

Prądnik. Prace Muz. Szafera	24	25–46	2014
-----------------------------	----	-------	------

TOMASZ BARTUŚ

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Geologii Ogólnej i Geoturystyki
Al. Mickiewicza 30, 30–059 Kraków
e-mail:bartus@agh.edu.pl

MODEL ZMIENNOŚCI TOPOKLIMATYCZNEJ REJONU OJCOWSKIEGO PARKU NARODOWEGO

Topoclimatic variability model of the area of Ojców National Park

Abstract: Topoclimates, or climates of very small areas, are defined by a number of local factors. The most important ones include: morphology, exposure and gradient of slopes, the nature of vegetation, land use, geology, hydrography and the type of the soil cover. Knowledge of the spatial variability of these factors allows the performance of topoclimatic modelling. This is done without knowing the distribution of climate parameters such as temperature or humidity. This paper describes the procedure of semi-automatic determination of the topoclimatic map for the area of Ojców National Park (southern Poland) using the GIS software. The modelling applies Paszyński's (1980) method with later modifications by other authors.

Key words: topoclimate, Ojców National Park, modeling, climate mapping

WSTĘP

Klimat jest jednym z najważniejszych komponentów środowiska geograficznego. Jest czynnikiem kształtującym krajobraz, wpływa na procesy wietrzenia i erozji skał (Nearing i in. 2004), warunkuje przebieg i zakres procesów morfotwórczych, wpływa na procesy glebotwórcze (Jenny 2005; Várallyay 2010), poprzez różnego rodzaju bodźce wpływa na ludzkie samopoczucie (Millennium Ecosystem Assessment 2005), jest także jednym z czynników decydujących o bio- (Soulé, Wilcox 1980) i georóżnorodności (Gray 2004). Dzięki rozwojowi technologicznemu, warunki klimatyczne i ich zmienność odniesione do skali globalnej (makroklimat) i regionalnej (mezoklimat) są dobrze rozpoznane i stale monitorowane. Znacznie mniej wiadomo o zjawiskach kształtujących klimat i powodujących jego zmienność w większej skali. Najbardziej znanymi rodzajami klimatu lokalnego są tzw. mikroklimaty. Ten trudny do zdefiniowania termin zwykle się odnosi do lokalnych warunków klimatycznych występujących np. w otoczeniu uzdrowisk (Błażejczyk 1984). Jak zauważa Paszyński (1980), termin ten nie ma jednak ściśle charakteru geograficznego często, jest używany w odniesieniu do różnych przestrzeni np.: piwnice,

parki, piętra leśne i inne (Georgi, Zafiriadis 2006). Obecnie, zjawiska klimatyczne, które są kształtowane pod wpływem czynników lokalnych, a więc występujących na pewnym niewielkim obszarze lub w jego najbliższej okolicy są określane mianem topoklimatu. Termin ten został zaproponowany przez Thornthwaite (1953), który zdefiniował go jako klimat bardzo małych obszarów. W ślad za definicją rozwinęła się nauka nazywana topoklimatologią. Do jej głównych celów należy wyjaśnianie jakościowego i ilościowego wpływu różnorodnych czynników kształtujących zmienność topoklimatyczną oraz kartografia topoklimatyczna (Błażejczyk 1984, 1990, 2001; Milewski 2011; Paszyński 1980; Paszyński i in. 1999).

Ojcowski Park Narodowy (OPN) jest najmniejszym polskim parkiem narodowym (2145,62 ha). Jego plan początkowo w formie rezerwatu powstał w 1924 r. z inicjatywy Władysława Szafera, jednakże Park utworzono dopiero w 1956 r. Wówczas był to szósty z kolei park narodowy Polski.

Do chwili obecnej znaczna część czynników klimatycznych OPN została zbadana, a wyniki opublikowane. Wśród ważniejszych opracowań z zakresu klimatologii tego obszaru należy wymienić następujące publikacje: Klein (1974, 1977), Klein i in. (1966), Caputa (2001, 2009), Caputa i in. (2004), Wojkowski (2004), Bokwa i in. (2006, 2008), Brzeźniak, Partyka (2008), Caputa, Wojkowski (2009), Partyka, Caputa (2009). Większość prowadzonych badań opierano na wynikach punktowych pomiarów czynników klimatycznych, pochodzących ze stałych bądź mobilnych stacji monitoringu klimatycznego (Kwietniewski 1901; Klein 1992a, b; Caputa 2001, 2009; Caputa, Leśniok 2001; Caputa i in. 2004; Małek, Kizior 2004; Wojkowski 2004; Bokwa i in. 2006, 2008; Caputa, Wojkowski 2009). Wnioski wynikające z przeprowadzonych analiz, były często rozciągane na cały obszar OPN lub jego większe fragmenty. Stanowią obecnie ważne źródło informacji opisujące zmienność klimatycznie jednorodnych obszarów Parku. Wśród najważniejszych, współczesnych opracowań topoklimatycznych analizowanego rejonu należy wymienić: Caputa (2009), Caputa, Leśniok (2002), Caputa i in. (2004) oraz Wojkowski (2004). Część badań klimatycznych rejonu OPN obejmowała pewien wybrany przedział czasowy i opisywała okresową zmienność obserwowanych parametrów klimatycznych (Klein i in. 1966, Małek, Kizior 2004; Bokwa i in. 2008; Partyka, Caputa 2009; Wojkowski, Partyka 2009; Brzeźniak 2009a, b, 2010). Z uwagi na trudności związane z pozyskiwaniem odpowiednich danych, stosunkowo najwięszą grupę analiz stanowiły opracowania klimatyczne dla całego obszaru OPN (Klein 1974, 1977; Wojkowski 2006, 2007, 2009; Wojkowski, Caputa 2009a, b, c). Na szczególną uwagę zasługują tu prace Klein'a (1974, 1977), który w oparciu o informacje pochodzące z trzech stacji bazowych, oraz na podstawie szczegółowej analizy wybranego fragmentu Parku, opracował model zmienności mezo i mikroklimatycznej całego obszaru OPN. Autor wyróżnił w swych pracach cztery regiony mezoklimatyczne (ciepły, umiarkowany, chłodny i zimny) i dwadzieścia subregionów mikroklimatycznych.

