

Prądnik. Prace Muz. Szafera	19	89–108	2009
-----------------------------	----	--------	------

JAKUB WOJKOWSKI

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

ZRÓŻNICOWANIE PRZESTRZENNE POKRYWY ŚNIEŻNEJ NA OBSZARZE OJCOWSKIEGO PARKU NARODOWEGO

Spatial differentiation of the snow cover in the Ojców National Park

ABSTRACT. The article is the analysis of spatial differentiation and determinants of snow cover lying in the Ojców National Park (ONP) based on spatial modelling using GIS methods and snow cover disappearance mapping within the winter seasons of 2004/2005 and 2008/2009. Uniform measurement material from the Park Zamkowy meteorological station collected in the years 1990–2009 was also used. The investigations showed that the snow cover in the ONP is influenced by altitude, temperature variations as an effect of orographic deformation, and local terrain morphology that determines the degree of shading and insolation conditions. It was found that snow lies longest at the floors of valleys, ravines and canyons, especially in the Sąpowska Valley, which is a consequence of the lower, compared to the surrounding areas, air temperature and a high degree of shading.

KEY WORDS: snow, snow cover, nival conditions, topoclimate, GIS, ONP

WSTĘP

Pokrywa śnieżna stanowi specyficzny element przyrody, w którym nieprzerwanie zachodzą zmiany i przeobrażenia. Do czynników kształtujących pokrywę śnieżną należy przede wszystkim temperatura i wilgotność powietrza, promieniowanie w zakresie krótko- i długofalowym, rodzaj i wysokość opadów, wiatr oraz cyrkulacja atmosferyczna. W zależności od tych czynników oraz czasu trwania przerwy pomiędzy kolejnymi opadami śniegu, warstwy śniegu ulegają ciągłej przemianie. Przemiany te podlegają dodatkowo wpływom rzeźby terenu, spadkom i ekspozycjom, a także są zależne od rodzaju pokrycia i użytkowania terenu. Wszystko to sprawia, że pokrywa śnieżna może wykazywać nie tylko duże zróżnicowanie czasowe ale również przestrzenne.

Badania warunków niwalnych w Ojcowskim Parku Narodowym (OPN) zapoczątkował J. Klein, który prowadził je w latach 1964–1967. Dotyczyły one obserwacji grubości pokrywy śnieżnej oraz długości jej zalegania (Klein 1974). Za wyjątkiem badań J. Kleina, większość późniejszych prac (Jaros 2003; Nalepa 2007; Brzeźniak, Partyka 2008) ograniczała się wyłącznie do analizy wyników obserwacji pokrywy śnieżnej w jednym punkcie pomiarowym na stacji „Park Zamkowy” (PZ) w Ojcowie.

Brak szerszego opracowania dotyczącego przestrzennego zróżnicowania warunków niwalnych dla całego obszaru OPN skłonił autora do podjęcia badań w tym temacie. Z uwagi na to, że w obrębie OPN pokrywa śnieżna wykazuje bardzo duże zróżnicowanie przestrzenne, za cel niniejszych badań postawiono analizę długości zalegania pokrywy śnieżnej oraz obserwację jej zanikania na całym obszarze OPN.

METODA BADAŃ

Dla ilościowego określenia zróżnicowania przestrzennego pokrywy śnieżnej przeprowadzono modelowanie metodami GIS w wyniku czego sporządzono mapę rozkładu przestrzennego długości czasu zalegania pokrywy śnieżnej na obszarze OPN. Wykonano również analityczne cieniowanie reliefu obszaru badań, polegające na wyróżnieniu obszarów, które zostały zacienione lub rozjaśnione oświetleniem symulującym promieniowanie słoneczne, w wyniku czego sporządzono mapę miejsc pierwszego zanikania pokrywy śnieżnej i ostatniej jej obecności.

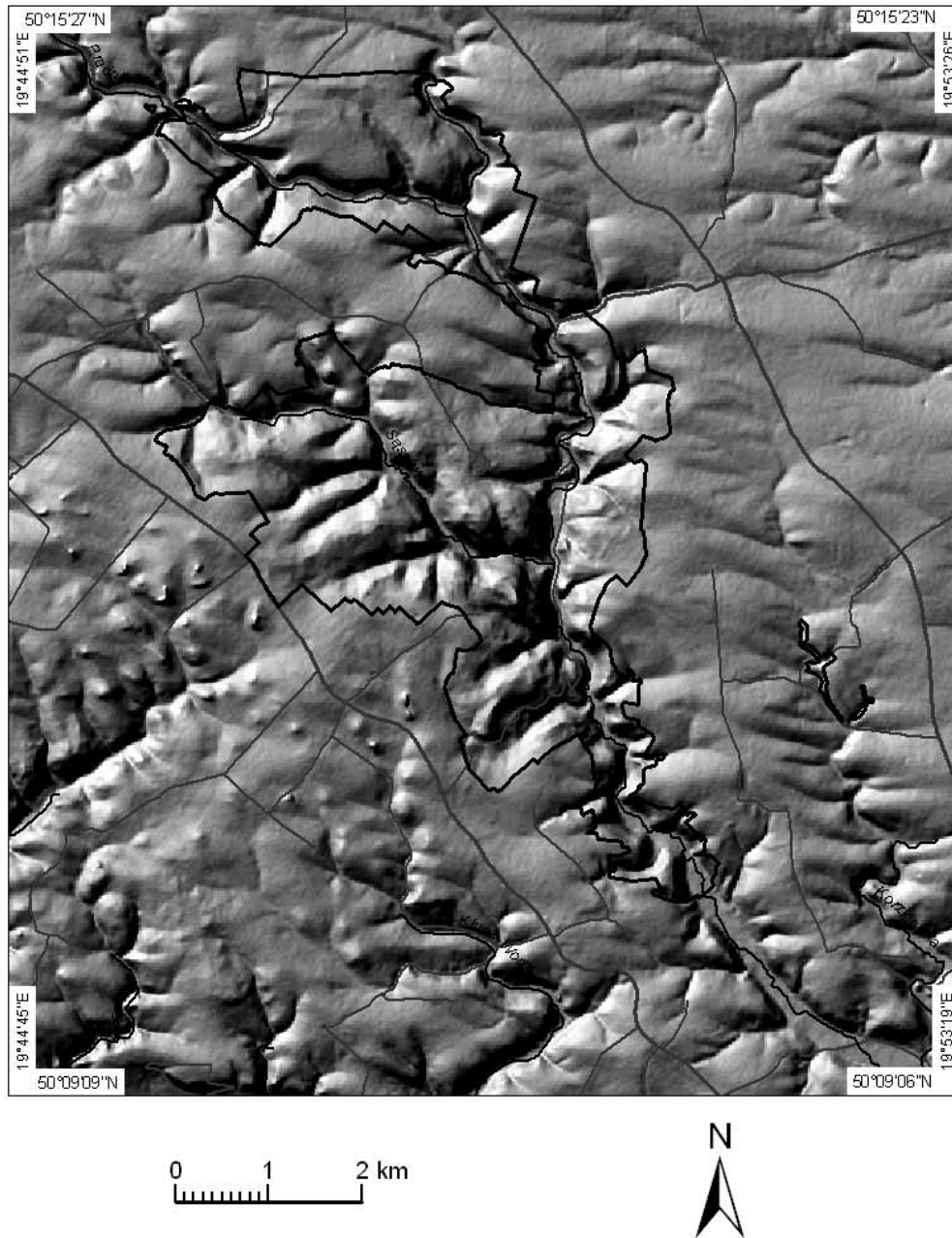
W celu zbadania różnic zanikania pokrywy śnieżnej na obszarze OPN wykonano jej kartowanie w 2005 roku w dniach 16–17 marca, 20–21 marca, 27–28 marca i 30–31 marca oraz w 2009 roku w dniach 9 marca i 18 marca. W kartowaniu pokrywy śnieżnej wzięły udział następujące osoby: K. Krawczyk i P. Pruszyński w 2005 roku, oraz: Z. Caputa, P. Gadacz, Ł. Krzysteczko, M. Opała, J. Wojkowski i M. Wróbel w 2009 r. W analizach wykorzystano również wyniki obserwacji pokrywy śnieżnej wykonanych w Ojcowie na stacji meteorologicznej PZ w okresie 1990–2009.

Badaniami objęto obszar OPN wraz z otuliną 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.

WYNIKI BADAŃ

Pokrywa śnieżna, podobnie jak opad atmosferyczny, jest tym elementem klimatu, który cechuje się dużym zróżnicowaniem przestrzennym. Jak już wcześniej wspomniano, do głównych czynników kształtujących grubość oraz czas zalegania pokrywy śnieżnej należy temperatura i wilgotność powietrza, promieniowanie, rodzaj i wysokość opadów, wiatr oraz cyrkulacja atmosferyczna. Bardzo duży wpływ na kształtowanie pokrywy śnieżnej ma również rzeźba terenu, szczególnie na obszarach silnie urzeźbionych, a do takich należy OPN.

