0,45$) do października ($\phi_p = 0,39$) współczynnik ten dobrze charakteryzuje wymianę promieniowania między atmosferą a podłożem pokrytym murawą (2).

Natomiast średnie miesięczne wartości współczynnika nagrzewania λ_p murawy są ujemne w ciągu całego roku. Współczynnik ten, podobnie jak ϕ_p , wykazuje dużą zmienność w okresie zimowym, m.in. ze względu na występującą pokrywę śnieżną. Natomiast jest on stosunkowo stabilny w okresie od marca ($\lambda_p = 0,35$) do października ($\lambda_p = 0,36$). Z tego względu postanowiono wyznaczyć i zestawić wartości tych współczynników dla wybranych powierzchni czynnych Pustyni Błędowskiej w dniach pogodnych w okresie od marca do października. Następnie odniesiono te wartości do analogicznych okresów pomiarowych na powierzchni standardowej (murawy) przy stacji WNoZ w Sosnowcu.

Na obszarach bardzo wilgotnych, bagnistych, z wodą podskórną i powierzchnią następuje powolne nagrzewanie się podłoża w ciągu dnia i wychładzanie nocą. Powierzchnie takie występują wzdłuż Białej Przemszy przepływającej przez Pustynię Błędowską. Na tych powierzchniach współczynnik efektywności przyjmuje duże wartości ($\phi_p = 0,73$), co świadczy o intensywnym pochłanianiu energii promienistej (tab. 1). Amplitudy dobowe temperatury powietrza nad tymi powierzchniami są małe, z tego względu m.in. że zwarta roślinność w dzień zmniejsza dopływ energii słonecznej do powierzchni gruntu, a w nocy ogranicza emisję ciepła.

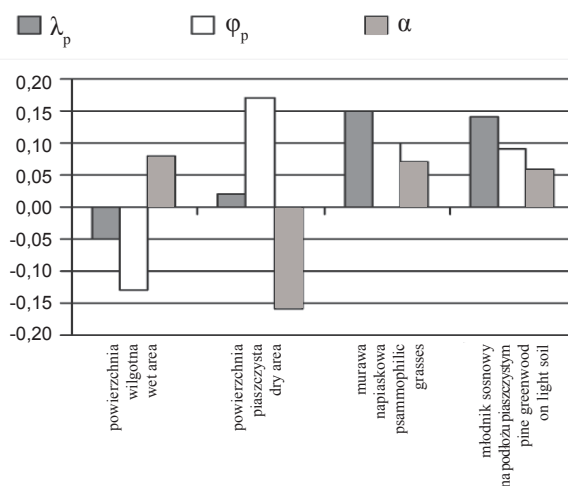
Podobnie jak ϕ_p , współczynnik nagrzewania również przyjmuje duże wartości dla powierzchni wilgotnej ($\lambda_p = -0,19$). Jest to przypadek, gdy wartości λ_p zbliżają się do zera i jednocześnie są wyższe niż wartości λ_p murawy. Natomiast współczynnik λ_p osiąga wartości powyżej zera dla specyficznych powierzchni, np. na nawadnianym polu bawełny osiąga wartość 0,06 (4). Wartość dodatnia świadczy, iż nawadniane pole było stosunkowo chłodniejsze niż tereny suche (pustynne) wokół plantacji. Jednak współczynnik ten wykazuje małą zmienność dla powierzchni piaszczystych i suchych.

Tabela 1

Współczynniki nagrzewania ($\lambda_p = L^*/K\downarrow$), efektywności pochłaniania promieniowania ($\varphi_p = Q^*/K\downarrow$) i albedo ($\alpha = K\uparrow/K\downarrow$) wybranych powierzchni naturalnych oraz murawy na stacji WNoZ w Sosnowcu
 Longwave exchange coefficient ($\lambda_p = L^*/K\downarrow$), radiative efficiency coefficient ($\varphi_p = Q^*/K\downarrow$) and albedo ($\alpha = K\uparrow/K\downarrow$) of selected natural area on the Błędów Desert and standard area at Faculty of Earth Sciences' station at Sosnowiec

Wyszczególnienie Description	Powierzchnia naturalna Natural area			Powierzchnia standardowa (murawa) Standard area (grass)		
	λ_p	φ_p	α	λ_p	φ_p	α
Powierzchnia wilgotna Wet area	-0,19	0,73	0,10	-0,24	0,60	0,18
Powierzchnia piaszczysta Dry area	-0,32	0,37	0,36	-0,30	0,54	0,20
Murawa napiaskowa Pssammophilic grasses	-0,35	0,53	0,13	-0,20	0,63	0,20
Młódzik sosnowy na podłożu piaszczystym Pine greenwood on light soil	-0,34	0,54	0,14	-0,20	0,63	0,20

Powierzchnie o dużej porowatości takie jak piasek emitują o 1–34% mniej promieniowania długofalowego niż murawa szczotlichowa i jej podłoże (murawy napiaskowe nie są zwarte i nie przysłaniają całkowicie podłoża). Charakteryzowały się więc one małym współczynnikiem efektywności $\varphi_p = 0,37$. Powierzchnie piaszczyste pokryte nawet małą ilością substancji organicznej lub z występującą roślinnością zdecydowanie lepiej pochłaniają promieniowanie i φ_p przyjmuje nawet wartość 0,54, bardziej zbliżoną do φ_p murawy niż piasku.