Jednym z elementów klimatu OPN, który dotychczas nie doczekał się pełnej analizy naukowej jest przypowierzchniowa warstwa troposfery, w której obserwuje się największą zmienność klimatyczną. Bezpośrednim celem badań było opracowanie syntetycznej topoklimatycznej mapy obszaru OPN i części jego otuliny. Mapa określająca zakres przestrzenny wybranych typów topoklimatów, poszerza wiedzę klimatologiczną, umożliwi przeprowadzenie różnorodnych analiz i modelowań oraz wypełni lukę w literaturze naukowej dotyczącej OPN i jego unikalnych walorów naturalnych.

METODA BADAŃ

Metodologia badań w zakresie szczegółowej kartografii klimatologicznej jest bogata. Większość polskich badań topoklimatycznych jest oparta na metodzie zaproponowanej przez Paszyńskiego (1980) oraz Paszyńskiego i in. (1999), z różnymi jej modyfikacjami (Bartkowski 1986; Kicińska i in. 2001; Kot 2005, 2006; Kolendowicz, Bednorz 2010). Zróżnicowanie topoklimatyczne jest w niej uwarunkowane wymianą energii w tzw. powierzchni granicznej znajdującej się pomiędzy gruntem, a atmosferą (Kluge, Paszyński 1973; Paszyński 1980, 2004; Bartkowski 1986; Paszyński i in. 1999). Wśród metod alternatywnych można wymienić metodę Klugego (1980), która wiąże warunki klimatyczne z geograficznym położeniem analizowanego obszaru i jego wysokością nad poziomem morza oraz metodę Grzybowskiego (1990), opartą na bilansie promieniowania w zależności od struktury i właściwości powierzchni czynnej, czy koncepcję tworzenia przeglądowej mapy topoklimatycznej w skali 1:200 000 autorstwa Błarzejczyka (2001). W literaturze tematu, znane są także liczne próby określenia zmienności klimatologicznej różnych fragmentów powierzchni Ziemi. Wśród wybranych polskich analiz topoklimatycznych można wymienić publikacje Paszyńskiego (1966), Grzybowskiego (1983), Obrębskiej-Starkłowej (1980), Bednorza i in. (2001), Kicińskiej i in. (2001), Kota (2005, 2006) oraz Kolendowicza i Bednorza (2010).

W prezentowanym modelowaniu topoklimatycznej zmienności obszaru OPN wykorzystano metodę Paszyńskiego (1980), Paszyńskiego i in. (1999), z modyfikacjami Kicińskiej i in. (2001), Kota (2005, 2006) oraz Bartusia (2014). Zakłada ona, że z największym zróżnicowaniem elementów klimatu, spowodowanym dobowym wpływem powierzchni Ziemi na atmosferę, mamy do czynienia w dolnej części troposfery nazywanej warstwą graniczną (o grubości około 1 km w dzień i kilkuset metrów w nocy). W niej z kolei, największa różnorodność właściwości atmosferycznych, występuje w jej dolnej części nazywanej warstwą przyziemną (o zmiennej grubości około kilkudziesięciu metrów w dzień i kilku metrów w nocy). W prezentowanej pracy jako zasięg zmienności topoklimatycznej przyjęto warstwę przyziemną, a ściślej rzecz biorąc jej górną część, nazywaną warstwą logarymiczną, charakteryzującą się stałością turbulencyjnych strumieni pędu, ciepła i wilgoci (Paszyński i in. 1999).

Paszyński w swojej metodzie rozpatruje odchylenia poszczególnych składników równań: bilansu cieplnego powierzchni czynnej (Wz. 1) i salda promieniowania (Wz. 2) od wartości występujących w tym samym czasie na reprezentatywnym polu wzorcowym (Paszyński 1980, 2004; Paszyński i in. 1999). Miejscami takimi są tereny płaskie, o odsłoniętym horyzoncie, porośnięte roślinnością trawiastą o glebach o średniej wilgotności.

$$Q^* + H + E + G (+ A) = 0$$

Wz. 1

gdzie:

 Q^* – saldo promieniowania, H – turbulencyjny strumień ciepła jawnego (wynik wymiany ciepła pomiędzy powierzchnią graniczną, a atmosferą), E – turbulencyjny strumień ciepła utajonego (wynik wymiany ciepła wskutek parowania i kondensacji wody),

G – strumień ciepła w podłożu (wynik wymiany ciepła pomiędzy powierzchnią graniczną a podłożem na skutek przewodzenia),

A – ciepło wyzwalone sztucznie w trakcie procesów spalania (dla obszarów miejskich i przemysłowych),

$$Q^* = K^* + L^* = K\downarrow - K\uparrow + L\downarrow - L\uparrow \quad \text{Wz. 2}$$

gdzie:

K^* – saldo pochłoniętego promieniowania krótkofalowego (słonecznego),

L^* – saldo promieniowania długofalowego,

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

$K\uparrow$ – promieniowanie słoneczne odbite od podłoża,

$L\downarrow$ – promieniowanie zwrotne atmosfery,

$L\uparrow$ – promieniowanie ciepłne powierzchni czynnej,

Największe zróżnicowanie warunków topoklimatycznych można zaobserwować podczas sezonu wegetacyjnego, w trakcie pogodnych, bezchmurnych i bezwietrznych dni i nocy. Wszelkie odstępstwa pogodowe od przyjętego *status quo* mogą powodować zaburzenia topoklimatów i utrudnić bądź uniemożliwić ich identyfikację.

Wśród najważniejszych czynników wpływających na zróżnicowanie topoklimatów, należy wymienić: morfologię terenu, ekspozycję stoków, charakter szaty roślinnej, zagospodarowanie terenu, budowę geologiczną, hydrografię i charakter pokrywy glebowej (Paszyński 1980; Paszyński i in. 1999; Pielke, Avissar 1990; Kopcińska i in. 2011).

Najważniejszym kryterium przyjętego podziału topoklimatycznego jest obserwowana podczas pogodnych nocy i decydująca o powstawaniu przymrozków radiacyjnych i radiacyjno-adwekcyjnych, względna wartość wymiany ciepła pomiędzy powierzchnią graniczną, a atmosferą w skutek turbulencji (H). Poza nią, dla uszczegółowienia podziału, wykorzystywane były także względne wartości: promieniowania słonecznego padającego (ogólnego) ($K\downarrow$) oraz odbitego ($K\uparrow$), strumienia ciepła pomiędzy powierzchnią graniczną, a podłożem na skutek przewodzenia (G) oraz strumienia ciepła utajonego (E). Ponadto przyjęta klasyfikacja uwzględnia specyfikę: obszarów leśnych, które efektywnie utrudniają promieniowanie ciepłne podłoża w zakresie długofalowym; powszechnie występujących w analizowanym terenie wychodni skalnych oraz obszarów zabudowanych i przemysłowych, na których do równań bilansu ciepła dołącza ciepło generowane i wyzwalone w trakcie procesów spalania (A).