Silne urzeźbienie, znaczne deniwelacje i różnorodność form terenu widać wyraźnie na rycinie 1. W rzeźbie OPN wyróżnić można dwa zasadnicze rodzaje form: wierzchowiny i doliny. Wysokość wierzchowin w okolicach Ojcowia dochodzi do 500 m n.p.m. (lokalnie ponad 500 m). Formy wklęsłe reprezentowane są przez bardzo głęboko wcięte w kształcie kanionu doliny, wąwozy i jary. Deniwelacje terenu dochodzą tu miejscami do 150 m. Specyficzna morfologia tego obszaru powoduje, że na stosunkowo małej przestrzeni występuje bardzo wyraźne zróżnicowanie elementów klimatu, które mają bezpośredni wpływ na kształtowanie się grubości oraz czas zalegania pokrywy śnieżnej.



Ryc. 1. Rzeźba terenu Ojcowskiego Parku Narodowego
Fig. 1. Relief of the Ojców National Park

Przestrzenne zróżnicowanie pokrywy śnieżnej

O zróżnicowaniu przestrzennym pokrywy śnieżnej na obszarze OPN pisał w swoich pracach J. Klein (1967, 1974, 1977). Jak wynika z przeprowadzonych w latach 1964–1967 badań, liczba dni z trwałą pokrywą śnieżną była bardziej zróżnicowana niż z potencjalną. Podczas gdy w Dolinie Sąspowskiej utrzymywała się ona średnio przez 107 dni, to na wierzchołach okres ten był o 51 dni krótszy. W szerszej i otwartej ku południowi Dolinie Prądnika okres ten był skrócony w porównaniu do Doliny Sąspowskiej.

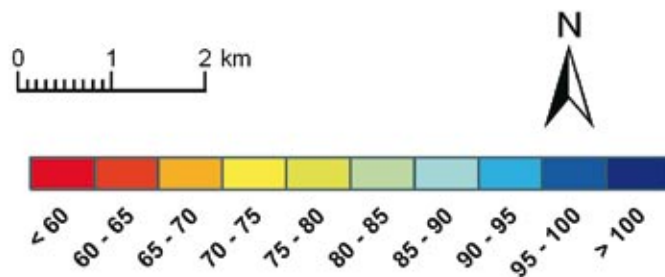
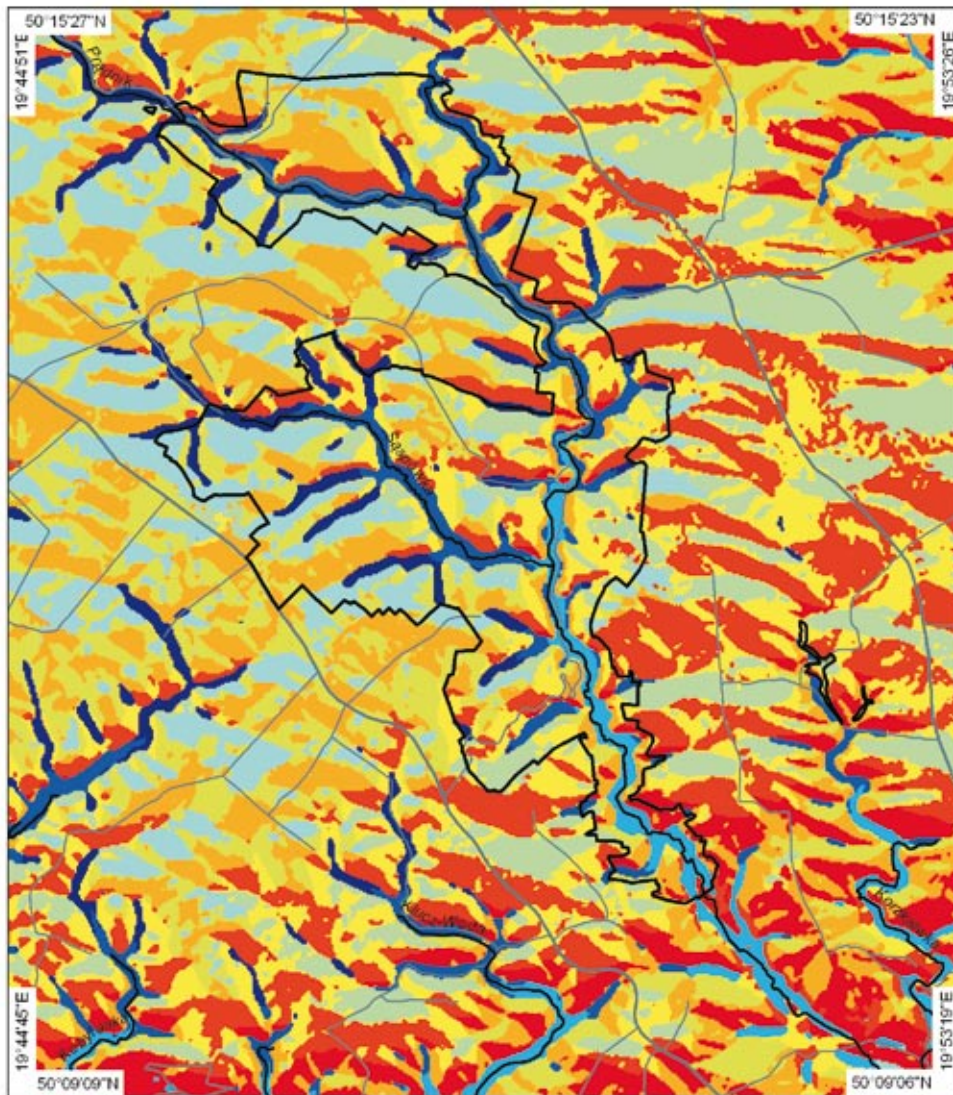
Na temat zróżnicowania przestrzennego pokrywy śnieżnej na analizowanym obszarze można znaleźć informacje również w pracy M. Hessa (1969). Według M. Hessa obszar OPN zaliczany jest do piętra klimatu umiarkowanie ciepłego, które charakteryzuje średnia temperatura roku w granicach od 6,0 do 8,0°C. Liczba dni z pokrywą śnieżną z roku na rok może się w tym piętrze wahać w szerokim zakresie. W czasie cieplej i suchej zimy wynosi średnio 45 dni, natomiast w czasie bardzo chłodnej i wilgotnej 105 dni. M. Hess zwraca też uwagę, że na całym analizowanym obszarze nie ma ani jednego miejsca, w którym nawet w pełni kalendarzowej zimy wszystkie dni byłyby z pokrywą śnieżną.

W celu ilościowego określenia zróżnicowania przestrzennego pokrywy śnieżnej przeprowadzono modelowanie metodami GIS. W obliczeniach posłużono się numerycznym modelem terenu o rozdzielczości przestrzennej 20 m · piksel⁻¹ (WODGiK) oraz równaniami regresji wyznaczonymi przez M. Hessa (1969) dla regionu krakowskiego. Równania te określają związki pomiędzy poszczególnymi elementami rzeźby terenu, a średnią roczną temperaturą powietrza i liczbą dni z pokrywą śnieżną (tab. 1). Wynik modelowania w postaci mapy rozkładu przestrzennego długości czasu zalegania pokrywy śnieżnej na obszarze OPN przedstawiono na rycinie 2.

Tabela 1. Równania regresji określające zależności między wysokością nad poziomem morza (h) a średnią roczną temperaturą (t) oraz zależności między średnią roczną temperaturą (t) a liczbą dni z pokrywą śnieżną w różnych elementach rzeźby terenu (Hess 1969)

Table 1. Equations of regression designating the interrelations between the height asl (h) and the mean annual temperature (t), and the interrelations between the mean annual temperature (t) and the number of days with snow cover (s) in different elements of the relief (Hess 1969)

Elementy klimatu – Climatic elements		Linioowa regresja Linear regression	Współczynnik korelacji (r) Coefficient of correlation (r)
Średnia roczna temperatura (t) Annual mean temperature (t)	Formy wypukłe Convex forms	$t = 8,82 - 0,00433 h$	-0,986
	Formy wklęsłe Concave forms	$t = 9,02 - 0,00552 h$	-0,977
	Stoki N Slopes N	$t = 9,24 - 0,00496 h$	-0,994
	Stoki S Slopes S	$t = 9,27 - 0,00441 h$	-0,991
Liczba dni z pokrywą śnieżną (s) Number of days with snow cover (s)	Formy wypukłe Convex forms	$s = 230,3 - 20,66 t$	-0,980
	Formy wklęsłe Concave forms	$s = 237,7 - 20,83 t$	-0,960
	Stoki N Slopes N	$s = 233,6 - 20,69 t$	-0,960
	Stoki S Slopes S	$s = 223,2 - 21,53 t$	-0,960



Ryc. 2. Liczba dni z pokrywą śnieżną na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego
 Fig. 2. Number of days with snow cover in the Ojców National Park

Jak wynika z przeprowadzonych obliczeń, na badanym obszarze liczba dni z pokrywą śnieżną wykazywała duże zróżnicowanie. Długość czasu zalegania pokrywy śnieżnej kształtowała się w przedziale od 48 do 116 dni, a średnia obszarowa dla OPN wyniosła 76 dni. Największy kontrast w liczbie dni z pokrywą śnieżną zaznaczał się pomiędzy stokami o ekspozycji południowej a wklęsłymi formami terenowymi. Kontrasty te szczególnie były widoczne w Dolinie Prądnika pomiędzy jej dnem, a lewymi orograficznie stromymi zboczami południowymi. Na stokach wyeksponowanych na południe było o około 34% dni z pokrywą śnieżną mniej niż na dnie dolin, wąwozów i jarów. Na nasłonecznionych stokach południowych (patrz artykuł o dopływie promieniowania w tym tomie) pokrywa śnieżna utrzymywała się najkrócej (od 46 do 63 dni). We wklęsłych formach terenu, a więc na dnie dolin, wąwozów i jarów, do których śnieg często bywał nawiewany powodując wzrost grubości śniegu, liczba dni z pokrywą śnieżną była tam największa (od 95 do 116 dni). Długości zaleganiu śniegu w tych miejscach sprzyjało dodatkowo duże zasłonięcie horyzontu, powodujące zacienienie tych miejsc, oraz częste występowanie zjawiska inwersji temperatury (Wojkowski 2004).

