

Prądnik. Prace Muz. Szafera	19	153–168	2009
-----------------------------	----	---------	------

JAKUB WOJKOWSKI¹, ZBIGNIEW CAPUTA²

¹Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza,
Al. A. Mickiewicza 24/28, 30–059 Kraków

²Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Klimatologii
ul. Będzińska 60, 41–200 Sosnowiec

PRZESTRZENNE I CZASOWE ZRÓŻNICOWANIE ALBEDA NA OBSZARZE OJCOWSKIEGO PARKU NARODOWEGO

Temporal and spatial variations of albedo in the Ojców National Park

ABSTRACT: The evaluation of solar radiation reflection ability (α) for the surface of the ONP was made using Landsat 7 satellite images and GIS. The spatial distribution of α for the surface within the four seasons was presented on maps. Additionally, the values of α were shown in table form and illustrated in the profile covering the surfaces typical of the ONP.

KEY WORDS: albedo, solar radiation, remote sensing, modeling, topoclimate, Landsat 7, GIS, ONP

WSTEP

Obserwowany w ostatnich latach dynamiczny rozwój teledetekcji satelitarnej oraz wzrost liczby satelitów środowiskowych, stworzył nową jakość w badaniach klimatologicznych. Dzięki obrazom satelitarnym możliwym stało się przeprowadzanie dla większych obszarów szczegółowych badań nad zmiennością przestrzenną niektórych elementów klimatu. Dotychczasowe badania z zakresu klimatologii satelitarnej, wykonywane na wysokorozdzielczych obrazach satelitarnych Ojcowskiego Parku Narodowego (OPN), dotyczyły zmienności przestrzennej całkowitego promieniowania słonecznego (Wojkowski 2006), bilansu promieniowania w pełnym zakresie widma (Wojkowski 2007a) oraz temperatury radiacyjnej powierzchni Ziemi i znormalizowanego różnicowego wskaźnika wegetacji NDVI (Wojkowski 2007b). Niniejsze opracowanie dotyczy oceny albedo powierzchni OPN.

Albedo jest liczbową charakterystyką określającą zdolność powierzchni do odbijania promieniowania słonecznego i wyrażone jest stosunkiem promieniowania słonecznego odbitego ($K\uparrow$) do padającego ($K\downarrow$). Może ono przyjmować wartości od 0 (co oznacza brak odbicia) do 1 (całe padające promieniowanie jest odbijane) albo być wyrażone w %. Słowo „albedo” pochodzi z łaciny (białość), opisuje jak jasny jest dany obiekt i jest oznaczane jako α . Termin ten został wprowadzony do optyki przez J.H. Lamberta (Lambert 1760). Wielkość ziemskiego α jest bardzo ważna dla funkcjonowania całego systemu klimatycz-

nego. Średnie α naszej planety wynosi około 0,3, a dla Polski 0,24 (Miara, Paszyński 1984) co oznacza, że 30% $K\downarrow$ docierającego do Ziemi jest oddawane z powrotem w przestrzeń kosmiczną. Największe odbicie występuje tam gdzie powierzchnia Ziemi pokryta jest śniegiem, natomiast najmniejsze jest nad oceaniami, szczególnie w okołorównikowych szerokościach geograficznych.

W zależności od skali czasowej, w jakiej badane jest zjawisko odbicia promieniowania słonecznego, stosuje się pojęcia: albedo dobowe, albedo miesięczne i albedo roczne. W ciągu roku α powierzchni naturalnej zmienia się głównie w zależności od rozwoju pokrywy roślinnej i od stanu gruntu. O ile w miesiącach letnich zmiany α murawy są raczej małe, o tyle w zimie są duże, gdyż zależą od występowania pokrywy śnieżnej. Na wielkość α ma wpływ rodzaj śniegu i stopień jego zanieczyszczenia, jak również to, czy śnieg jest świeży czy zawiera dużo wody.

Albedo powierzchni czynnej stanowi ważny czynnik różnicujący strukturę bilansu radiacyjnego, a przez to również lokalne warunki klimatyczne (Paszyński i in. 1999). Znajomość wielkości α i jego przestrzennego zróżnicowania jest w związku z tym bardzo istotna w badaniach topoklimatycznych oraz w analizie zjawisk zachodzących w środowisku na skutek zmian zagospodarowania i pokrycia terenu.

METODA BADAŃ

Do oceny zdolności odbijania promieniowania słonecznego od powierzchni OPN posłużono się zdjęciami satelitarnymi Landsat 7. Satelita ten był jednym z elementów międzynarodowego Systemu Obserwacji Ziemi (EOS). Został umieszczony na orbicie 15 kwietnia 1999 roku i monitorował zmiany zachodzące na powierzchni naszej planety. Porusza się on po orbicie biegunowej na wysokości około 705 km z okresem rewizyty, tj. czasem między kolejnymi przelotami nad tym samym obszarem, wynoszącym 16 dni. Głównym instrumentem na pokładzie satelity Landsat 7 był radiometr Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Rozdzielczość przestrzenna obrazów zarejestrowanych przez radiometr ETM+ była nieporównywalnie większa od skanerów zainstalowanych na satelitach meteorologicznych i zmieniała się od 15 m·piksel⁻¹ w kanale panchromatycznym, przez 30 m·piksel⁻¹ w kanałach widzialnych i podczerwonych do 60 m·piksel⁻¹ w kanale termalnym. Szerokość pojedynczego obrazu wykonanego przez satelitę wynosiła około 185 km.

W niniejszych badaniach wykorzystano cztery zdjęcia satelitarne zarejestrowane przez radiometr ETM+ w dniach reprezentatywnych dla podstawowych pór roku (30.04.2003 r., 15.08.2007 r., 28.10.2005 r., 02.03.2005 r.). Wszystkie zdjęcia zostały wykonane podczas pogody radiacyjnej około godziny 9.22 czasu miejscowego.

Do obliczenia wartości α wykorzystano promieniowanie zarejestrowane przez skaner ETM+ w kanale panchromatycznym z rozdzielczością przestrzenną 15 m·piksel⁻¹ i obejmującym część zakresu widzialnego i podczerwieni w przedziale długości fal od 0,52 do 0,90 μm . Mierzona przez detektor satelity energia była kodowana w 8-bitowym zakresie liczbowym od 0 do 255. Wartości te były niemianowane, określane jako jasności spektralne DN . Do wyznaczania α konieczne było przeliczenie wartości jasności spektralnych DN na luminancję energetyczną (spektralną) L_λ . Konwersję zarejestrowanych przez detektor satelity 8-bitowych wartości cyfrowych DN na luminancję spektralną L_λ dla kanału panchromatycznego przeprowadzono zgodnie z poniższym równaniem (Irish 2000):

$$L_{\lambda} = ((L_{max} - L_{min}) / (QCAL_{max} - QCAL_{min})) \cdot (QCAL - QCAL_{min}) + L_{min}$$

gdzie:

L_{λ} – luminancja spektralna zarejestrowana przez sensor satelity [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$],

L_{min} – minimalna luminancja spektralna wyznaczona dla detektorów [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$],

L_{max} – maksymalna luminancja spektralna wyznaczona dla detektorów [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$],

$QCAL$ – 8-bitowa wartość cyfrowa DN (wartości kanału panchromatycznego).

Następnie obliczono wartość α powierzchni czynnej:

$$\alpha = \pi L_{\lambda} d^2 / ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s$$

gdzie:

α – albedo powierzchni czynnej,

L_{λ} – luminancja spektralna zarejestrowana przez sensor satelity [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$],

d – odległość Ziemi od Słońca w astronomicznych jednostkach dla danego dnia w roku,

$ESUN_{\lambda}$ – średnie pozaatmosferyczne promieniowanie słoneczne dla kanału panchromatycznego [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$],

θ_s – kąt zenitalny Słońca w stopniach.