Na podstawie przyjętych założeń, obszar badań podzielono na szereg rozłącznych, homogenicznych obszarów charakteryzujących się występowaniem odmiennych warunków klimatycznych. Były to obszary niezalesione-wypukłe (1); niezalesione-płaskie znajdujące się poza płaskimi odcinkami dolin (2); obszary niezalesione-wklęsłe (3); obszary zalesione (4); obszary zabudowane (5); zbiorniki wodne (6) i wychodne skalne (7). W każdym z wymienionych obszarów wyszczególniono podobszary cechujące się charakterystyczną zmiennością topoklimatów.

Dla obszarów niezalesionych wyodrębniono podobszary cechujące się wysokim względnym poziomem ciepła promieniowanego do atmosfery (H) (w nocy) oraz: względnie wysokim poziomem padającego całkowitego promieniowania słonecznego ($K\downarrow$) (1.1); przeciętnym poziomem $K\downarrow$ (1.2); niskim poziomem ($K\downarrow$) (1.3) i zróżnicowanym poziomem

$K\downarrow$ (1.4) (Paszyński 1980; Paszyński i in. 1999; Caputa 2001, 2009; Caputa, Leśniok 2002; Caputa, Wojkowski 2009). Badania prowadzone przez Kicińską i in. (2001), i stanowiące rozwinięcie klasyfikacji Paszyńskiego dla obszarów górskich, dowiodły odrębności topoklimatów: stromo nachylonych fragmentów stoków do których dociera około 130% padającego promieniowania słonecznego ($K\downarrow$) więcej w stosunku do powierzchni horyzontalnej (1.5); podobszarów charakteryzujących się około 90% ilości padającego promieniowania słonecznego ($K\downarrow$) w stosunku do powierzchni poziomej, co skutkuje obniżeniem średniej temperatury o 2–3°C oraz wzrostem wilgotności o 5–8% w stosunku do analogicznie eksponowanych stoków o nachyleniu niższym od 30° (1.6) oraz podobszarów, w których, w stosunku do powierzchni poziomych dociera około 110% padającego promieniowania słonecznego ($K\downarrow$) więcej (1.7).

Dla niezalesionych-płaskich fragmentów terenu zlokalizowanych poza płaskimi odcinkami den dolin, zdefiniowano topoklimaty, które cechują się przeciętnym poziomem promieniowania ciepła do atmosfery (H) (w nocy) oraz wysoką wartością przewodności cieplnej pomiędzy powierzchnią graniczną, a podłożem (G) (2.1) (na obszarach takich, w okresach pogodnych nocy mogą się tworzyć przygruntowe inwersje temperatury); średnią wartością czynnika G (2.2) oraz niską wartością czynnika G (2.3) (Paszyński 1980; Paszyński i in. 1999; Caputa 2001, 2009; Caputa, Leśniok 2002; Caputa, Wojkowski 2009).

Dla obszarów niezalesionych-wklęsłych zdefiniowano podobszary o relatywnie niewielkich wartościach promieniowania ciepła do atmosfery (H) (w nocy) oraz występujących podczas dnia: względnie wysokich wartościach wymiany ciepła utajonego związanego z parowaniem lub kondensacją pary wodnej (E) (3.1); przeciętnych wartościach czynnika E (3.2) oraz niskich wartościach czynnika E (3.3) (Paszyński 1980; Paszyński i in. 1999; Caputa 2001, 2009; Caputa, Leśniok 2002; Caputa, Wojkowski 2009).

W obszarach zalesionych zdefiniowano podobszary o względnie niskim poziomie promieniowania cieplnego podłoża w zakresie długofalowym (L) oraz: wysokich wartościach całkowitego padającego promieniowania słonecznego ($K\downarrow$) (4.1); przeciętnych wartościach składnika $K\downarrow$ (4.2) i niskich wartościach składnika $K\downarrow$ (4.3) (Paszyński 1980; Paszyński i in. 1999; Caputa 2001, 2009; Caputa, Leśniok 2002; Caputa, Wojkowski 2009). Dodatkowo wyróżniono podobszary (4.4), na których dochodzi do ograniczenia dobowych wahań temperatury przy relatywnie wysokiej wilgotności powietrza. Przy słonecznej pogodzie średnie temperatury są w tych rejonach o około 3°C niższe, a wilgotność o około 10% wyższa niż na podobnych fragmentach lasu suchego (Kicińska i in. 2001). Analogicznie do topoklimatów obszarów niezalesionych (1.5–1.7), określono odpowiednio topoklimaty obszarów zalesionych (4.5–4.7) (Kicińska i in. 2001). Dodatkowo zdefiniowano topoklimat 4.8 cechujący się ograniczonym poziomem wilgotności powietrza i możliwością powstania przymrozków typu adwekcyjnego (Kot 2005, 2006).

Dla obszarów przekształconych antropogenicznie zdefiniowano podobszary, dla których w bilansie cieplnym, pewne znaczenie odgrywa ciepło wyzwalone sztucznie w trakcie procesów spalania (A) oraz które charakteryzują się: wysokimi wartościami wymiany ciepła pomiędzy powierzchnią graniczną, a atmosferą w skutek turbulencji (H) (5.1); przeciętnymi wartościami czynnika H (5.2); oraz niskimi wartościami czynnika H (głównie w nocy) (5.3). W obszarach takich może dochodzić do stagnowania zanieczyszczonego powietrza (Błażejczyk 1992; Paszyński 1980; Paszyński i in. 1999; Caputa, Leśniok 2009).

Dla analizowanego fragmentu powierzchni Ziemi zdefiniowano także topoklimat charakteryzujący się bardzo wysokimi wartościami wymiany ciepła pomiędzy powierzchnią graniczną, a podłożem na skutek przewodzenia (G), a dzięki wysokiej pojemności cieplnej i dobrej przewodności cieplnej, niższymi dobowymi wahaniami temperatury w stosunku do obszarów otaczających (6.1) (Paszyński 1980; Paszyński i in. 1999).