Do miejsc na terenie OPN, na których pokrywa śnieżna utrzymywała się najdłużej (co najmniej 95 dni) należą: na całej długości dno Doliny Prądnika oraz łączący się z nią Wąwóz Babie Doły, zalesiony bezimienny wąwóz od koloni Podzamcze do Pieskowej Skały, Wąwóz Sokolec, Wąwóz Węgielny Dół, Dolina Zachwytu, bezimienne wąwozy wzdłuż drogi Kaliski – Grodzisko, drogi nr 773 Skała – Grodzisko oraz drogi Złota Góra – Ojców, Wąwóz Węgielnik, Dolina Paduch, bezimienny wąwóz przy skałach Dygasińskiego w Ojcowie, na całej długości dno Doliny Sąspowskiej oraz łączący się z nią Wąwóz Koziarnia, Wąwóz Słupianka, bezimienne wąwozy od Dąbrówki do Doliny Sąspowskiej, Wąwóz Jamki, Wąwóz Ciasne Skałki, Wąwóz Skałbania, Wąwóz Korytania, Wąwóz Stodoliska, bezimienny wąwóz wzdłuż drogi od Białego Kościoła do Doliny Prądnika, oraz leżące już poza granicami OPN wąwozy i jary powyżej Prądnika Korzkiewskiego, górny bieg Doliny Korzkiewki, a także dna dolin Kluczwoły, Bolechowickiej, Kobyłańskiej i Będkowskiej.

Miejscem o najdłuższym czasie zalegania pokrywy śnieżnej, na mapie wymodelowanego rozkładu przestrzennego, jest bezimienny wąwóz od Dąbrówki do Doliny Sąspowskiej położony powyżej Wąwozu Jamki na wysokości około 430 m n.p.m. ($19^{\circ}47'51,12''E$, $50^{\circ}12'31,34''N$). W miejscu tym liczba dni z pokrywą śnieżną wyniosła 116 dni.

Zanikanie pokrywy śnieżnej

Na podstawie obserwacji wykonywanych w Ojcowie na obu stacjach meteorologicznych PB i PZ w analogicznym okresie (1990–1992) nie stwierdzono większych rozbieżności w datach wystąpienia pierwszych opadów śniegu oraz, w liczbie dni z opadem śniegu (patrz artykuł o warunkach śnieżnych w Ojcowie w tym tomie). Można na tej podstawie sądzić, że daty początku formowania się pokrywy śnieżnej są na obszarze OPN mało zróżnicowane. Wynika to z położenia całego analizowanego obszaru w zasięgu jednego piętra klimatycznego, o czym wspomniano wyżej.

Na rycinie 3 przedstawiono przykładowe zdjęcie satelitarne obrazujące uformowaną po 8-dniowych opadach śniegu pokrywą śnieżną, zalegającą na całej powierzchni badanego obszaru. Na stacji meteorologicznej w Ojcowie (PZ) grubość warstwy śniegu wynosiła w tym dniu 35 cm.

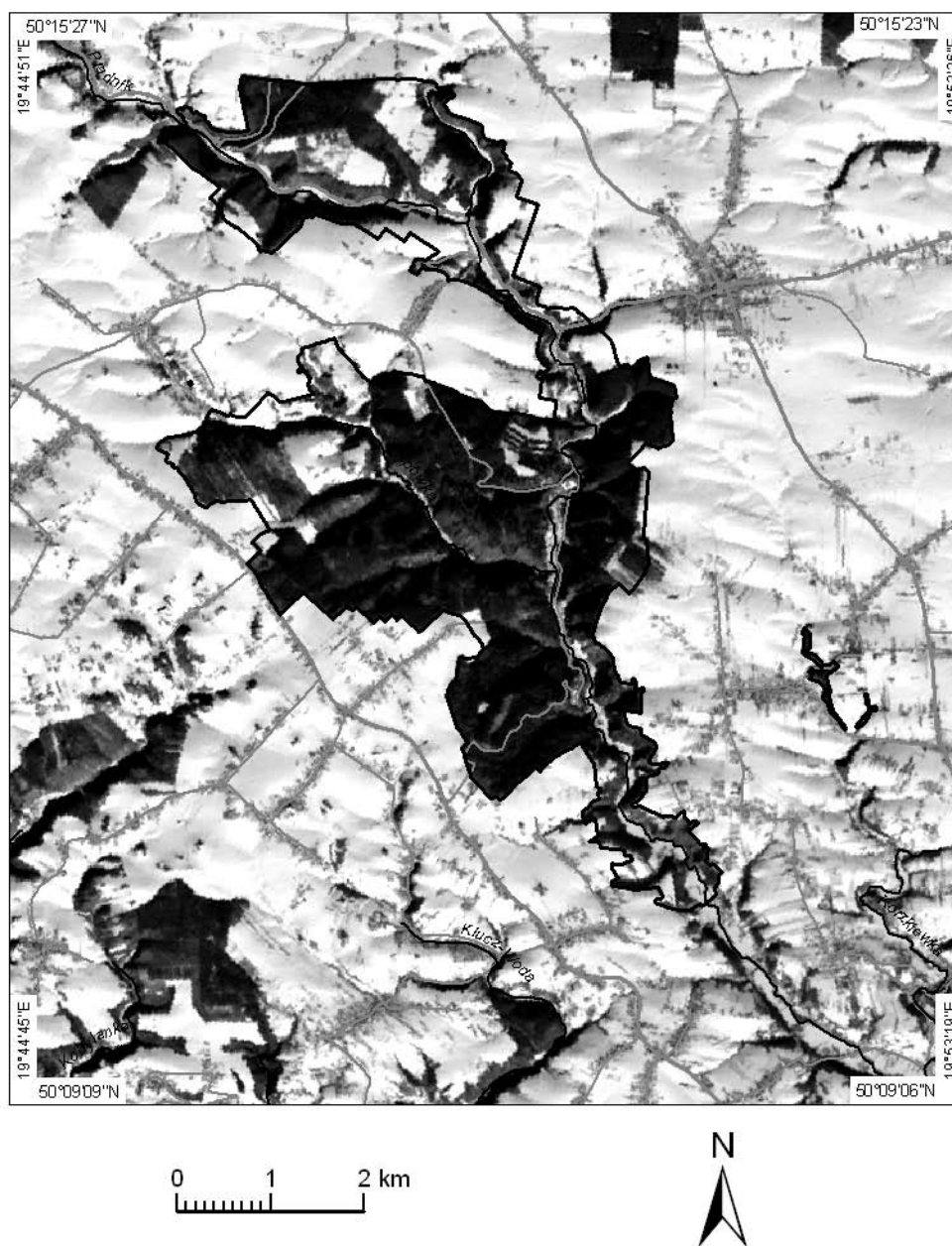
Bardzo duże różnice wystąpiły w datach zanikania pokrywy śnieżnej o czym chociażby świadczy wymodelowany rozkład przestrzenny długości czasu jej zalegania (ryc. 2). Zakładając, że pokrywa śnieżna formuje się na całym analizowanym obszarze w tym samym czasie można wnioskować, że różnice pomiędzy pierwszym zanikaniem szaty śnieżnej, a ostatnim sięgając będą w skrajnych przypadkach nawet 68 dni. Na tempo zanikania śniegu ma wpływ przede wszystkim jego akumulacja oraz ekspozycja i stopień zacięnienia miejsca jego zalegania. Przy dużym nasłonecznieniu następuje gwałtowne topnienie śniegu i nawet w pełni zimy możliwe jest całkowite ustąpienie pokrywy śnieżnej. Sprzyjać temu mogą również wiatry wiejące z południa, związane ze zjawiskiem wiatrów fenowych w Karpatach. Również rodzaj pokrycia i użytkowania terenu i związane z nim albedo powierzchni czynnej będzie modyfikować tempo zanikania pokrywy śnieżnej (patrz artykuł o albedzie w tym tomie).