Uzyskane w powyższy sposób mapy albedo (ryc. 1, 2, 3 i 4) składają się z pikseli, które reprezentują teren w formie elementarnych kwadratów o długości boków 15 m i powierzchni 225 m². Badaniami objęto obszar OPN wraz z otuliną parku o rozciągłości południkowej pomiędzy 50°09'06"N i 50°15'27"N oraz rozciągłości równoleżnikowej pomiędzy 19°44'45"E i 19°53'26"E.

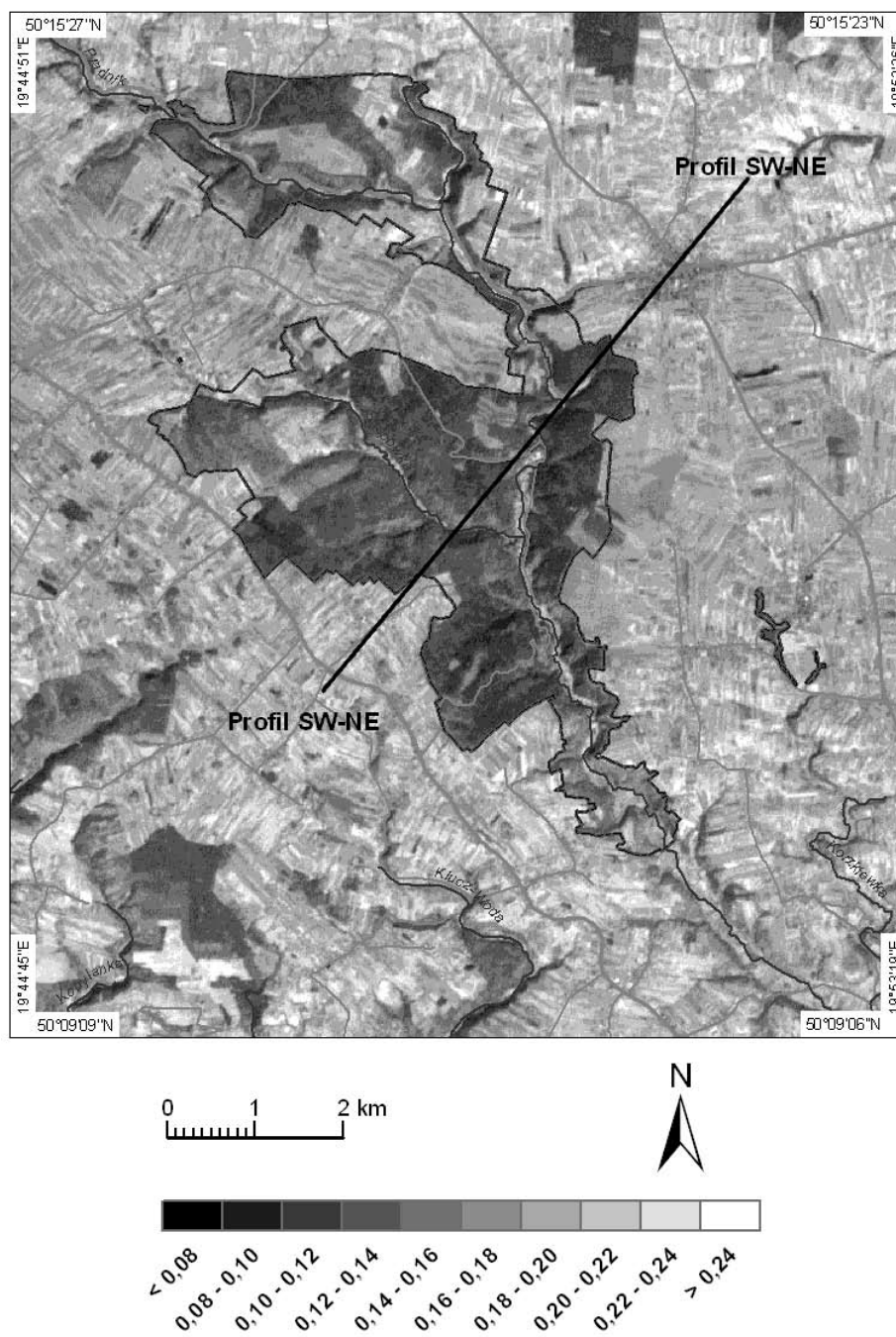
Pomiary stacjonarne promieniowania słonecznego wykonywały dwie automatyczne stacje meteorologiczne firmy Campbell wyposażone w pyranometry CM3 firmy Kipp&Zonen umieszczone w czujniku CNR1 przykryte kopułką szklaną przezroczystą dla promieniowania krótkofalowego (305–2 800 nm). Ze względu na pomiar promieniowania z kąta bryłowego 180° do wyznaczania α powierzchni wykorzystano wyniki pomiarów z godzin około południowych (9.00–13.00 UTC).

WYNIKI BADAŃ

Całkowite promieniowanie słoneczne padające na powierzchnię Ziemi (K_{\downarrow}) jest przez nią w znacznej części pochłaniane oraz ulega częściowemu odbiciu (K_{\uparrow}). Natężenie K_{\uparrow} uzależnione jest od strumienia K_{\downarrow} oraz od charakteru powierzchni odbijającej.

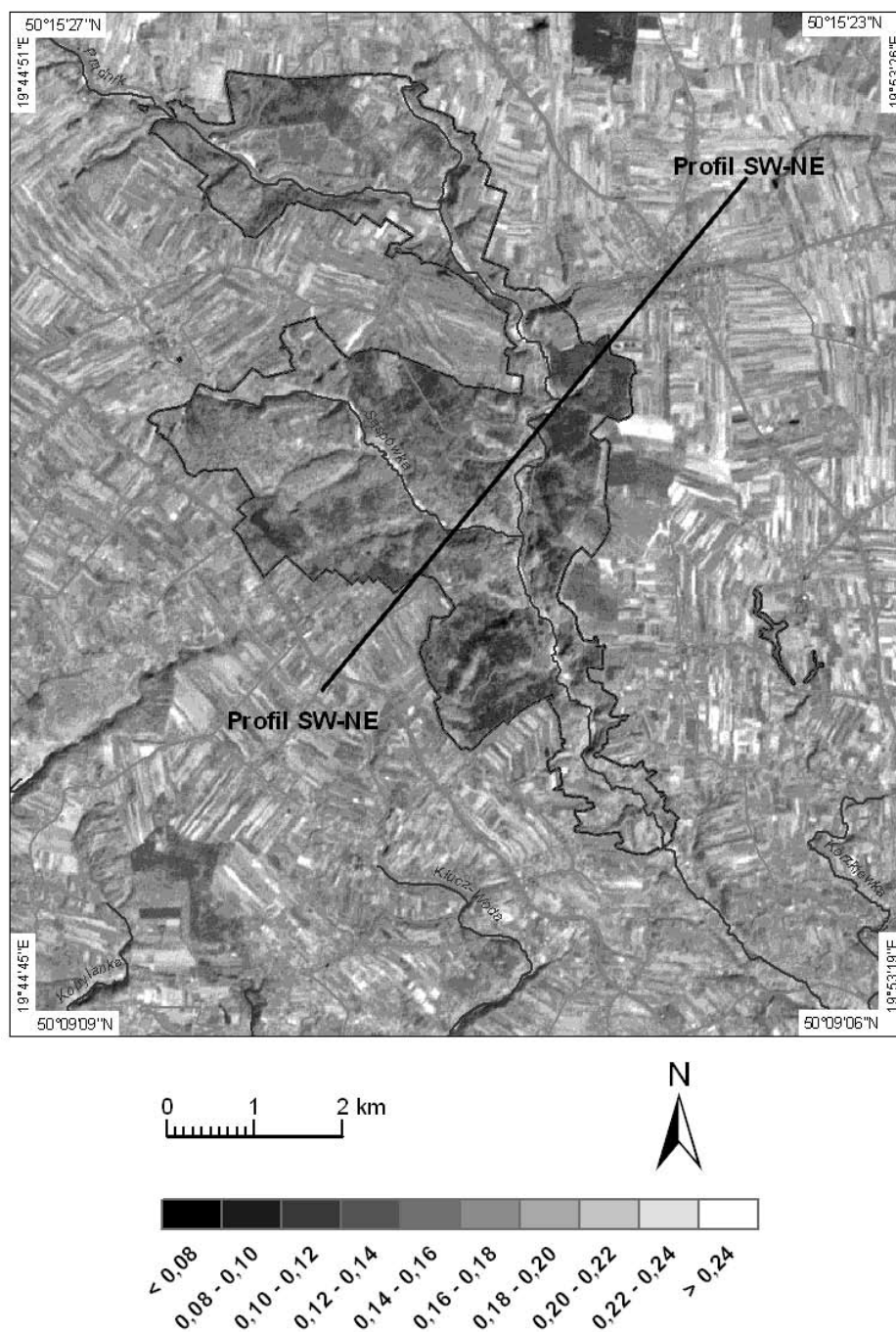
Wartość α zależy przede wszystkim od rodzaju powierzchni odbijającej, jej barwy i szorstkości, zawartości wilgoci, obecności pokrywy śnieżnej, obecności i stanu roślinności ale również może mieć na nią wpływ wysokość Słońca nad horyzontem, czyli kąt padania promieni słonecznych.