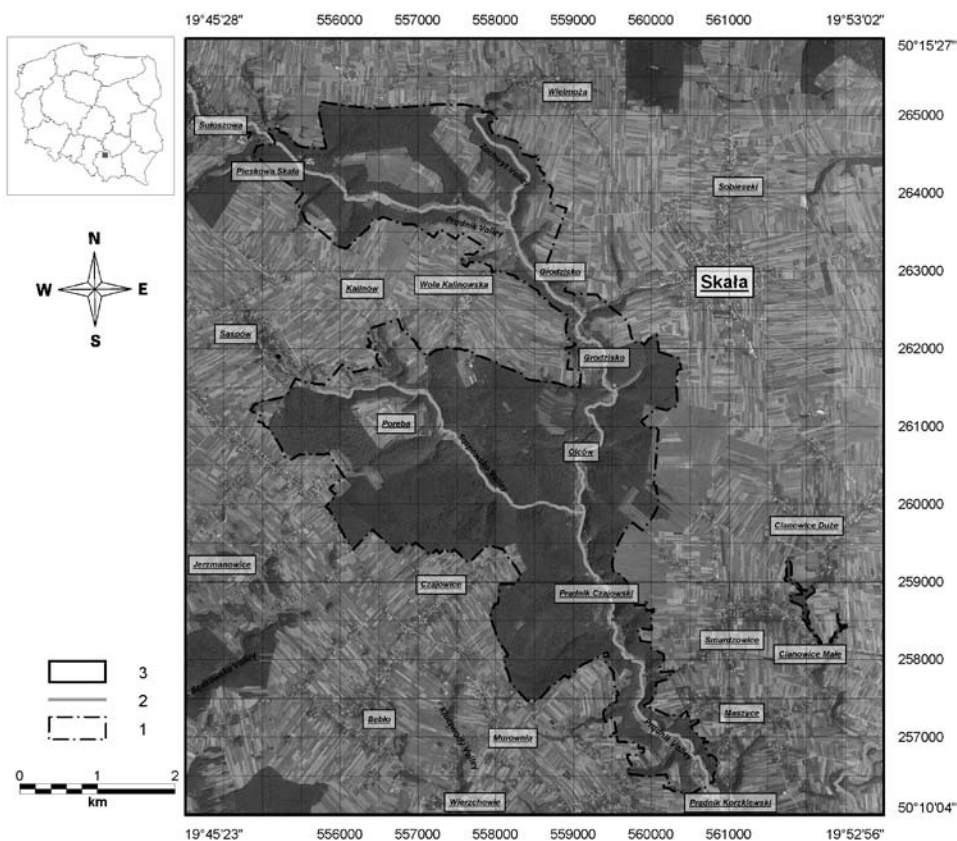
Ostatni zdefiniowany typ topoklimatu stanowiły warunki cechujące się wysokimi wartościami promieniowania słonecznego padającego ($K\downarrow$) i odbitego ($K\uparrow$), niskim poziomem wilgotności powietrza, a także wysokimi wartościami wymiany ciepła pomiędzy powierzchnią graniczną, a podłożem na skutek przewodzenia (G) oraz pomiędzy powierzchnią graniczną, a atmosferą w skutek turbulencji (H) (7.1) (Brzeźniak 1992, 1994–95a, b, 2001; Caputa 2009).

Model opisujący zmienność topoklimatyczną analizowanego obszaru został opracowany z zastosowaniem oprogramowania ArcGis 10.1 (Bartuś 2014). Dane wejściowe stanowiły: cyfrowy model terenu (ryc. 2), mapa zagospodarowania terenu (ryc. 3), mapa kompleksów rolniczej przydatności gleb, mapa porowatości ogólnej gruntów, klasy: cieków powierzchniowych, wychodni skalnych oraz wybrane pierwotne i wtórne atrybuty topograficzne. Rozdzielczość rastra określono zgodnie z metodyką Hengl (2006) na 10 m. Obszar badań obejmował cały zakres mapy (ryc. 1). W badaniach wykorzystywano oprogramowanie Fragstat 4.1 (McGarigal, Marks 1995; McGarigal i in. 2012). Analizie podano obraz zgeneralizowany za pomocą narzędzi ArcGIS *Boundary Clean (Two way, Asc)* oraz *Majority Filter (4, Half)* (Bartuś 2014; Bartuś 2014, w druku). Podstawą opisu struktury zmienności topoklimatycznej OPN stanowiła analiza miar krajobrazowych (McGarigal, Marks 1995; McGarigal i in. 2012).

WYNIKI

Według fizyczno-geograficznego podziału Kondrackiego (2002), Ojcowski Park Narodowy wraz z otuliną należą do podprowincji Wyżyna Śląsko-Krakowska i makroregionu Wyżyna Krakowsko-Częstochowska. Jej centralną część, w której położony jest OPN, stanowi Wyżyna Olkuska. Posiada ona krajobraz charakterystyczny dla wyżynnych obszarów krasowych (Gradziński i in. 2008). Istniejąca rzeźba terenu jest w nim efektem zróżnicowanej podatności skał na erozję oraz następstwem geologicznych procesów modelujących. Jej cechą charakterystyczną jest występowanie wierzchowiny – wyżynnej powierzchni morfologicznej, łączącej spłaszczenia położone powyżej stoków wcięć erozyjnych. Jej wysokość w analizowanym obszarze maleje od około 480 m n.p.m. (w część zachodniej) do około 400 m n.p.m. (w część północno-wschodniej) (ryc. 2). Wierzchowina, jest przykryta pokrywą lessów, spod której wyrastają liczne skałki – ostańce denudacyjne (Pokorny 1963; Alexandrowicz, Alexandrowicz 2003, 2004; Nita 2004).

Powierzchnia wierzchowiny, rozcięta jest licznymi dolinami i stromymi wąwozami, często o charakterze jarów (Dżułyński i in. 1966). Centralną część analizowanego obszaru zajmuje dolina Prądnika, która wraz ze swoim prawym odgałęzieniem – Doliną Sąspowską, na około 100 m wcina się w Płytę Ojcowską. W stromych zboczach dolin i ścianach wąwozów odsłaniają się wapienie jury górnej w facji uławicowej bądź skalistej (Alexandrowicz, Alexandrowicz 2003, 2004; Nita 2004; Gradziński i in. 2008).