Na rycinie 4 przedstawiono przykładowe zdjęcie satelitarne obrazujące zanikanie pokrywy śnieżnej. Widać na nim wyraźnie całkowite ustąpienie szaty śnieżnej z południowej części badanego obszaru. Pokrywa śnieżna w tym dniu zalegała jeszcze w północnej części badanego obszaru oraz w dnach dolin i na stokach o ekspozycji północnej. Na stacji meteorologicznej w Ojcowie (PZ) grubość warstwy śniegu wynosiła w tym dniu 10 cm, a po dwóch kolejnych dniach całkowicie zaniknęła.

Z uwagi na to, że trwałość pokrywy śnieżnej jest bardzo silnie zależna od stopnia zacięnienia miejsca jej zalegania, wykonano na tej podstawie analityczne cieniowanie obszaru badań metodami GIS. W obliczeniach posłużono się numerycznym modelem terenu o rozdzielczości przestrzennej $20 \text{ m} \cdot \text{piksel}^{-1}$ (WODGiK). Analityczne cieniowanie polegające na obserwacji zmian cienia słonecznego powodowanego przez kierunek i wielkość nachylenia oraz wysokość pozwalało oszacować prędkość topnienia śniegu. Jest ona oszacowana dla każdego elementarnego pola numerycznego modelu terenu na podstawie czasu, jaki pozostaje on pod wpływem promieniowania słonecznego lub w cieniu. Wynik modelowania w postaci mapy potencjalnych miejsc pierwszego zanikania pokrywy śnieżnej i ostatniej jej obecności na obszarze OPN przedstawiono na rycinie 5.

W celu zbadania różnic zanikania pokrywy śnieżnej na obszarze OPN wykonano jej kartowanie podczas dwóch sezonów zimowych: 2004/2005 i 2008/2009. Sezon zimowy 2004/2005 charakteryzował się stosunkowo częstymi opadami śniegu. Pokrywa śnieżna w Ojcowie (PZ) pojawiła się 19 listopada i trwała 128 dni zanikając ostatecznie 27 marca. Trwała pokrywa śnieżna zalegała w tym sezonie o 28 dni krócej od szaty śnieżnej; 100 dni, a średnia grubość warstwy śniegu na stacji w Ojcowie (PZ) wynosiła 11 cm. Kartowanie śniegu w sezonie zimowym 2004/2005 wykonano podczas 8 dni: 16–17.03, 20–21.03, 27–28.03, 30–31.03. Wynik kartowania przedstawiają ryciny 6, 7, 8 i 9.

W dniach 16–17 marca 2005 roku, na prawie całym analizowanym obszarze zalegała pokrywa śnieżna. Na rycinie 6 możemy już jednak zaobserwować miejsca pierwszego zaniku śniegu, które stanowią 0,2% ($0,3 \text{ km}^2$) powierzchni badanego obszaru. Obszary z których ustąpiła pokrywa śnieżna w większości położone były od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów tuż nad dnem Doliny Prądnika, podczas gdy płaskie dno doliny przykrywała jeszcze wtedy gruba warstwa śniegu (38 cm na stacji PZ w Ojcowie). Większość tych miejsc cechowało silne nasłonecznienie (ryc. 5), bardzo duże nachylenie terenu oraz ekspozycja południowa, południowo-zachodnia i rzadziej południowo-wschodnia. Należy też zaznaczyć, że powierzchnie, z których jako pierwsza ustąpiła pokrywa śnieżna były łąkami lub nagimi skałami wapiennymi.



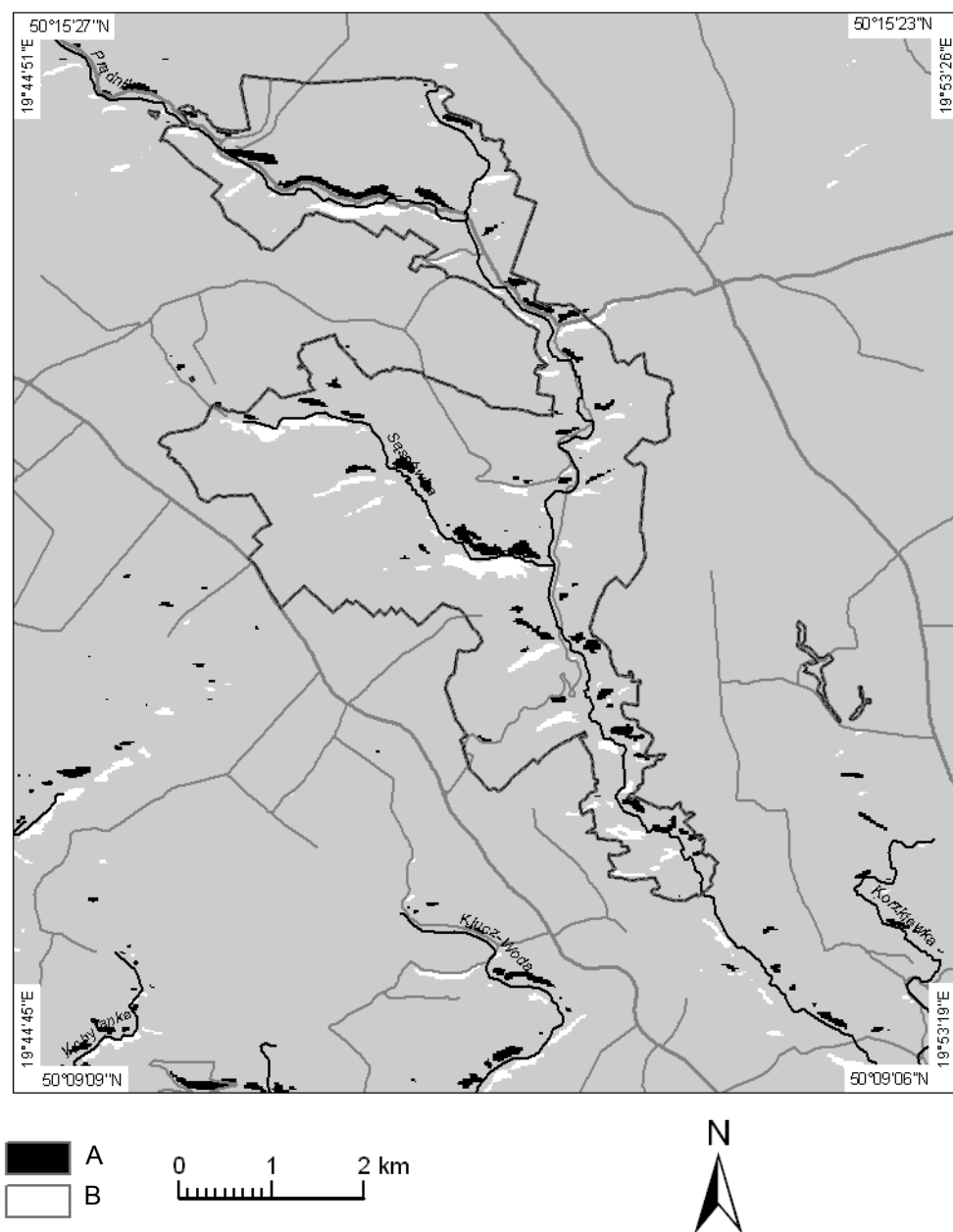
Ryc. 3. Pokrywa śnieżna w dniu 6.03.2004 o godz. 11.00 – satelita Terra ASTER