Otrzymane w wyniku analiz spektralnych obrazy zdolności odbijającej promieniowania słonecznego przez powierzchnię OPN przedstawiono na rycinach 1, 2, 3 i 4. Wiosną (ryc. 1), średnia obszarowa wartość α dla OPN kształtowała się na poziomie 0,18. Najniższe zarejestrowane wartości dotyczyły zbiorników wodnych, średnio 0,09. Było to związane z silnym pochłanianiem promieniowania słonecznego przez wodę przy stosunkowo dużym kącie padania promieni słonecznych, który podczas wykonywania zdjęcia przez

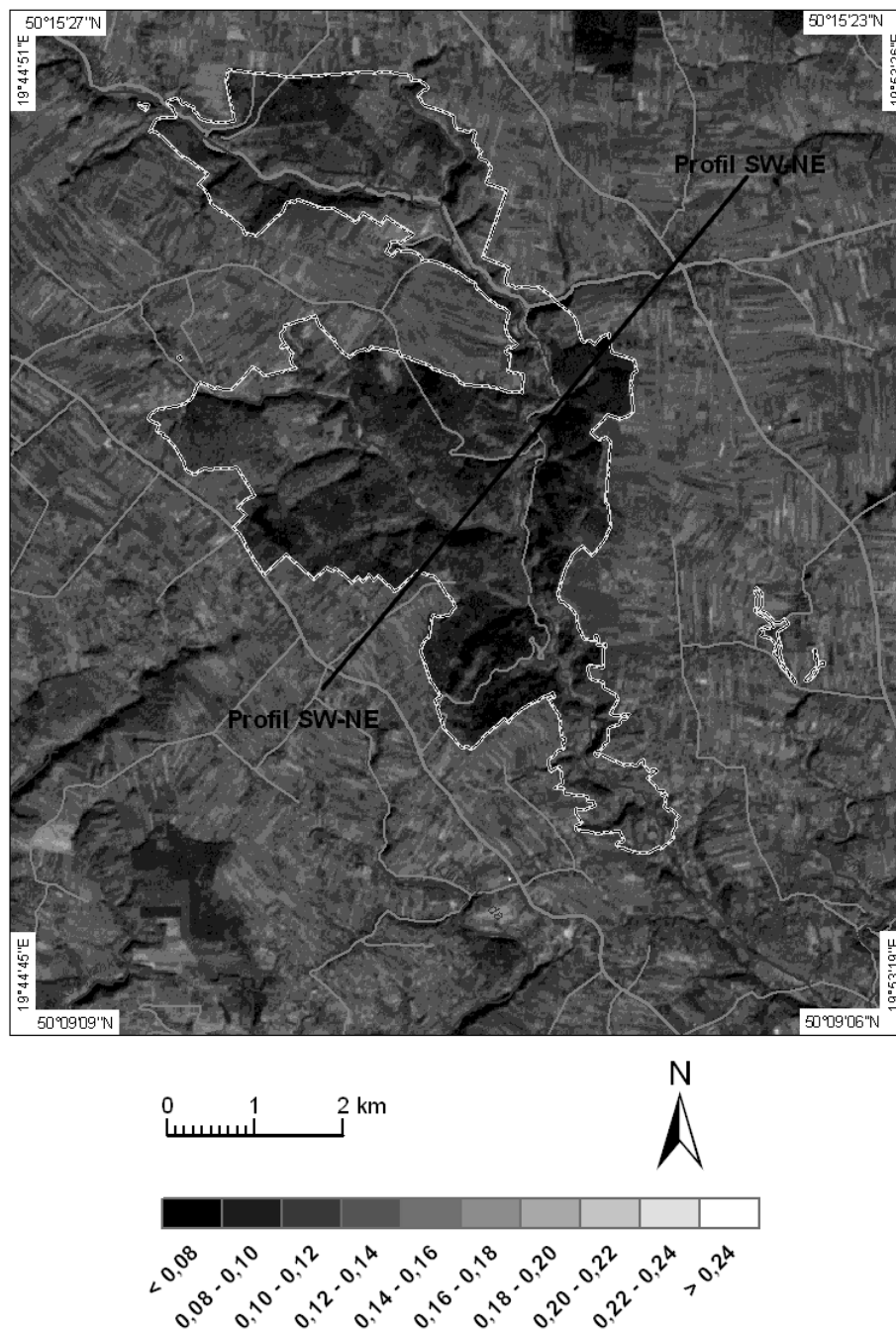


Ryc. 1. Albedo powierzchni Ojcowskiego Parku Narodowego wiosną w dniu 30.04.2003 r.