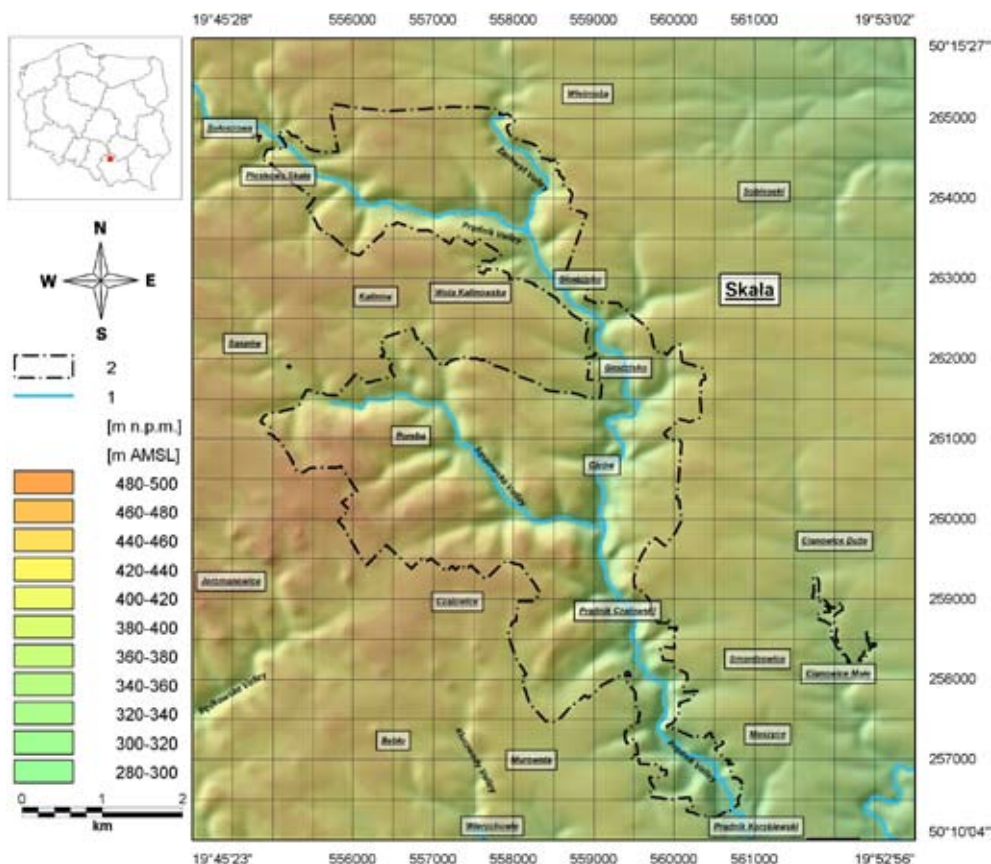


Ryc. 1. Ortofotomapa Ojcowskiego Parku Narodowego (WODGiK Kraków, 2001): 1 – granica OPN; 2 – ciekі powierzcniowe; 3 – obszar badań

Fig. 1. Orthophotomap of Ojców National Park (WODGiK Kraków, 2001): 1 – boundary of ONP; 2 – surface streams; 3 – research area

Analizowany obszar (o łącznej powierzchni 90 km²) pokryty jest siecią ekosystemów (ryc. 3), wśród których największą powierzchnię stanowiły grunty orne i łąki (69,1%) oraz lasy (23,1%), w których dominują: buk (około 31,3%), sosna (około 13,0%), jodła (12,3%), grab (9,1%), jawor (9,3%) i świerk (5,7%). Pozostałe gatunki, jak: brzoza, dąb, jesion, jarzębina i inne, stanowią łącznie około 19,1% drzewostanu (Chwistek 2007). Obszary przekształcone antropogenicznie obejmują łącznie około 7,7% powierzchni analizowanego obszaru. Wśród nich dominują tereny o zabudowie jednorodzinnej (około 7,5%), obszary przemysłowe (około 0,2%) i obszary składowisk odpadów przemysłowych (około 0,1%). Marginalną część krajobrazu omawianego terenu stanowią obszary zbiorników wodnych (gł. stawy rybne) (0,045%).

Zasadniczą część modelowania stanowiło ustalenie zakresów przestrzennych występowania zdefiniowanych typów topoklimatów. Przy ich doborze kierowano się wynikami publikowanych badań klimatologicznych i topoklimatologicznych (Paszyński 1980, 2004; Błażejczyk 1992; Brzeźniak 1992, 1994–95a, b, 2001; Paszyński i in. 1999; Kicińska i in. 2001; Kot 2005, 2006; Caputa 2001, 2009; Caputa, Leśniok 2009; Caputa, Wojkowski 2009).

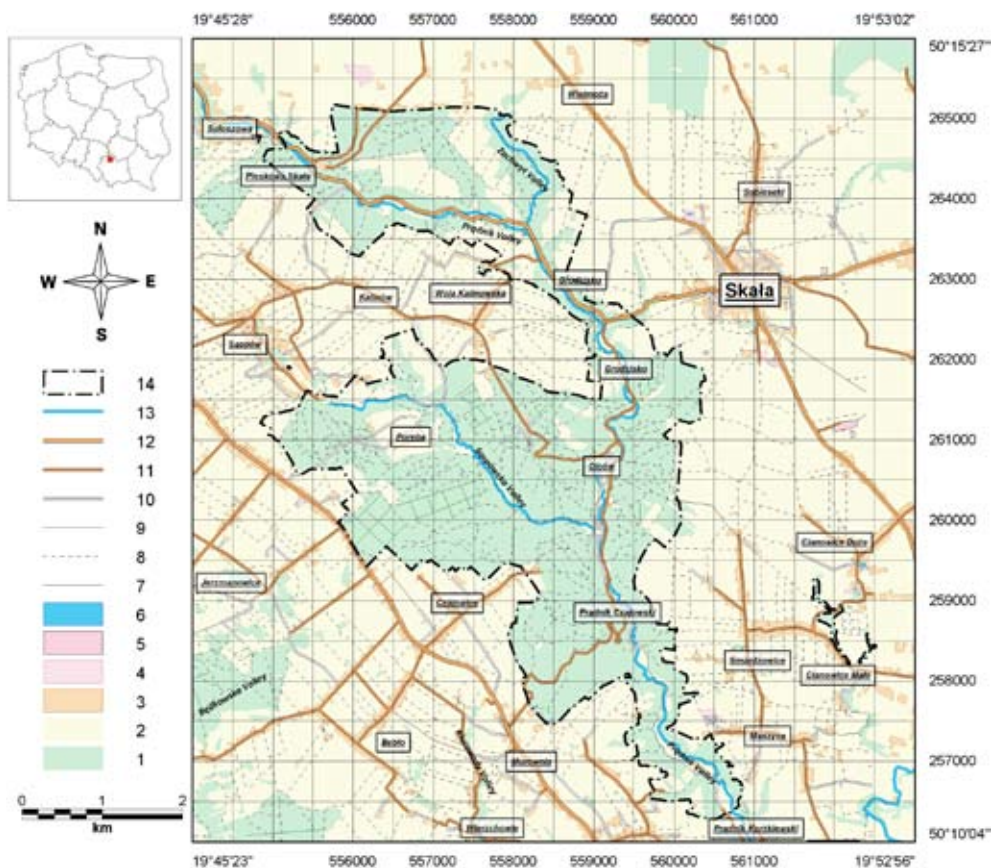


Ryc. 2. Cyfrowy model wysokościowy obszaru OPN: 1 – ciekii powierzchniowe; 2 – granica OPN