Fig. 3. Snow cover on 6.03.2004 at 11.00 – satellite Terra ASTER



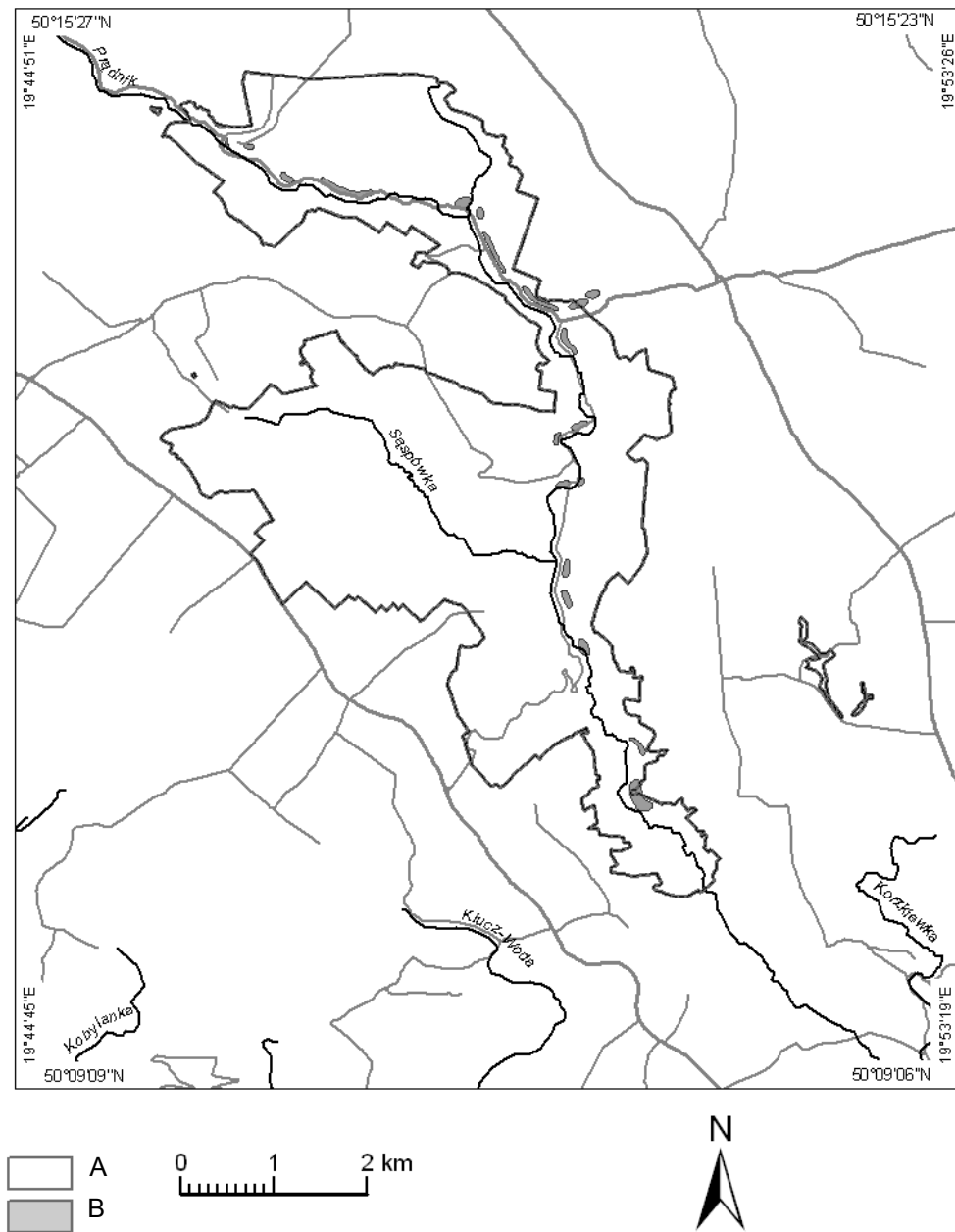
Ryc. 4. Pokrywa śnieżna w dniu 7.03.2001 o godz. 10.30 – satelita Landsat 7 ETM+

Fig. 4. Snow cover on 7.03.2001 at 10.30 – satellite Landsat 7 ETM+



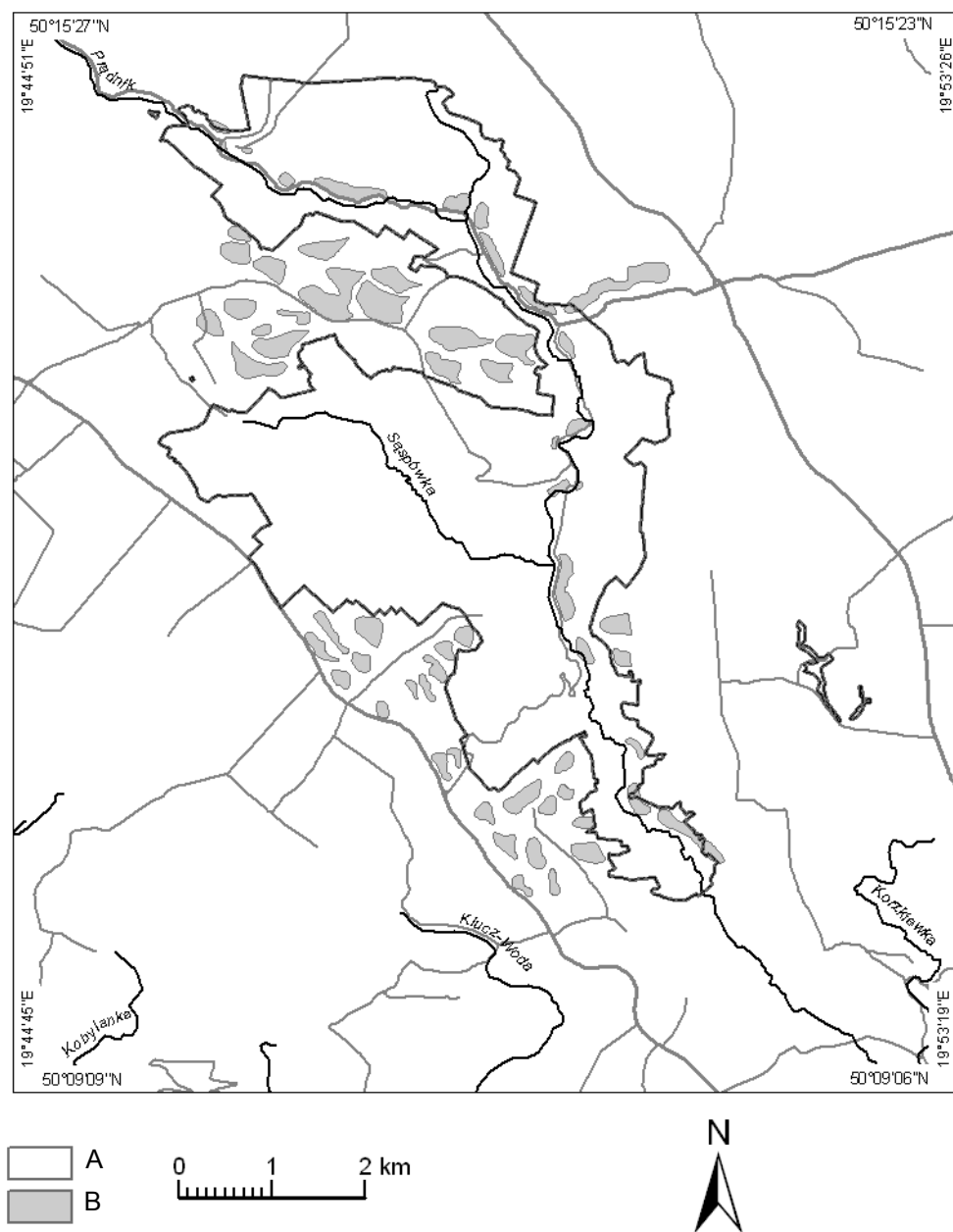
Ryc. 5. Miejsca pierwszego zanikania pokrywy śnieżnej (A) i ostatniej jej obecności (B) na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego

Fig. 5. Places of the first disappearance (A) and the latest presence of snow cover (B) in the Ojców National Park



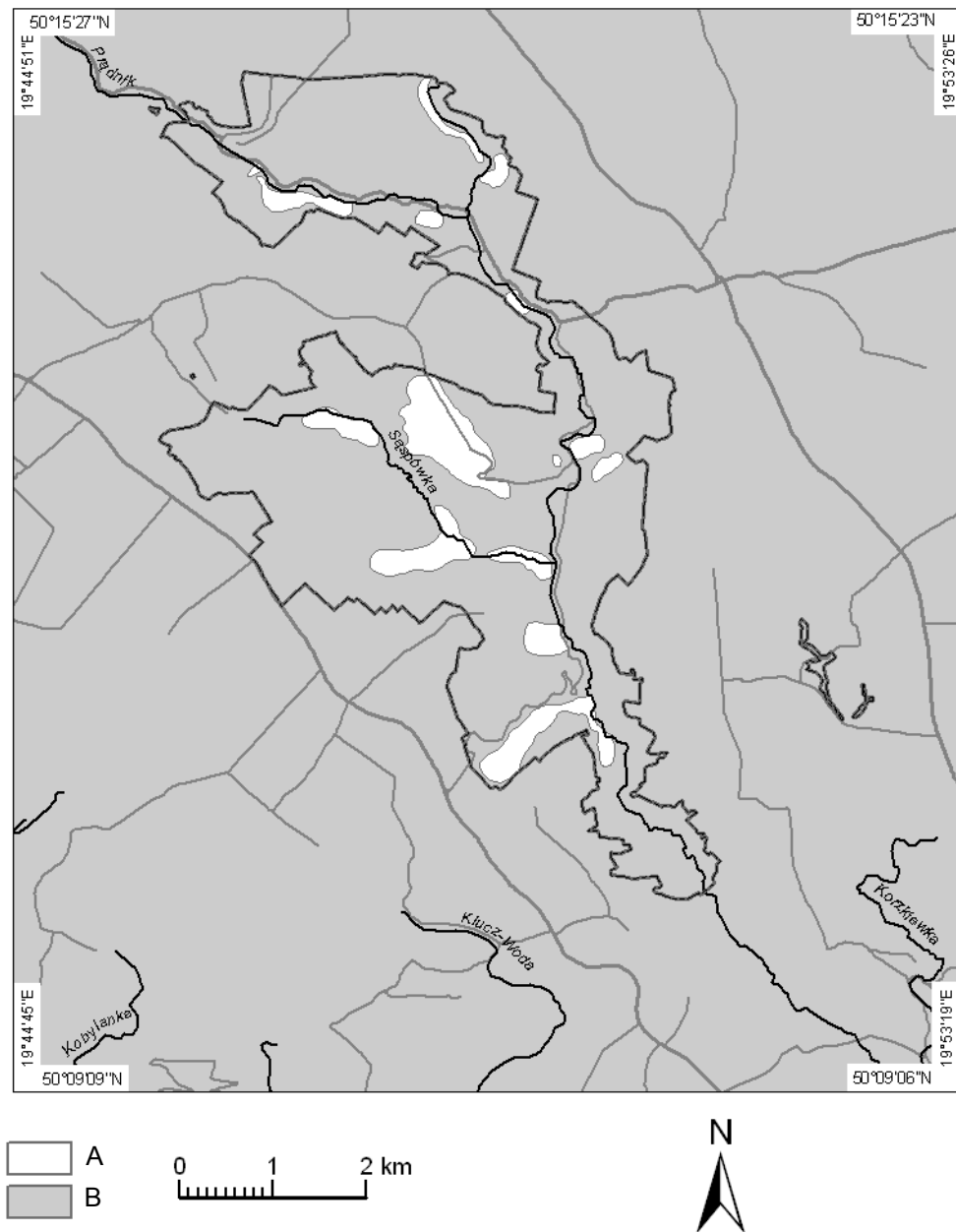
Ryc. 6. Pokrywa śnieżna (A) i jej brak (B) na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego w dniach 16–17.03.2005 r.