Fig. 1. Surface albedo in the Ojców National Park in spring, on 30.04.2003

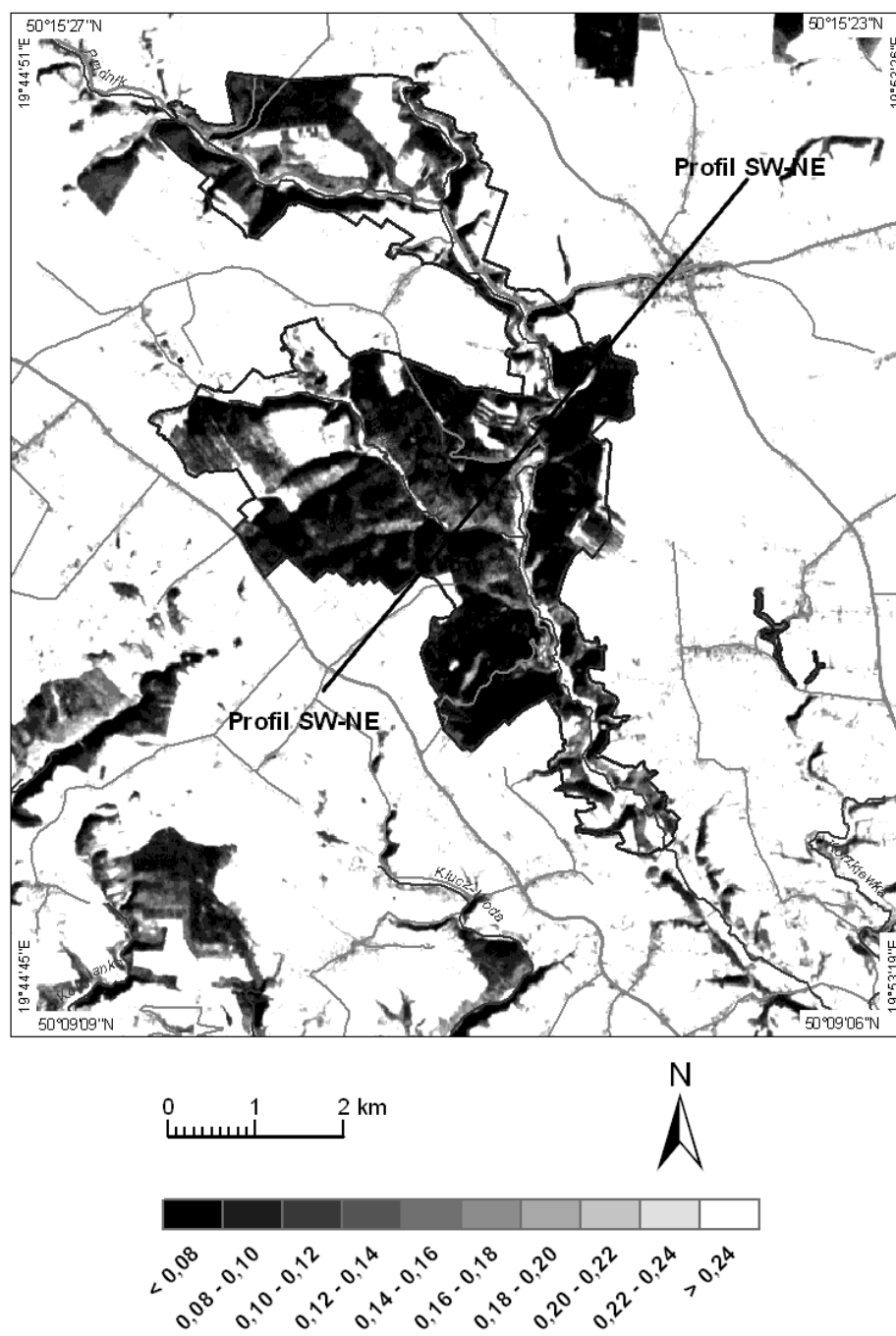


Ryc. 2. Albedo powierzchni Ojcowskiego Parku Narodowego latem w dniu 15.08.2007 r.
Fig. 2. Surface albedo in the Ojców National Park in summer, on 15.08.2007

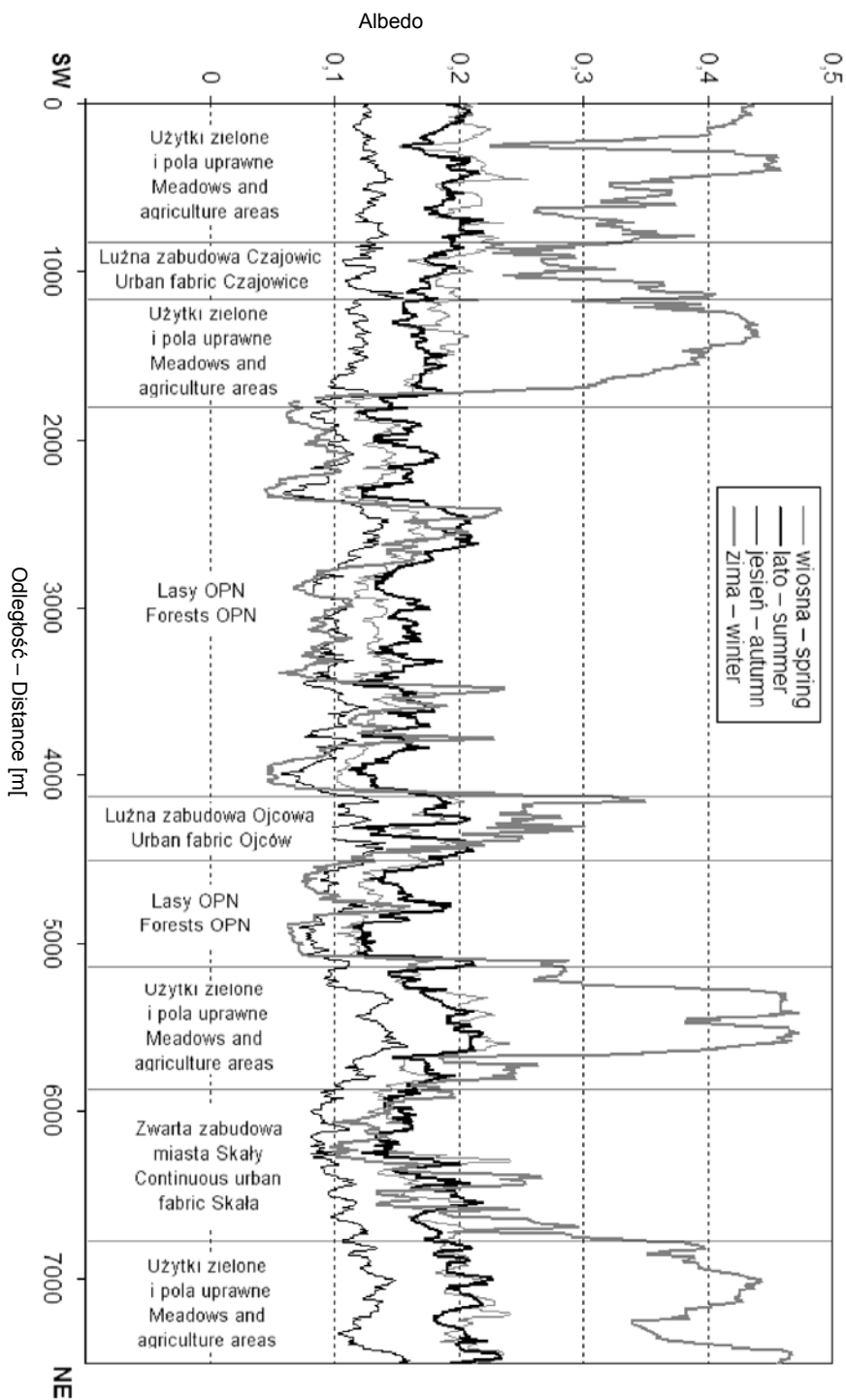


Ryc. 3. Albedo powierzchni Ojcowskiego Parku Narodowego jesienią w dniu 28.10.2005 r.

Fig. 3. Surface albedo in the Ojców National Park in autumn, on 28.10.2005



Ryc. 4. Albedo powierzchni Ojcowskiego Parku Narodowego zimą w dniu 02.03.2005 r.
 Fig. 4. Surface albedo in the Ojców National Park in winter, on 02.03.2005



Ryc. 5. Przebieg wartości albedo w profilu SW-NE w czterech sezonach
 Fig. 5. Course of the surface albedo in the SW-NE profile in four seasons

satelitę wynosił $51,18^\circ$. Stosunkowo niskim α charakteryzowała się zwarta zabudowa miasta Skały, średnio 0,12. W przypadku zbiorowisk leśnych, najniższe α posiadały lasy iglaste, średnio 0,11.

Badany wskaźnik dla lasów mieszanych wynosił średnio 0,15, a dla lasów liściastych, średnio 0,17. Stosunkowo wysokimi wartościami α charakteryzowały się użytki zielone (średnio 0,18) i pola uprawne (średnio 0,19). Najwyższe zarejestrowane wiosną na zdjęciu satelitarnym α posiadały skały wapienne, średnio 0,24.