Fig. 2. Digital Elevation Model of ONP: 1 – surface streams; 2 – boundary of ONP

Podobszary o typie topoklimatu 1.1 zdefiniowano jako występujące na silnie nasłonecznionych stokach o nachyleniu zboczy 5–30° i wystawie południowej z odchyłkami (S, SW, SE) (tab. 1). Topoklimaty o typie 1.2 opisano jako występujące na zboczach o nachyleniu 5–30°, o ekspozycji zachodniej bądź wschodniej (1.2.1), a także na zboczach o niewielkim nachyleniu, nie przekraczającym 0–5° i wystawach północnych bądź południowych (1.2.2). Podobszary o typie topoklimatu 1.3 stanowiły fragmenty stoków o nachyleniu zboczy 5–30° i wystawach północnych z odchyłkami (N, NW, NE). Podobszary o typie topoklimatu 1.4 zdefiniowano jako miejsca o bardzo urozmaiconej rzeźbie i niewielkim nachyleniu stoków (0–5°) (1.4.1), oraz z na przemian występującymi fragmentami zboczy o różnych wystawach (NW, NE, SW, SE, W, E) (1.4.2). Topoklimaty rozszerzające podział Paszyńskiego i postulowane przez Kicińska i in. (2001), obejmowały fragmenty zboczy o nachyleniu 30–90°, o wystawach: południowej z odchyłkami (S, SW, SE) (1.5); północnej z odchyłkami (N, NW, NE) (1.6); oraz zachodniej bądź wschodniej (W, E) (1.7).

Podobszary o typie 2.1 zostały zdefiniowane jako występujące na rozległych fragmentach wierzchołzin pozbawionych zwartej szaty roślinnej i związane z występowaniem gleb nieporowatych, o wysokim poziomie wilgotności (Paszyński 1980; Paszyński i in. 1999).



Ryc. 3. Użytkowanie ziemi w rejonie OPN: 1 – lasy; 2 – pola uprawne oraz łąki i pastwiska; 3 – zabudowa jedno lub wielorodzinna; 4 – tereny przemysłowe; 5 – składowiska odpadów przemysłowych; 6 – stawy rybne; 7 – przecinki leśne; 8 – drogi gruntowe, polne; 9 – drogi gruntowe, wiejskie; 10 – drogi o nawierzchni utwardzonej; 11 – drogi poboczne; 12 – drogi główne; 13 – ciekі powierzchniowe; 14 – granica OPN

Fig. 3. Land use in the area of ONP: 1 – woodland; 2 – farmland, meadows and pastures; 3 – single- or double-family housing; 4 – industrial areas; 5 – industrial waste sites; 6 – fishponds; 7 – forest tracks; 8 – ground and field roads; 9 – country dirt road; 10 – hard-surfaced roads; 11 – minor road; 12 – main road; 13 – surface streams; 14 – boundary of ONP

Zakwalifikowano tu obszary położone na glebach użytkowanych rolniczo, cechujących się względnie niskim poziomem porowatości ogólnej. Rejony występowania topoklimatu o typie 2.2 opisano jako występujące na fragmentach wierzchołn pozbawionych zwartej szaty roślinnej, o morfologii płaskiej, na których pokrywa glebowa ma charakter średnio porowaty, co utrudnia wypromieniowanie ciepła zakumulowanego w glebie do atmosfery (Paszyński 1980). Zakwalifikowano tutaj obszary położone na glebach użytkowanych rolniczo, bez zwartej szaty roślinnej, o średnim poziomie względnej porowatości ogólnej. Podobszary o typie 2.3 zdefiniowano jako występujące na fragmentach wierzchołn pokrytych glebami o słabym przewodnictwie cieplnym, co najczęściej związane jest z ich wysoką porowatością. Mogą występować także w rejonach pokrytych zwartą szatą roślinną, która w trakcie trwania pogodnych nocy, utrudni wymianę ciepła pomiędzy glebą, a atmosferą.

Tab. 1. Charakterystyka topoklimatów Ojcowskiego Parku Narodowego
 Tab. 1. Characterization of topoclimates of the Ojców National Park

typ topoklimatu topoclimate type	użytkowanie terenu land use	forma morf. morph. form	Geometria zboczy Slopes geometry			albedo	Dzień Day				Noc Night				
			nachylenie – slope	ekspozycja exposure	krzywizna curvature		nachylenie slopes	ekspozycja exposure	albedo	horizon	skł. bilansu ciepłego comp. of the heat balance	saldo promieniowania długotermin thermal radiation	skł. bilansu ciepłego comp. of the heat balance		
1.1.	n.z.	zbocza	5-30°	SE; S; SW	wypukłe	0.16-0.32	$K^* > K^*_{sf}$	$K^* > K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* > K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$H > H_{sf}$			
1.2.1	n.z.	zbocza	5-30°	E; W	wypukłe	0.16-0.32	$K^* > K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$H < H_{sf}$			
1.2.2	n.z.	zbocza	0-5°	N; S	wypukłe	0.16-0.32	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* < K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$H > H_{sf}$			
1.3	n.z.	zbocza	5-30°	N; NE; NW	wypukłe	0.16-0.32	$K^* > K^*_{sf}$	$K^* < K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$H > H_{sf}$			
1.4.1	n.z.	zbocza	0-5°	różne	wypukłe	0.16-0.32	różne	różne	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$H < H_{sf}$			
1.4.2	n.z.	zbocza	różne	SE, SW, E, W, NE, NW	wypukłe	0.16-0.32	różne	różne	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$H > H_{sf}$			
1.5	n.z.	zbocza	30-90°	SE; S; SW	wypukłe	0.16-0.32	$K^* > K^*_{sf}$	$K^* > K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$H > H_{sf}$			
1.6	n.z.	zbocza	30-90°	N; NE; NW	wypukłe	0.16-0.32	$K^* > K^*_{sf}$	$K^* < K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$H > H_{sf}$			
1.7	n.z.	zbocza	30-90°	E; W	wypukłe	0.16-0.32	$K^* > K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$H > H_{sf}$			
2.1	n.z.	wierzchowina*	-	-	plaskie	0.16-0.32	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$H \approx H_{sf}$	$G > H$		
2.2	n.z.	wierzchowina**	-	-	plaskie	0.16-0.32	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$H \approx H_{sf}$	$G \approx H$		
2.3	n.z.	wierzchowina***	-	-	plaskie	0.16-0.32	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$H \approx H_{sf}$	$G < H$		
3.1	n.z.	szer. dna dol.	-	-	wklęsłe	0.12-0.32	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* \approx K^*_{sf}$	$K^* < K^*_{sf}$	$H < H_{sf}$	$E > H$		