Rys. 3. Różnice pomiędzy wartościami poszczególnych współczynników a wartościami obliczonymi dla murawy na powierzchni standardowej dla pogodnych dni

The differences between values of particular coefficients and values counted for standard area in fine days

Zestawienie różnic pomiędzy wartościami poszczególnych współczynników dla wybranych powierzchni a obliczonymi w tym samym czasie dla powierzchni standardowej wskazuje na duże podobieństwo powierzchni murawowych i porośniętych roślinnością zielną i młodnikiem sosnowym (rys. 3). Natomiast wilgotna powierzchnia silnie kontrastuje z powierzchnią piaszczystą Pustyni Błędowskiej – współczynnik ϕ_p osiąga najwyższe wartości dla powierzchni piaszczystej, dlatego różnica między tymi wartościami w pogodny dzień wynosi 0,17.

WNIOSKI

Jedną z najczęściej określanych właściwości fizycznych powierzchni jest albedo (α). Ze względu na łatwe wyznaczanie albedo (pomiar pyranometrem promieniowania całkowitego i odbitego od powierzchni) i jego wielkość – nie przekraczająca jedności, może ono być elementem wykorzystywanym do porównań. Silna zależność wartości temperatury i albedo wskazuje na przydatność tego współczynnika do szacowania wielkości strumienia ciepła w gruncie.

Współczynnik efektywności pochłaniania radiacji powierzchni piaszczystych pokrytych substancją organiczną lub roślinnością inicjalną jest zdecydowanie większy ($\phi_p = 0,54$) niż powierzchni piaszczystej (0,37).

Współczynnik nagrzewania (λ_p) przyjmuje podobne wartości dla powierzchni piaszczystych i suchych, od -0,32 do -0,35.

LITERATURA

1. Caputa Z.: Pomiary bilansu promieniowania różnych powierzchni czynnych przy wykorzystaniu automatycznych stacji pomiarowych. Ann. UMCS, 2001, vol. LV/LVI, **11**: 95-103.
2. Caputa Z.: Struktura bilansu promieniowania na wybranych powierzchniach czynnych Wyżyny Śląsko-Krakowskiej. Maszynopis, Katedra Klimatologii, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, 2002.
3. Caputa Z., Rahmonov O., Radosz J.: Struktura bilansu radiacyjnego różnych powierzchni Pustyni Błędowskiej, w druku.
4. Gay L.W.: The regression of net radiation upon solar radiation. Geophysik und Bioklimatologie, 1971, **19B**: 1-21.
5. Lafleur P.M., Rouse W.R., Hardill S.G.: Components of the surface radiation balance of subarctic wetland terrain units during the snow-free season. Arctic Alpine Res., 1987, **19**: 53-63.
6. Oke T.R.: Boundary layer climates. Routledge, London, New York, 1987.
7. Paszyński J., Miara K., Skoczek J.: Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego. Dok. Geogr., 1999, **14**: 122.
8. Rahmonow O.: Studia nad procesem zarastania Pustyni Błędowskiej. Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, 1999.
9. Rahmonov O., Caputa Z.: The vegetation cover of the Błędów Desert in Geographical Information System (GIS). W: GIS Polonia 2001; red.: D. Kereković, E. Nowak, Proceedings, Hrvatski Informatički Zbor, Warszawa, 2001, 120-123.
10. Rahmonov O., Caputa Z., Kłys G.: The biogeocenosis formation on the area with different topography. W: GIS Odyssey 2002; red.: D. Kereković, Proceedings, Hrvatski Informatički Zbor, Split–Solun–Trogir–Korčula–Dubrovnik, 2002, 216-224.

11. Roulet N.R., Munro S., Mortsch L.: Wetland. W: The surface climates of Canada; red.: W.G. Bailey, T.R. Oke & W.R. Rouse, McGill-Queen University Press, 1999, 149-171.
12. Stoutjesdijk Ph., Barkman J.J.: Microclimate, vegetation and fauna. Opulus Press, Sweden, 1992.
13. Szczypek T., Wika S., Czyłok A., Rahmonow O., Wach J.: Pustynia Błędowska fenomen polskiego krajobrazu. Kubajak, Krzeszowice, 2001.

DIVERSITY OF ALBEDO AND LONGWAVE EXCHANGE AND RADIATIVE EFFICIENCY COEFFICIENTS ON THE BŁĘDÓW DESERT AREA

Summary

In the vegetation seasons of 2001 and 2002, comprehensive meteorological and biological research was carried out in the selected sandy areas of the Błędów Desert, located in the Silesia Upland. The article presents part of a research concerning solar radiation, radiative efficiency, longwave exchange and albedo coefficients, which are elements used for the evaluation and comparison of active surface. The course and spatial distribution of individual elements of the radiation balance and the above-mentioned coefficients were analysed for surfaces representative of the Błędów Desert.

Due to its easy determination, the albedo coefficient is the most often used determinant for the characteristics of an active surface for the research of short-wave radiation balance. Its values are between 0.1 for dark or damp areas and 0.4 for light sand. On sandy surfaces covered with organic substance or initial vegetation, the longwave exchange coefficient reaches the value of 0.54, which is much higher than on a sandy surface (0.37). The third of the researched indexes is the radiative efficiency coefficient, which is sensitive to environmental features due to the exchange of longwave streams of active surface. Nevertheless, it was found that the radiative efficiency coefficient shows little sensitivity for sandy and dry areas in the range between -0.32 and -0.35.

Praca wpłynęła do Redakcji 10 XI 2005 r.