Fig. 6. Snow cover (A) and lack of snow cover (B) in the Ojców National Park on 16–17.03.2005



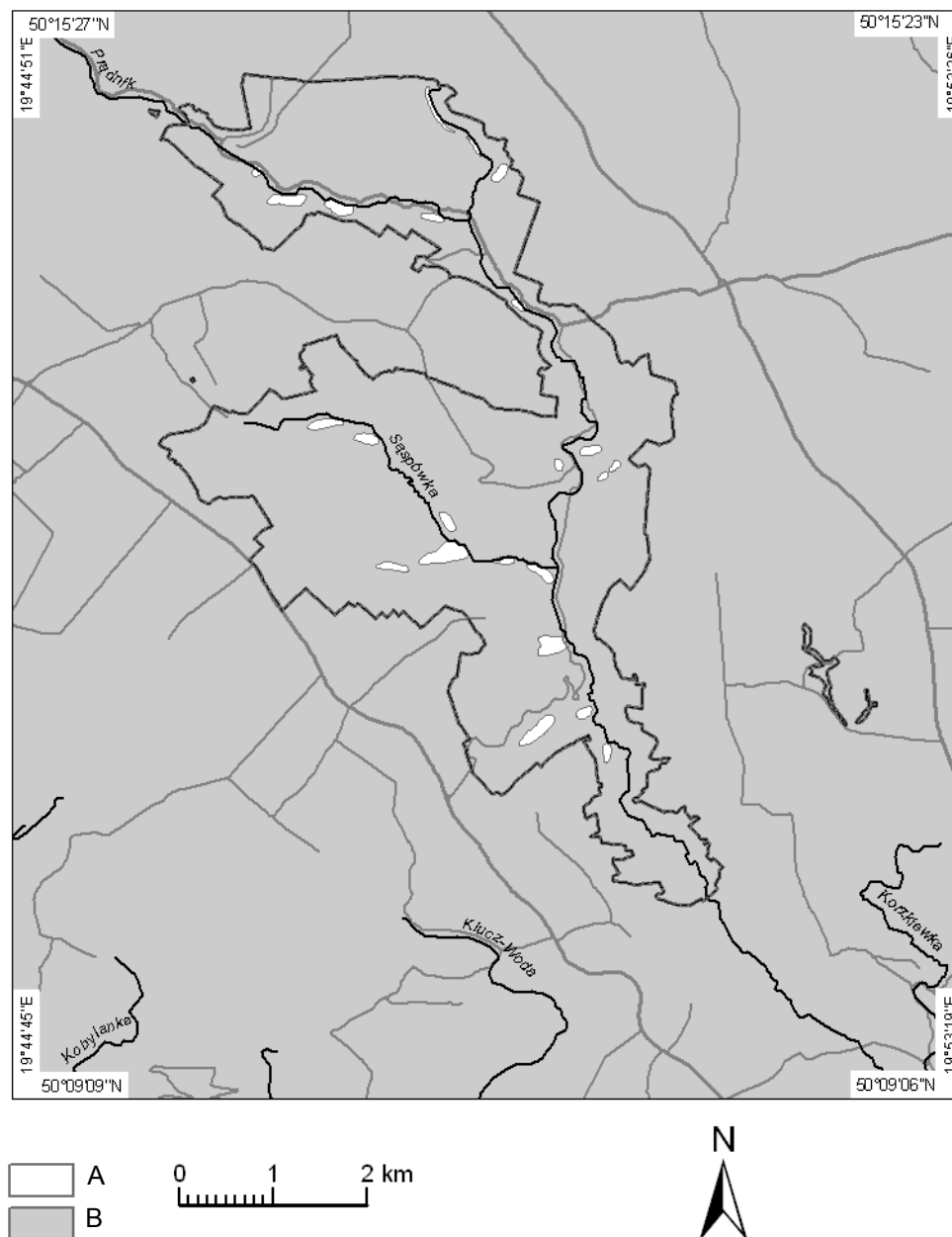
Ryc. 7. Pokrywa śnieżna (A) i jej brak (B) na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego w dniach 20–21.03.2005

Fig. 7. Snow cover (A) and lack of snow cover (B) in the Ojców National Park on 20–21.03.2005



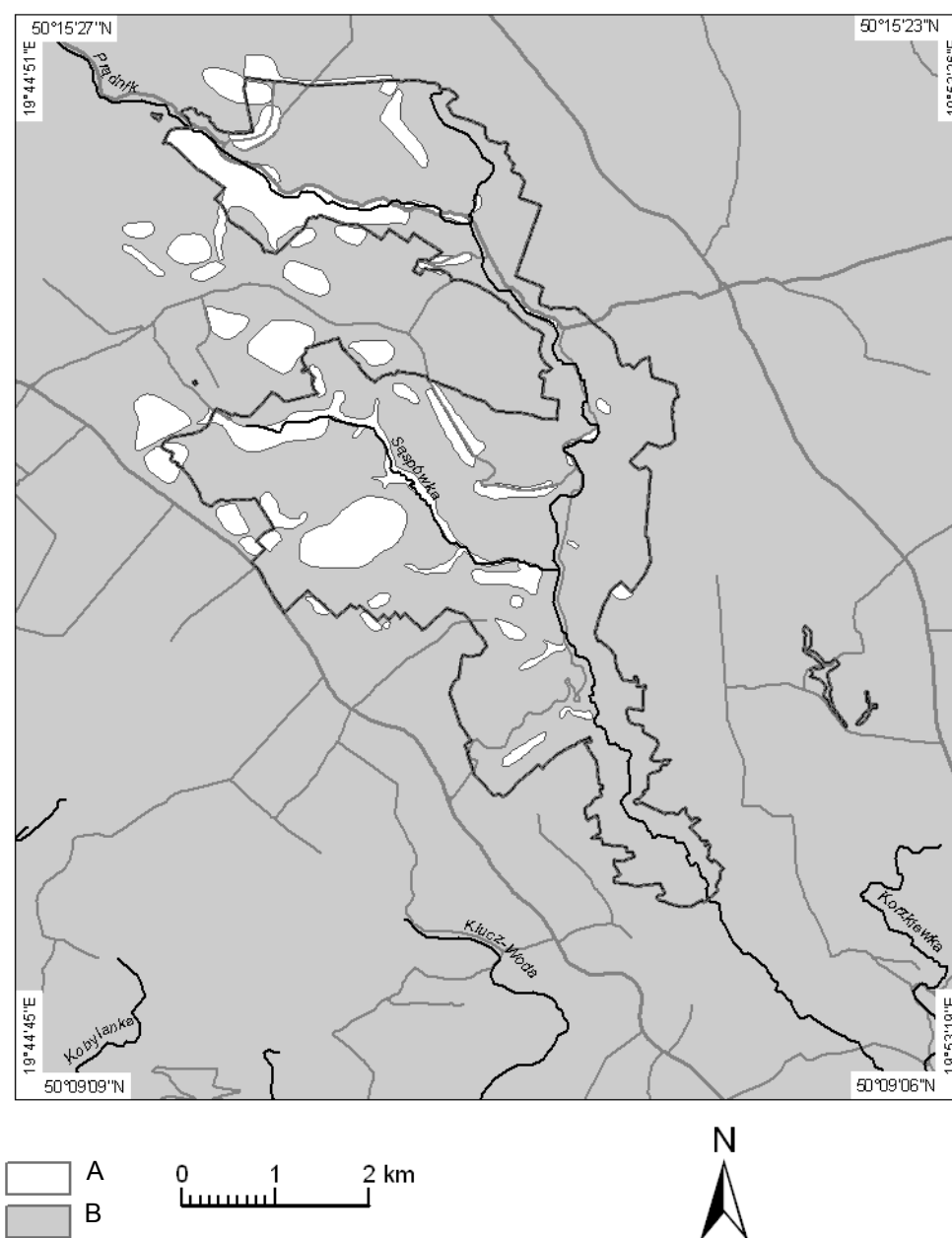
Ryc. 8. Pokrywa śnieżna (A) i jej brak (B) na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego w dniach 27–28.03.2005