W przypadku lata (ryc. 2), średnia obszarowa wartość α dla OPN kształtowała się podobnie jak dla wiosny na poziomie 0,18. Najniższe zarejestrowane wtedy wartości α dotyczyły zbiorników wodnych (średnio 0,11) i były niewiele większe niż wiosną. Kąt padania promieni słonecznych w tym letnim dniu, podczas wykonywania zdjęcia przez satelitę wynosił $50,06^\circ$. Stosunkowo niskim α charakteryzowała się zwarta zabudowa miasta Skały, średnio 0,13. W przypadku zbiorowisk leśnych α latem było większe niż wiosną. Najniższe α posiadały lasy iglaste, średnio 0,13. Badany element dla lasów mieszanych wynosił średnio 0,15, a lasów liściastych, średnio 0,17. Wyższymi niż wiosną wartościami α charakteryzowały się latem użytki zielone (średnio 0,20) i pola uprawne (średnio 0,21). Najwyższe zarejestrowane latem na zdjęciu satelitarnym α posiadały skały wapienne, średnio 0,23.

W okresie jesieni (ryc. 3), średnia obszarowa wartość α dla OPN była najniższa i kształtowała się na poziomie 0,12. Powodem tak niskiego α była zapewne zmiana barwy powierzchni związana z końcem okresu wegetacji roślin oraz stosunkowo mały kąt padania promieni słonecznych, który podczas wykonywania zdjęcia przez satelitę wynosił $38,05^\circ$. Najniższe zarejestrowane α dotyczyło zbiorników wodnych, średnio 0,08. Niskim α charakteryzowała się zwarta zabudowa miasta Skały, średnio 0,10. W przypadku zbiorowisk leśnych, najniższe α posiadały lasy iglaste i mieszane, średnio po 0,10, a najwyższe obserwowano dla lasów liściastych, średnio 0,12. Dużo niższym analizowanym wskaźnikiem niż wiosną i latem charakteryzowały się jesienią użytki zielone (średnio 0,13) i pola uprawne (średnio 0,14). Najwyższe α zarejestrowane jesienią na zdjęciu satelitarnym posiadały skały wapienne, średnio 0,18.

W okresie zimy (ryc. 4) średnia obszarowa wartość α dla OPN była najwyższa i kształtowała się na poziomie 0,31. Wysoka wartość badanego wskaźnika wynikała z dużego odbicia promieniowania słonecznego od pokrywy śnieżnej. W dniu reprezentującym okres zimy, praktycznie na całym badanym obszarze zalegała pokrywa śnieżna. Pod śniegiem znalazły się między innymi pola uprawne i użytki zielone. Średnia wartość α dla pokrywy śnieżnej wynosiła 0,40. Najwyższe wartości α wynoszące 0,63, posiadała pokrywa śnieżna zalegająca na polach uprawnych w okolicach Sąspowa. Obliczony wskaźnik dla zbiorników wodnych był wyjątkowo duży i wynosił średnio 0,32, a to za sprawą pokrywy lodowej. Pozbawione pokrywy śnieżnej w tym dniu były jedynie górne powierzchnie koron drzew, dachy zabudowań i jezdnie dróg. Najniższe zarejestrowane na zimowym zdjęciu satelitarnym α dotyczyło zbiorowisk leśnych, średnio 0,09. Podobnie jak w pozostałych porach roku, niskim α charakteryzowała się również zwarta zabudowa miasta Skały, średnio 0,13. Kąt padania promieni słonecznych w tym zimowym dniu, podczas wykonywania zdjęcia przez satelitę wynosił $29,37^\circ$.

Przykładowe średnie wartości α dla wybranych elementów powierzchni OPN w dniach reprezentatywnych dla podstawowych pór roku przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Średnie wartości albedo niektórych elementów powierzchni OPN na podstawie zdjęć satelitarnych Landsat 7

Table 1. Mean values of albedos of different surfaces in the ONP based on satellite images Landsat 7

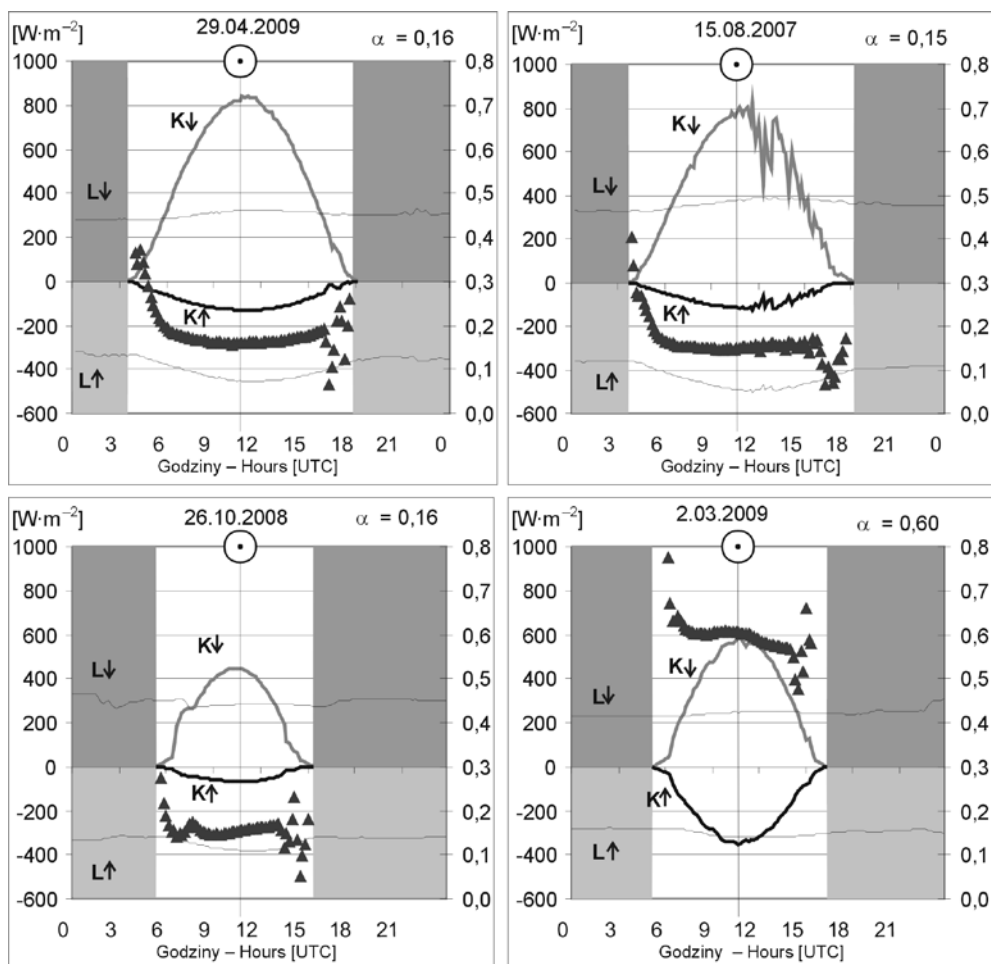
Powierzchnia Surface	Lokalizacja Location	Wiosna	Lato	Jesień	Zima
Las liściasty Broadleaved forest	drzewostan bukowy w Wąwozie Jamki	0,13	0,17	0,12	0,08
	drzewostan bukowy w Wąwozie Babie Doły	0,15	0,18	0,13	0,10
	drzewostan bukowy na Złotej Górze	0,13	0,16	0,11	0,09
Las iglasty Coniferous forest	drzewostan sosnowy w Czajowicach	0,11	0,12	0,09	0,08
	drzewostan świerkowo-jodłowy w Wąwozie Skałbania	0,12	0,13	0,10	0,10
	drzewostan sosnowy w Wąwozie Słupianka	0,12	0,13	0,10	0,08
Las mieszany Mixed forest	drzewostan bukowo-świerkowy w Dolinie Zachwytu	0,12	0,16	0,10	0,11
	drzewostan grabowo-sosnowy k. Lepianki Sąpowskiej	0,15	0,15	0,11	0,10
	drzewostan jodłowo-bukowy w Wąwozie Wilczy Dół	0,13	0,15	0,09	0,08
Użytki zielone Grassland	łąki w okolicy Peperówki	0,18	0,21	0,14	0,42
	łąki w okolicy Kalisek	0,19	0,20	0,13	0,44
	Park Zamkowy w Ojcowie	0,18	0,19	0,11	0,25
Pola uprawne Cultivated fields	okolice Cianowic Dużych	0,19	0,20	0,14	0,41
	okolice Sułoszowej	0,20	0,21	0,14	0,41
	okolice Jerzmanowic	0,19	0,21	0,15	0,45
Zwarta zabudowa Compact settlement	zabudowa wokół rynku w Skale	0,12	0,13	0,10	0,13
Dach pokryty dachówką Tiled roof	dach zamku w Pieskowej Skale	0,10	0,11	0,9	0,11
Dach pokryty blachą Tin roof	dach muzeum OPN im. W. Szafera w Ojcowie	0,14	0,13	0,13	0,16
Bruk kamienny Cobble-stone pavement	jezdnia drogi przy Bramie Krakowskiej	0,17	0,18	0,16	0,21
	jezdnia serpentyny na drodze Ojców – Murownia	0,17	0,17	0,15	0,25
Asfalt Asphalt pavement	jezdnia drogi nr 94 Kraków – Olkusz	0,12	0,13	0,11	0,21
	jezdnia drogi nr 794 Kraków – Skała	0,14	0,14	0,13	0,36
Skały wapienne Limestone rocks	Łysa Skała w Jerzmanowicach	0,25	0,24	0,16	0,17
	Skała Grodzisko w Jerzmanowicach	0,22	0,23	0,16	0,22
	Bystra w Ojcowie	0,24	0,23	0,21	0,21
Zbiorniki wodne Water bodies	stawy rybne w Pieskowej Skale	0,10	0,12	0,08	0,07
	stawy rybne w Ojcowie	0,07	0,10	0,07	0,10
	staw w Cianowicach Dużych	0,09	0,08	0,06	0,25
	staw w Smardzowicach	0,10	0,11	0,08	0,35
	staw w Czajowicach przy drodze	0,10	0,12	0,08	0,32
	staw w Czajowicach koło szkoły	0,11	0,13	0,09	0,35