3.2	n.z.	suche dna dol.	-	-	-	wklęsłe	0.12-0.32	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* < K_{sf}^*$	$E \approx H$	$H < H_{sf}$
3.3	n.z.	wąsk. dna dol.	-	-	-	wklęsłe	0.12-0.32	$K^* < K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* < K_{sf}^*$	$K^* < K_{sf}^*$	$E < H$	$H < H_{sf}$
4.1	z.	zbocza	5-30°	SE; S; SW	-	różne	~0.17	$K^* > K_{sf}^*$	$K^* > K_{sf}^*$	$K^* > K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$		$L > L_{sf}$
4.2.1	z.	zbocza	5-30°	E; W	-	różne	~0.17	$K^* > K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* > K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$		$L > L_{sf}$
4.2.2	z.	wierzch.	0-5°	-	-	plaskie	~0.17	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* > K_{sf}^*$	$K^* > K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$		$L > L_{sf}$
4.3	z.	zbocza	5-30°	N; NE; NW	-	różne	~0.17	$K^* > K_{sf}^*$	$K^* < K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$		$L > L_{sf}$
4.4	z.	podm. dna dol.	-	-	-	plaskie	~0.17	$K^* < K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* > K_{sf}^*$	$K^* < K_{sf}^*$		$L > L_{sf}$
4.5	z.	zbocza	30-90°	SE; S; SW	-	różne	~0.17	$K^* > K_{sf}^*$	$K^* > K_{sf}^*$	$K^* > K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$		$L > L_{sf}$
4.6	z.	zbocza	30-90°	N; NE; NW	-	różne	~0.17	$K^* > K_{sf}^*$	$K^* < K_{sf}^*$	$K^* > K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$		$L > L_{sf}$
4.7	z.	zbocza	30-90°	E; W	-	różne	~0.17	$K^* > K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* > K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$		$L > L_{sf}$
4.8	z.	suche dna dol.	-	-	-	plaskie	~0.17	$K^* < K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* > K_{sf}^*$	$K^* < K_{sf}^*$		$L > L_{sf}$
5.1	a.	zbocza	różne	różne	-	wypukłe	0.1-0.4	$K^* > K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$	$A > 0$	$H > H_{sf}$
5.2	a.	równiny	-	-	-	plaskie	0.1-0.4	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$	$A > 0$	$H \approx H_{sf}$
5.3	a.	dna dolin	-	-	-	wklęsłe	0.1-0.4	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* < K_{sf}^*$	$A > 0$	$H < H_{sf}$
6.1	w.	zb. wodne	-	-	-	plaskie	0.02-0.59	$K^* \approx K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$	różne	$K^* < K_{sf}^*$	$B > > 0$	$H < 0$; $E < 0$
7.1	s.	zbocza, ostańce,	-	różne	-	różne	~0.45	$K^* > K_{sf}^*$	różne	$K^* < K_{sf}^*$	$K^* \approx K_{sf}^*$		$L > L_{sf}$

Gdzie: n.z. – obszary niezalesione; z. – obszary zalesione; a. – obszary przekształcone antropogenicznie; w. – zbiorniki wodne; s. – wychodnie skalne; * – fragmenty wierzchowyń pobawione gęstej roślinności i związane z występowaniem gęb zwartych (nieporowatych, dobrze uwilgotnionych); ** – fragmenty wierzchowyń pokryte przez gleby średnio zwarte (najczęściej użytkowane rolniczo); *** – fragmenty wierzchowyń pokryte przez gleby porowate suche (piaski, przesuszone torfy); wypukłe – fragmenty zboczy o reliefie wypukłym; plaskie – obszary plaskie; wklęsłe – fragmenty zboczy o reliefie wklęsłym; K^* – saldo promieniowania krótkofalowego występującego na powierzchni przyjętej za standardową, (tzn. plaskiej, o niezastłonym horyzoncie, pokrytej niską roślinnością trawiastą); L_{sf} – saldo promieniowania długofalowego występującego na powierzchni przyjętej za standardową; pozostale oznaczenia jak w tekście.

Where: n.z. – unwooded areas; z. – forest areas; a. – anthropogenically transformed areas; w. – reservoirs; s. – rock outcrops; * – fragments of plateaus devoid of dense vegetation and associated with the occurrence of non-porous soils with high humidity levels; ** – fragments of plateaus devoid of dense vegetation, where the soil cover is medium-porous; *** – fragments of plateaus with soil with weak thermal conductivity, which is usually associated with their high porosity; wypukłe – convex areas; plaskie – flat areas; wklęsłe – concave areas; K^* – balance of the solar radiation; K_{sf}^* – balance of the solar radiation on the representative model area (flat locations with an exposed horizon, covered with herbaceous vegetation on soil with average moisture); L_{sf} – balance of the thermal radiation of the ground for long-term; L_{sf} – balance of the thermal radiation of the ground for long-term on the representative model area; H – the stream of the sensible heat; E – the stream of the heat in the soil; A – the anthropogenic stream.

Obszary takie, cechują się w porównaniu z dwoma poprzednimi, niższym prawdopodobieństwem występowania przymrozków radiacyjnych. Do rejonów cechujących się takim typem topoklimatu zaliczono fragmenty wierzchowin położone na gruntach o wysokiej względnej wartości porowatości ogólnej oraz wszystkie obszary nieużytkowane rolniczo i porastane przez roślinność zwartą (Paszyński 1980; Paszyński i in. 1999).