Fig. 8. Snow cover (A) and lack of snow cover (B) in the Ojców National Park on 27–28.03.2005



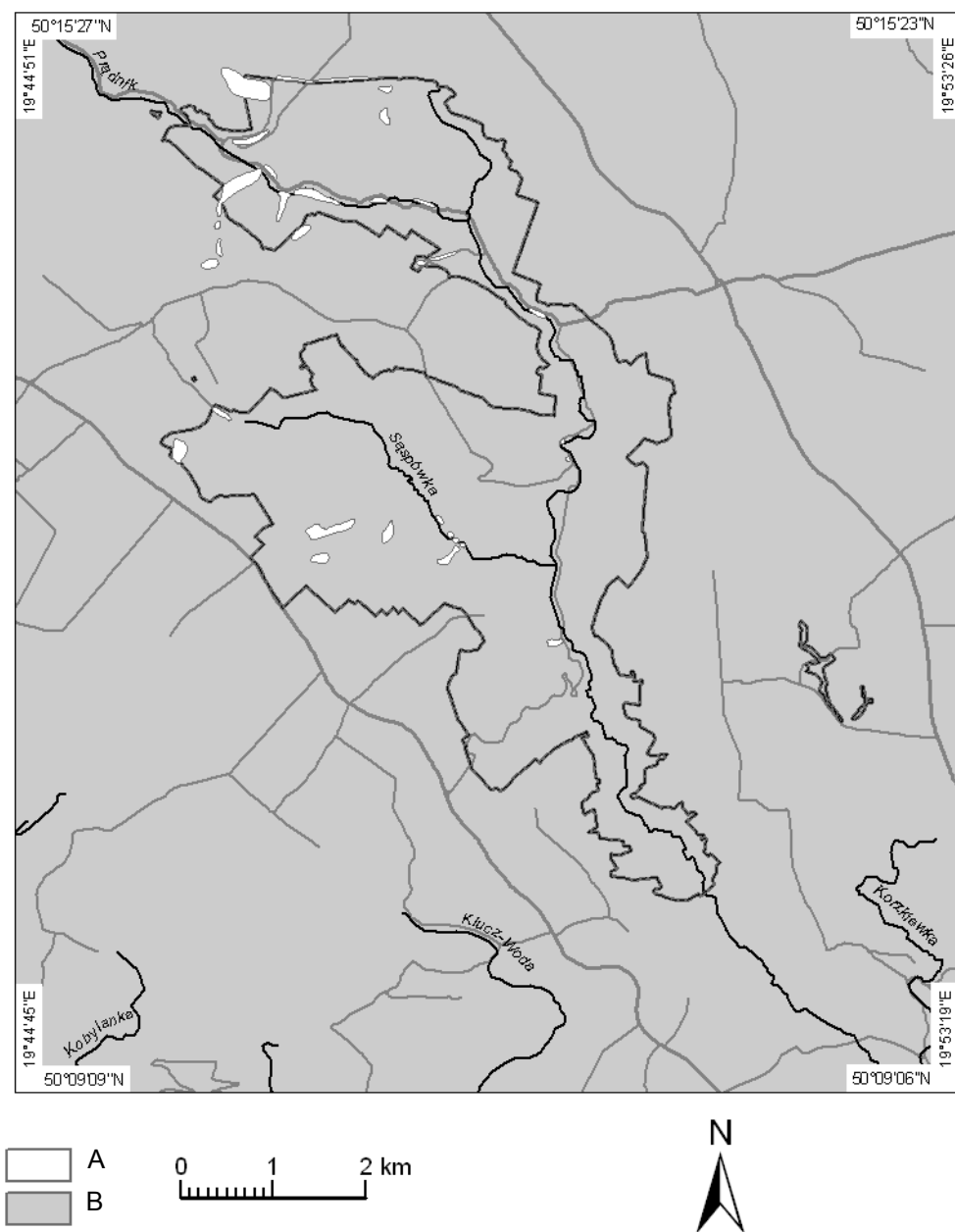
Ryc. 9. Pokrywa śnieżna (A) i jej brak (B) na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego w dniach 30–31.03.2005

Fig. 9. Snow cover (A) and lack of snow cover (B) in the Ojców National Park on 30–31.03.2005



Ryc. 10. Pokrywa śnieżna (A) i jej brak (B) na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego w dniu 9.03.2009

Fig. 10. Snow cover (A) and lack of snow cover (B) in the Ojców National Park on 9.03.2009



Ryc. 11. Pokrywa śnieżna (A) i jej brak (B) na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego w dniu 18.03.2009

Fig. 11. Snow cover (A) and lack of snow cover (B) in the Ojców National Park on 18.03.2009

W dniach 20–21 marca 2005 roku, warstwa śniegu w dalszym ciągu pokrywała większość analizowanego obszaru. Powierzchnia bez śniegu stanowiła 2,7% (3,2 km²) badanego obszaru. Na rycinie 7 możemy zauważyć, że powiększyły się nieznacznie powierzchnie, z których jako pierwsza ustąpiła pokrywa śnieżna. Dna dolin jednak wciąż przykrywała jeszcze gruba warstwa śniegu (23 cm na stacji PZ w Ojcowie). Na wierzchowinach za to pojawiło się wiele nowych miejsc z których ustąpił śnieg. Były to w tym przypadku powierzchnie łąk lub zaoranych pól uprawnych w okolicach Sąspowa, Woli Kalinowskiej, Czajowic, Murowni i Białego Kościoła.

W dniach 27–28 marca 2005 roku, pokrywa śnieżna stanowiła już mniejszość na badanym obszarze. Powierzchnia bez śniegu wynosiła 97,9% (116,4 km²) analizowanego obszaru. Na rycinie 8 możemy zauważyć, że śnieg całkowicie ustąpił już z dna Doliny Prądnika (0 cm na stacji PZ w Ojcowie). Utrzymywał się jednak w zacienionych miejscach, tuż nad dnem Doliny Prądnika. Do miejsc w których obserwowano w tych dniach pokrywę śnieżną należały: północne zbocza pomiędzy Wąwozem Sokolec a Wąwozem Węgielny Dół, północne stoki w Młynniku, zacienione zbocza w Dolinie Zachwytu, północno-wschodnie stoki w Grodzisku, zbocza Prałatek i Zamkowych Skał w Ojcowie, południowo-zachodnie zbocza Złotej Góry, północne zbocza Doliny Sąspowskiej od Skały Młynnej do Wąwozu Słupianka, Wąwóz Jamki oraz dolny bieg Doliny Sąspowskiej, Brama Krakowska wraz z Wąwozem Ciasne Skałki, Wąwóz Korytania oraz północno-wschodnie zbocza w Prądniku Ojcowskim. Większość z wyżej wymienionych miejsc były porośnięte lasem.

W dniach 30–31 marca 2005 roku, pokrywa śnieżna zalegała już tylko w nielicznych miejscach (ryc. 9). Powierzchnia bez śniegu wynosiła w tych dniach 99,5% (118,4 km²) badanego obszaru. Miejsca z ostatnią w tym sezonie zimowym pokrywą śnieżną cechowało największe zasłonięcie horyzontu (ryc. 5). Do ostatnich miejsc w sezonie zimowym 2004/2005 w których obserwowano obecność pokrywy śnieżnej należały: wlot Wąwozu Sokolec i Wąwozu Węgielny Dół do Doliny Prądnika, północne stoki w Młynniku, fragmenty najbardziej zacienionych zboczy w Dolinie Zachwytu, fragment północno-wschodniego stoku w Grodzisku, fragmenty zbocza Prałatek i Zamkowych Skał w Ojcowie, fragmenty północnego zbocza Doliny Sąspowskiej w pobliżu obserwatorium sejsmologicznego PAN oraz na wprost Wąwozu Słupianka, stosunkowo duże powierzchnie dna i zboczy Wąwozu Jamki, oraz niewielkie fragmenty dolnego biegu Doliny Sąspowskiej, otoczenie Bramy Krakowskiej, górny i dolny fragment Wąwozu Korytania.