Omówione powyżej różnice w rozkładzie przestrzennym α zilustrowano wyraźnie na profilu map analizowanego wskaźnika (ryc. 5). Profil SW–NE poprowadzono w taki sposób, aby przechodził przez różne typy użytkowania i pokrycia terenu oraz przecinał charakterystyczne miejsca obszaru badań. Przebiega on od południo-zachodu w kierunku północo-wschodu. Wykonany profil potwierdził bardzo wyraźne zmiany wartości α związane z różnym sposobem użytkowania i pokryciem terenu. Natomiast największe zmiany α wyróżniały się na profilu dla dnia reprezentującego zimą, najmniejsze zaś na profilu dla jesieni.

ZMIENNOŚĆ ALBEDA W PRZEBIEGU ROCZNYM

Intensywność odbicia promieni od powierzchni zależała nie tylko od jej fizycznych właściwości, jak to wcześniej zostało przedstawione, ale także od właściwości samego promieniowania dochodzącego do tej powierzchni, tj. natężenia i udziału promieniowania bezpośredniego (S) i rozproszonego (D) w $K\downarrow$. Ryciny 6 i 7 nawiązały do wybranych dni, dla których wykreślono mapy zróżnicowania przestrzennego α . W czasie dni pogodnych strumień $K\uparrow$ przyjmował duże wartości a w czasie dni pochmurnych – niewielkie. Przebieg dobowy jego natężenia był zgodny z wahaniami wartości strumienia $K\downarrow$ (ryc. 6). Najwyższe wartości przyjmował zimą i wiosną gdy zalegała pokrywa śnieżna, natomiast w pozostałej części roku jego zmienność była mała – dla murawy na wierzchołwie około 0,16. Inaczej przedstawiała się sytuacja na dnie wilgotnego kanionu krasowego porośniętego murawą (ryc. 7). Wartość α zmieniała się od 0,20 do 0,23 w ciągu ciepłej pory roku, natomiast w czasie zalegania świeżego śniegu nawet 90% i malała wraz z topniejącym i brudzącym się śniegiem i lodem. Rodzaj podłoża, jego kształt i struktura, barwa oraz uwilgocenie miały duże znaczenie w kształtowaniu się stosunków radiacyjnych. Wartość α zależała nie tylko od stanu danej powierzchni, lecz także od sytuacji meteorologicznej, a przede wszystkim od stopnia zachmurzenia nieba. Chmury wpływały na zmniejszenie strumienia $K\downarrow$ dopływającego do powierzchni i kształtowały udział promieniowania rozproszonego w $K\downarrow$, dlatego im większy udział tego promieniowania tym α powierzchni było mniejsze. Albedo murawy przy całkowitym zachmurzeniu chmurami warstwowymi piętra niskiego (*Stratus*, *Stratocumulus*, *Nimbostratus*) było niższe od α trawy przy niebie bezchmurnym o około 2%. Natomiast chmury kłębiaste piętra niskiego i średniego (*Cumulus*, *Alto cumulus*) wpływały na podwyższenie wartości α murawy bardziej niż przy niebie bezchmurnym (Caputa 2002). Współczynnik α w sposób pośredni informował również o ilości energii pochłoniętej przez daną powierzchnię. Dla powierzchni płaskiej obserwowano silny wzrost α dla wysokości Słońca mniejszej niż 30°, jednak w godzinach wieczornych malała wartość α .

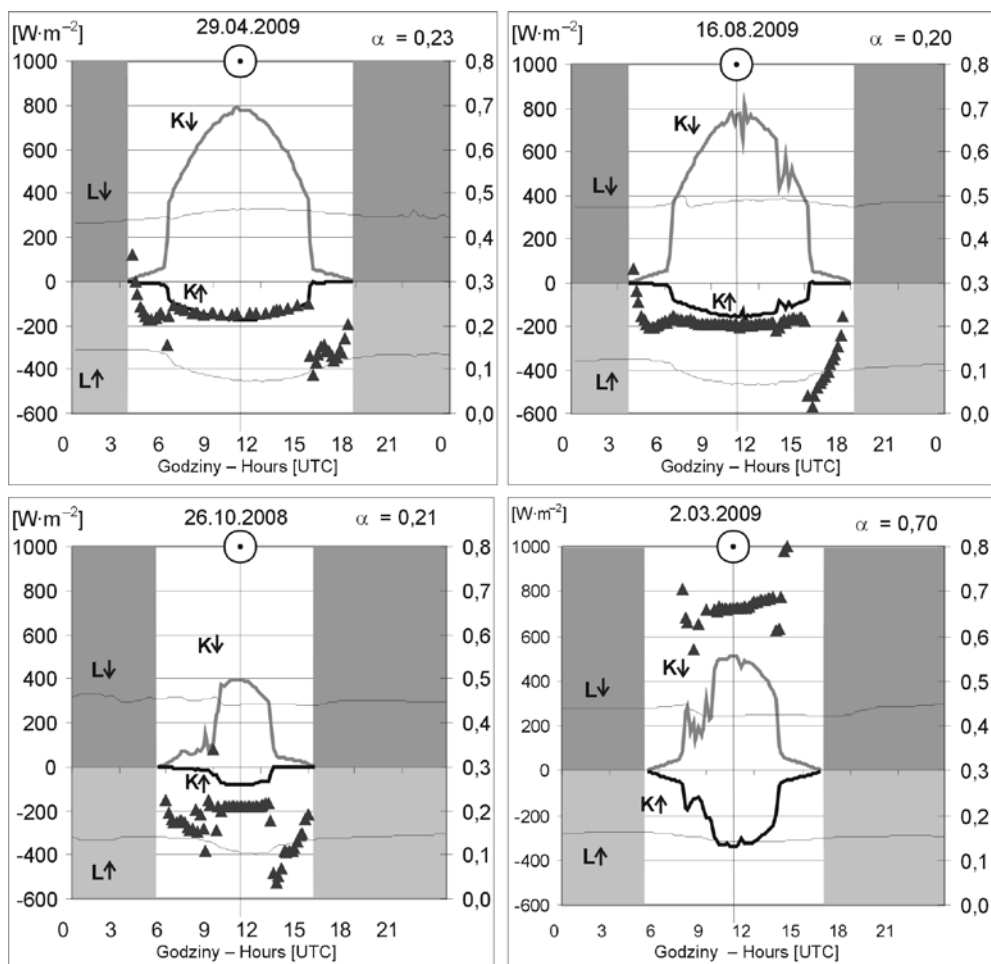
Osobnego omówienia wymagała rola pokrywy śnieżnej w strukturze bilansu promieniowania. Albedo pokrywy śnieżnej było uzależnione od stopnia jej zanieczyszczenia. W ten sposób modyfikowany strumień $K\uparrow$ był mniejszy na terenach zabudowanych niż poza miastem średnio o 10%. Szczególnie duże różnice występowały w zimie, przy bezchmurnym niebie, kiedy powierzchnia zurbanizowana odbija prawie o połowę mniej promieniowania niż tereny pozamiejskie (Caputa 2002). Pokrywa śnieżna miała dużą zdolność odbijania padającego na nią promieniowania słonecznego i zwiększała tym samym promieniowanie rozproszone w atmosferze; wpływała zatem na wartość α powierzchni



Ryc. 6. Przebieg dobowy składników bilansu promieniowania ($K\downarrow$, $K\uparrow$, $L\downarrow$, $L\uparrow$) oraz α (trójkąty) na stacji Lepianka Czajowska dla wybranych, pogodnych dni roku. Przebieg dzienny przedstawiono na jasnym tle, natomiast przebieg nocny na ciemnym tle. Przerwaną linią i punktem w kole zaznaczono moment górowania Słońca. W górnym prawym rogu wpisano wartość albedo (α) obliczonego jako średnia wartość $K\uparrow/K\downarrow$ z przedziału 9.00–13.00 UTC

Fig. 6. Daily course of radiation balance components ($K\downarrow$, $K\uparrow$, $L\downarrow$, $L\uparrow$) and α (triangles) at the station Lepianka Czajowska for selected, clear days of the year. The diurnal course is presented on the bright background, and the nocturnal course on the dark background. The moment of the upper culmination of the Sun is marked with a broken line and a dot in a circle. In the upper right corner is the value of albedo (α) calculated as the mean value of $K\uparrow/K\downarrow$ at 9.00–13.00 UTC

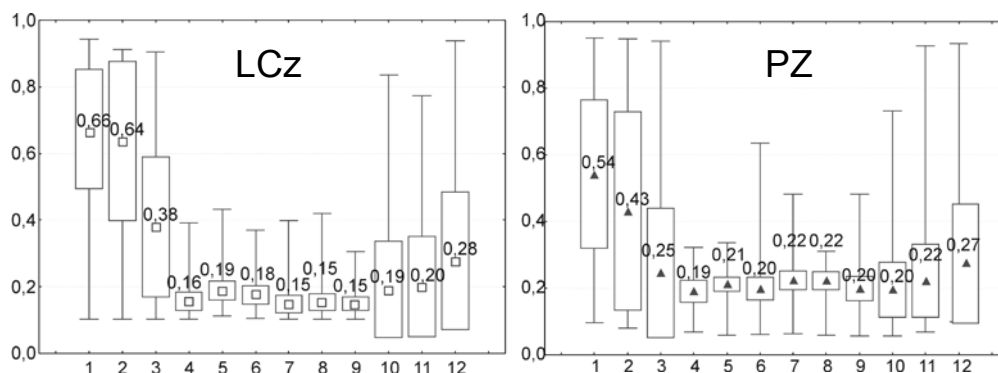
sąsiednich nie pokrytych śniegiem. Śnieg zmieniał współczynnik odbicia promieniowania słonecznego w bardzo szerokim zakresie. Im podłoże charakteryzowało się szerszym zakresem wartości α tym wpływ czynników meteorologicznych na ich wartości był słabszy.



Ryc. 7. Przebieg dobowy składników bilansu promieniowania ($K\downarrow$, $K\uparrow$, $L\downarrow$, $L\uparrow$) oraz α (trójkąty) na stacji Park Zamkowy w Dolinie Prądnika dla wybranych, pogodnych dni roku

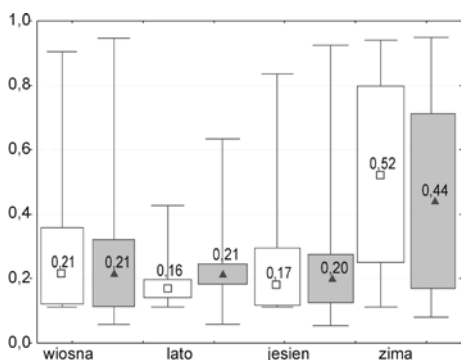
Fig. 7. Daily course of radiation balance components ($K\downarrow$, $K\uparrow$, $L\downarrow$, $L\uparrow$) and α (triangles) at the Park Zamkowy station in the Prądnik Valley for selected, clear days of the year

Obserwowano dużą zmienność α w ciągu roku (ryc. 8). Najwyższe średnie wartości α notowano w styczniu (0,66) najniższe w miesiącach VII–IX wynoszące 0,15 na stacji LCz. Niższe wartości α rejestrowano na dnię wąwozu krasowego zimą. Najwyższe średnie miesięczne α stycznia wynosiło tylko 0,54 a najniższe α występowało w kwietniu (0,19) i nieznacznie wyższe w miesiącach VI, IX i X (0,20) na stacji PZ. Ze względu na obserwowaną zmienność α zestawiono średnie wartości α dla sezonów (ryc. 9). Najwyższymi wartościami α wyróżniał się sezon zimowy na stacji LCz (0,52) i PZ (0,44). Natomiast w okresie lata i jesieni na obu stacjach występowało niskie α .



Ryc. 8. Średnie, minimalne i maksymalne miesięczne wartości α na stacji Lepianka Czajowska (LCz) i Park Zamkowy (PZ) w okresie 2008–2009. Ramką zaznaczono odchylenie standardowe od średniej

Fig. 8. Mean, minimum and maximum monthly values of α at the stations LCz (at left) and PZ (at right) in the period of 2008–2009. The standard deviation from the mean is marked with a frame



Ryc. 9. Średnie wartości, odchylenie standardowe oraz ekstremalne wartości α murawy na stacji Lepianka Czajowska (kwadrat) i Park Zamkowy (trójkąt) w podziale na sezony w 2008–2009 r.