Drugi sezon zimowy (2008/2009) podczas którego wykonywano kartowanie zanikania pokrywy śnieżnej charakteryzował się przeciętnymi opadami śniegu. Pokrywa śnieżna w Ojcowie (PZ) pojawiła się 22 listopada i trwała 124 dni zanikając ostatecznie 26 marca. Trwała pokrywa śnieżna zalegała o 29 dni krócej (95 dni). Stosunkowo niska była w tym sezonie grubość warstwy śniegu, która na stacji w Ojcowie (PZ) wynosiła średnio 5 cm. Kartowanie śniegu w sezonie zimowym 2008/2009 wykonano podczas 2 dni: 9.03 i 18.03, a jego wynik przedstawiają ryciny 10 i 11.

W dniu 9 marca 2009 roku, powierzchnia bez śniegu wynosiła 95,5% (118,4 km²) analizowanego obszaru. Na rycinie 10 możemy zauważyć, że śnieg prawie całkowicie ustąpił z dna Doliny Prądnika (0 cm na stacji PZ w Ojcowie). Wyjątek stanowiły fragmenty dna doliny w górnym jego biegu od Pieskowej Skały do Młynnika oraz w Grodzisku, a także w Ojcowie na Zazamczu i Polanie Goplana. Ponadto do miejsc w których obserwowano w tym dniu obecność pokrywy śnieżnej należały: zalesiony bezimienny wąwóz od kolonii Podzamcze do Pieskowej Skały, zacienione zbocza dolnego biegu Doliny Zachwytu,

beziemienny wąwóz wzdłuż drogi Kaliski – Grodzisko, zalesiony odcinek drogi Wola Kalinowska – Ojców, Wąwóz Wilczy Dół, Brama Krakowska wraz z zalesionymi wąwozami Ciasne Skałki i Skałbania, górny i dolny fragment zalesionego Wąwozu Korytania, na całej długości dno Doliny Sąspowskiej, zalesiony Wąwóz Jamki oraz powyżej niego beziemienny wąwóz od Dąbrówki do Doliny Sąspowskiej, ponadto fragmenty łąk i zaoranych pól uprawnych w okolicach Lepianki, Sąspowa, Bukowca i Woli Kalinowskiej.

Podczas kartowania zaobserwowano w wielu miejscach bardzo wyraźny wpływ cienia lasu na trwałość pokrywy śnieżnej. Przykładowo ściana lasu rozciągająca się na długości 1,6 km od koloni Podzamcze do Herianówki sprawiała, że w zasięgu padającego od niej cienia utrzymywał się wzdłuż skraju lasu wąski około 30 metrowy pas pokrywy śnieżnej (ryc. 10).

Ostatnie kartowanie zanikania pokrywy śnieżnej wykonano 18 marca 2009 roku. W tym dniu warstwa śniegu zalegała już tylko w bardzo nielicznych miejscach (ryc. 11). Powierzchnia bez śniegu wynosiła 99,5% (118,4 km²) badanego obszaru. Miejsca z ostatnią w tym sezonie zimowym pokrywą śnieżną cechowało, podobnie jak to miało miejsce 30–31 marca 2005, największe zasłonięcie horyzontu (ryc. 5) oraz duże zacinienie porastającym je lasem. Powodowało to nie tylko znaczne ograniczenie dopływu promieniowania słonecznego ale również osłabiało oddziaływanie wiatru na pokrywę śnieżną. Do ostatnich miejsc w sezonie zimowym 2008/2009 w których obserwowano obecność pokrywy śnieżnej należały: fragmenty beziemiennego wąwozu od koloni Podzamcze do Pieskowej Skały, wąski pas wzdłuż ściany lasu od koloni Podzamcze do Herianówki, dolny i fragmenty górnego biegu



Ryc. 12. Zanikanie pokrywy śnieżnej 18.03.2009 w Wąwozie Węgielny Dół. Fot. J. Wojkowski

Fig. 12. Disappearance of snow cover on 18.03.2009 in the ravine of Węgielny Dół. Photo by J. Wojkowski

Wąwozu Sokolec, dolny bieg Wąwozu Węgielny Dół (ryc. 12), położone ponad dnem Doliny Prądnika północne zbocza od Wąwozu Węgielny Dół do młyna Krzystanka, fragmenty bezimiennego wąwozu wzdłuż drogi Kaliski – Grodzisko, fragment północno-wschodniego stoku w Grodzisku, fragmenty północnych zboczy Prałatek polany Goplana w Ojcowie, otoczenie Bramy Krakowskiej, fragment północno-wschodniego zbocza w górnym biegu Doliny Szępsowskiej (ryc. 13), dolny bieg Wąwozu Jamki oraz przylegające do niego dno Doliny Szępsowskiej, a także znajdujące się powyżej Wąwozu Jamki fragmenty górnego biegu bezimiennego wąwozu od Dąbrówki do Doliny Szępsowskiej.

Kartowanie zanikania śniegu na obszarze OPN miało na celu wskazanie tych miejsc, w których pokrywa śnieżna wykazywała tendencję do najszybszego zanikania oraz do najdłuższej jej obecności. Obserwacje pokrywy śnieżnej na stacji meteorologicznej PZ w Ojcowie oraz przeprowadzone w terenie kartowanie jej zanikania potwierdziły dla większości miejsc wynik modelowania. W celu uzyskania jeszcze bardziej dokładniejszych wyników, zastosowane w niniejszej pracy modele należałoby bardziej sparametryzować. Oprócz bowiem cech morfologicznych, warunków termicznych oraz wysokości i ekspozycji terenu należałoby podczas modelowania uwzględnić również takie czynniki jak spadki terenu, rodzaj pokrycia i użytkowania, albedo powierzchni czynnej, wielkość strumieni K_{\downarrow} , K_{\uparrow} i K^* , oraz wpływ zacielenia terenu przez las.

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



Ryc. 13. Zanikanie pokrywy śnieżnej 18.03.2009 w Dolinie Szępsowskiej. Fot. Z. Caputa

Fig. 13. Disappearance of snow cover on 18.03.2009 in the Szępsowska Valley. Photo by Z. Caputa

PIŚMIENICTWO

Brzeźniak E., Partyka J. 2008. *Warunki klimatyczne Ojcowskiego Parku Narodowego*, [w:] A. Klasa, J. Partyka (red.), *Monografia Ojcowskiego Parku Narodowego. Przyroda*. Wyd. OPN. Ojców, s. 121–136.

Hess M. 1969. *Klimat podregionu miasta Krakowa*. „Folia Geographia”, ser. Geogr.-Physica, **3**: 5–65.

Jaros K. 2003. *Warunki klimatyczne i bioklimatyczne Ojcowskiego Parku Narodowego*. Praca magisterska, IGiGP UJ, maszynopis.

Klein J. 1967. *Powiązanie między pokrywą śnieżną a zbiorowiskami roślinnymi w Ojcowskim Parku Narodowym*. „Fragmenta Floristica et Geobotanica”, **1**: 77–100.

Klein J. 1974. *Mezo- i mikroklimat Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Studia Naturae”, ser. A, **8**: 1–105.

Klein J. 1977. *Klimat*, [w:] K. Zabierowski (red.), *Przyroda Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Studia Naturae”, Ser. B, **28**: 91–119.

Nalepa E. 2007. *Charakterystyka warunków i wybranych zjawisk meteorologicznych w Ojcowskim Parku Narodowym*. Praca magisterska, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, maszynopis.

Wojkowski J. 2004. *Zróżnicowanie topoklimatyczne w charakterystycznych typach środowiska OPN*, [w:] J. Partyka (red.), *Zróżnicowanie i przemiany środowiska przyrodniczo-kulturowego Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej*, t. 1 – Przyroda. Ojców, s. 139–142.

WODGiK, *Numeryczny model terenu OPN o rozdzielczości przestrzennej 20m/piksel*, Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Krakowie.

SUMMARY

The article is the analysis of spatial differentiation and determinants of snow cover lying in the Ojców National Park (ONP) based on spatial modelling using GIS methods and snow cover disappearance mapping within the winter seasons of 2004/2005 and 2008/2009. Uniform measurement material from the Ojców–Park Zamkowy meteorological station collected in the years 1990–2009 was also used.

The investigations showed that the snow cover in the ONP is influenced by altitude, temperature variations as an effect of orographic deformation, and local terrain morphology that determines the degree of shading and insolation conditions. The biggest contrasts in the number of days with snow cover could be seen between the slopes with a southern aspect and concave landforms. The sharpest contrasts were observed between the floor of the Prądnik Valley and its orographically left steep southern slopes. On the slopes with a southern aspect, the number of days with snow cover was by 34% less than at the floors of valleys, ravines and canyons. In concave landforms, that is at the valley, ravine and canyon floors where snow is often blown in causing the growth in snow cover depth, the largest number of days with snow cover could be observed and it was from 95 to 116 days. It was found that snow lies longest in the Sąspowska Valley, which is a consequence of the lower, compared to the surrounding areas, temperature and a high degree of shading. In the course of snow cover mapping it was observed that places with the longest-lying snow cover were marked by a very high degree of horizon obstruction and were additionally shaded by forest that overgrows them. This caused not only a significant decrease in the solar radiation inflow, but also lessened the effect of wind on the snow cover. The observations of snow cover conducted at the PZ meteorological station in Ojców as well as field mapping of its disappearance confirmed the results of modelling for most places.