Fig. 9. Mean values, standard deviations and extremes values of the grass α at the stations Lepianka Czajowska (square) and Park Zamkowy (triangle) divided into seasons in 2008–2009

DYSKUSJA

Całkowite promieniowanie słoneczne padające na powierzchnię czynną OPN było przez nią w znacznej części pochłaniane oraz ulegało częściowemu odbiciu. Natężenie promieniowania odbitego uzależnione było od całkowitego promieniowania słonecznego oraz od charakteru powierzchni odbijającej jak to zostało wcześniej przedstawione. Wartość α zależała przede wszystkim od rodzaju powierzchni odbijającej, jej barwy i szorstkości, ale również może mieć na nią wpływ wysokość Słońca nad horyzontem, czyli kąt padania promieni słonecznych jak również zasłonięcie horyzontu przez zbocza dolin i wąwozów. W tabeli 2 przedstawiono wyznaczone przez T. Kozłowską-Szczęsną (1973) średnie miesięczne wartości α dla obszaru OPN i zestawiono je z pomiarami i obliczeniami autorów. Średnie miesięczne wartości α całej powierzchni OPN wahały się w bardzo szerokich granicach (0,17–0,45) w przebiegu rocznym. Jeszcze większe wartości zmierzono na stacji LCz w styczniu (0,66), i mniejsze w lutym (0,64) gdy występowała pokrywa śnieżna. Również wyższe wartości notowano na stacji PZ w miesiącach styczni (0,54) luty (0,43) niż obliczone przez T. Kozłowską-Szczęsną. Dla pozostałych miesięcy wartości α zależały od dopływu $K\downarrow$ i stanu murawy. Na wierzchołku powierzchnia była lepiej przewietrzana niż wilgotne dno Doliny Prądnika dlatego notowano niższe α na stacji

LCz nawet 0,15 w miesiącach VII–IX, gdy w tym samym czasie wartości α kształtowały się w zakresie od 0,20 do 0,22 na stacji PZ. Spowodowane było to głównie zmianami wilgotności podłoża, fazami rozwoju roślin i różnicą w gatunkach występujących na murawach wierzchowy i w dnach dolin i wąwozów krasowych. Średnia roczna wartość α wyniosła 0,21 na stacji LCz i 0,25 na stacji PZ i były to wielkości większe odpowiednio o 0,1 i 0,4 od obliczonych wg modelu zaproponowanego przez autorów.

Tabela 2. Średnie miesięczne wartości α obszaru OPN wg T. Kozłowskiej-Szczęsnej (1973), zmierzone na stacjach Lepianka Czajowska i Park Zamkowy oraz średnia dla poszczególnych sezonów wg modelu zaproponowanego przez autorów

Table 2. Mean monthly values of α in the ONP according to T. Kozłowska-Szczęsna (1973), measured at the stations Lepianka Czajowska and Park Zamkowy, and the mean for particular seasons of the model proposed by the authors

Miesiące Months	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok Year
wg – after Kozłowska- Szczęsna	0,45	0,38	0,29	0,17	0,19	0,20	0,21	0,19	0,18	0,17	0,20	0,27	0,24
Lepianka Czajowska	0,66	0,64	0,38	0,16	0,19	0,18	0,15	0,15	0,15	0,19	0,20	0,28	0,21
Park Zamkowy	0,54	0,43	0,25	0,19	0,21	0,20	0,22	0,22	0,20	0,20	0,22	0,27	0,25
wg modelowania after modeling	0,31			0,18			0,18			0,12			0,20

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Czynniki kształtujące bilans energetyczny obszaru OPN, o dużej złożoności, niezwykle trudne w modelowaniu, wpływały i kształtowały środowisko OPN. Modelowanie elementów radiacyjnych pozwoliło poznać przestrzenne i czasowe zróżnicowanie albedo tego środowiska. Naturalna sukcesja roślinna oraz silna antropopresja środowiska, przejawiała się głównie przekształceniami powierzchni czynnej, wyzwała szereg reakcji klimatycznych, które modyfikowały bilans energetyczny i decydowały o zmianach mikroklimatycznych, a w dalszej kolejności oddziaływały na topoklimat OPN. Z tych powodów bardzo istotne w badaniach klimatycznych było poznanie stosunków radiacyjnych OPN.

Analiza wysokorozdzielczego zdjęcia satelitarnego wykazała znaczne zróżnicowanie zdolności odbijania promieniowania słonecznego powierzchni OPN i jego otoczenia. Przestrzenna zmienność wartości albedo wynikała bezpośrednio ze zróżnicowania struktury użytkowania i pokrycia OPN. Stwierdzono, że wiosną i latem obszar OPN odbijał średnio 18% całkowitego promieniowania słonecznego, jesienią tylko 12%, a zimą 31%.

Na podstawie pomiarów zestawem pyranometrów CM3 stwierdzono wyższe wartości α niż obliczone wg modelu autorów. Na stacji LCz notowano średnie roczne α o wartości 0,21 na powierzchni suchej murawy koszonej kilka razy w roku. Wyższe α zmierzono na stacji PZ wynoszące 0,25 na wilgotnej murawie dna Doliny Prądnika.

Uwagi na temat zróżnicowania przestrzennego albedo oraz mapy jego zróżnicowania na obszarze OPN oparte były tylko na czterech obrazach satelitarnych (reprezentują wybrane dni w podstawowych porach roku) i dlatego nie można wyciągać z nich uogólniających wniosków.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007–2010 jako projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Nr N306 044 32/3178.

PIŚMIENNICTWO

Caputa Z. 2002. *Struktura bilansu promieniowania na wybranych powierzchniach czynnych Wyżyny Śląsko-Krakowskiej*. Maszynopis, Katedra Klimatologii, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, ss. 190.

Caputa Z., Leśniok M. 2002. *Radiation balance in the area of Ojców National Park*, [w:] V.N. Andrejchuk, V.P. Korzhyk (red.), *Regional aspects of land use*. Kharkivski Politekhniczny Uniwersytet, Uniwersytet Śląski. Chernivtsy-Sosnowiec, s. 24–34.

Irish R.R. 2000. *Landsat 7 science data user's handbook*, Report 430-15-01-003-0, National Aeronautics and Space Administration.

Kozłowska-Szczęsna T. 1973. *Promieniowanie pochłonięte na obszarze Polski*. „Prace Geograficzne”, **99**. Warszawa, ss. 118.

Lambert J.H. *Photometria sive de mensura et gradibus luminus, colorum et umbrae* (1760). Published in German by E. Anding under the title Lambert's Photometrie, Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig 1892.

Miara K., Paszyński J. 1984. *Roczny przebieg albedo powierzchni trawiastej w Polsce*. „Przegląd Geograficzny”, **29**, 3–4: 125–144.

Paszyński J., Miara K., Skoczek J. 1999. *Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego*. „Dokumentacja Geograficzna”, **14**. Warszawa, ss. 127.

Wojkowski J. 2006a. *Modelowanie dopływu promieniowania słonecznego przy użyciu GIS na przykładzie obszaru Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska”, Sectio B, **61**: 468–477.

Wojkowski J. 2007b. *Modelowanie składników bilansu promieniowania przy wykorzystaniu GIS oraz zobrażeń teledetekcyjnych*. „Pamiętnik Puławski”, **144**: 155–167.

Wojkowski J. 2007. *Zastosowanie wysokorozdzielczych zobrażeń satelitarnych Terra ASTER w badaniach termiki powierzchni Ziemi*. „Acta Agrophysica”, **9**, 3: 791–807.

SUMMARY

The calculation of albedo α values was made using radiation registered by the ETM+ scanner on panchromatic channel with a spatial resolution of $15 \text{ m} \cdot \text{pixel}^{-1}$ and covering the part of visual range and infrared within the wavelength range from 0.52 to $0.90 \mu\text{m}$.

In spring (Fig. 1), the mean area's value of α for the ONP was at the level of 0.18. In the case of summer (Fig. 2), the mean area's value of α for the ONP was similar to that of spring and was at the level of 0.18. The compact settlement of the town of Skała was marked by a relatively low α , i.e. 0.13 on average. In the case of forest communities, the value of α in summer was higher than in spring. The lowest registered values concerned water bodies and were 0.09 on average.

The typical mean values of α for selected different surfaces in the ONP on days representative of the four seasons are shown in Table 1.