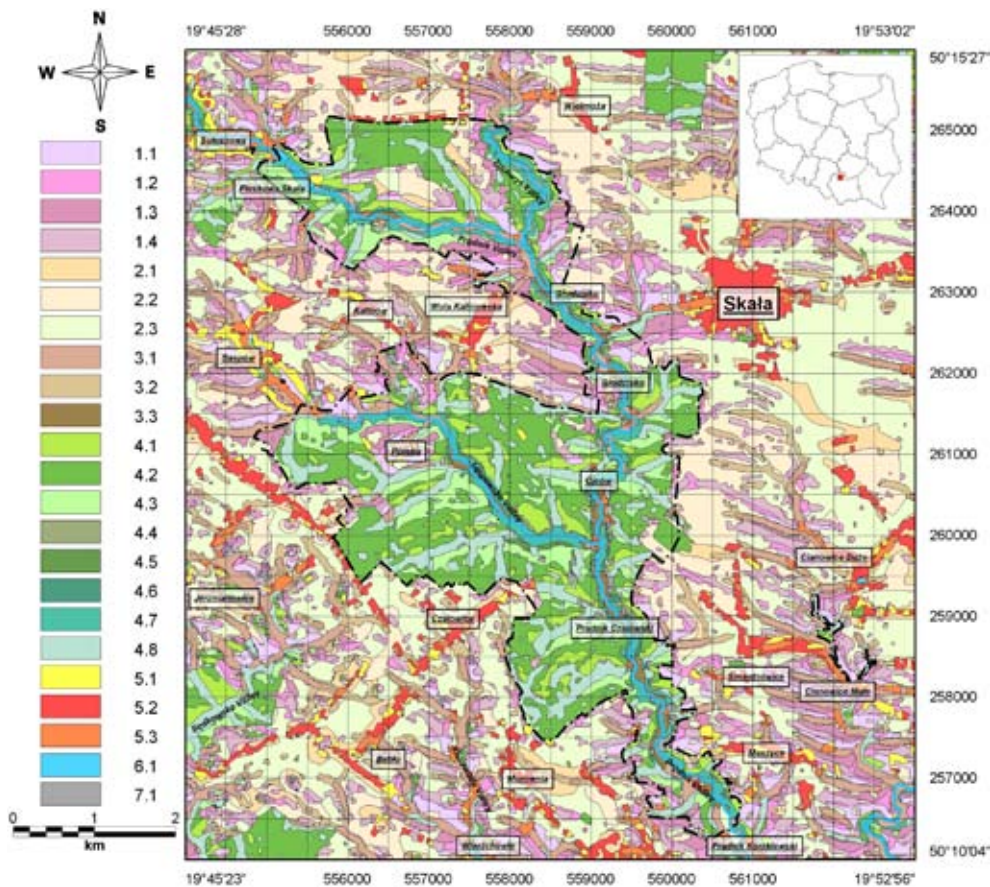
Podobszary o typie topoklimatu 3.1 zdefiniowano jako występujące w szerokich i dobrze przewietrzanych ale wilgotnych dnach dolin, w których, w trakcie pogodnych nocy mogą się tworzyć zastoiska zimnego powietrza, co sprzyja powstawaniu lokalnych przymrozków typu radiacyjno-adwekcyjnego (Paszyński 1980; Paszyński i in. 1999; Caputa 2009). Z powodu obniżenia zwierciadła wód podziemnych i przez to ograniczenia parowania wody, warunki o typie topoklimatu 3.2, spełniały podobszary położone w wyższych częściach szerokich den dolin. Do podobszarów cechujących się występowaniem topoklimatu o typie 3.3 zaliczono wąskie i strome dna dolin i wąwozów. Mały dostęp światła, ogranicza w nich parowanie i w skutek lokalnej adwekcji powoduje tworzenie się zastoisk zimnego powietrza (Paszyński 1980).

Podobszary o typie topoklimatu 4.1 zostały zdefiniowane jako występujące na silnie nasłonecznionych stokach o nachyleniu zboczy 5–30° i wystawie południowej z odchyłkami (S, SW, SE). Rejony o topoklimacie typu 4.2 przypisano zboczom o nachyleniu 5–30°, o ekspozycji zachodniej bądź wschodniej (W, E) (4.2.1), a także zboczom o niewielkim nachyleniu, nie przekraczającym 0–5° (4.2.2). Topoklimat o typie 4.3 przyporządkowano stokom o nachyleniu zboczy 5–30° i wystawach północnych z odchyłkami (N, NW, NE) (Paszyński 1980). Podobszary o typie topoklimatu 4.4 zostały za Kicińska i in. (2001), zdefiniowane jako występujące na obszarze zadrzewionych, podmokłych den dolin. Podobszary występujące w obrębie zalesionych fragmentów stoków o nachyleniu 30–90°, zostały zdefiniowane analogicznie jak w przypadku podobszarów niezalesionych. Topoklimat o typie 4.5 przypisano stokom o ekspozycji południowej z odchyłkami (S, SW, SE); topoklimat o typie 4.6 stokom o wystawie północnej z odchyłkami (N, NW, NE); a topoklimat 4.7 stokom o wystawie zachodniej bądź wschodniej (W, E) (Kicińska i in. 2001). Topoklimat o typie 4.8 przyporządkowano fragmentom suchych den dolin (Kot 2005, 2006).

Podobszary o typie topoklimatu 5 zdefiniowano jako występujące na obszarach przekształconych antropogenicznie. Topoklimat o typie 5.1 przypisano dobrze przewietrzanym zboczom o morfologii wypukłej; topoklimat o typie 5.2 fragmentom terenu położonym na obszarach równinnych; a topoklimat o typie 5.3 wszelkiego typu obniżeniom morfologicznym (doliny, zagłębienia bezodpływowe i inne) (Paszyński 1980; Paszyński i in. 1999).

Podobszary o topoklimacie 6.1 zdefiniowano jako położone w obrębie zbiorników wodnych i ich najbliższego otoczenia, zaś topoklimaty o typie 7.1, zostały opisane zakresem występowania ostańców denudacyjnych i innych wychodni skał.

Algorytm utworzonego modelu składa się z czterech modułów wejściowych, których zadaniem jest obliczenie i klasyfikacja wtórnych atrybutów topograficznych: nachylenia stoków, ekspozycji stoków, krzywizny stoków i zagospodarowania terenu oraz sześciu modułów przetwarzających dane wejściowe i tworzących cząstkowe klasy wynikowe (topoklimaty obszarów: niezalesionych-płaskich, niezalesionych-wklęsłych, niezalesionych-wypukłych, zalesionych, przekształconych antropogenicznie oraz wychodni skał). Efekt modelowania stanowi powstająca w module końcowym syntetyczna mapa topoklimatyczna Ojcowskiego Parku Narodowego (ryc. 4).



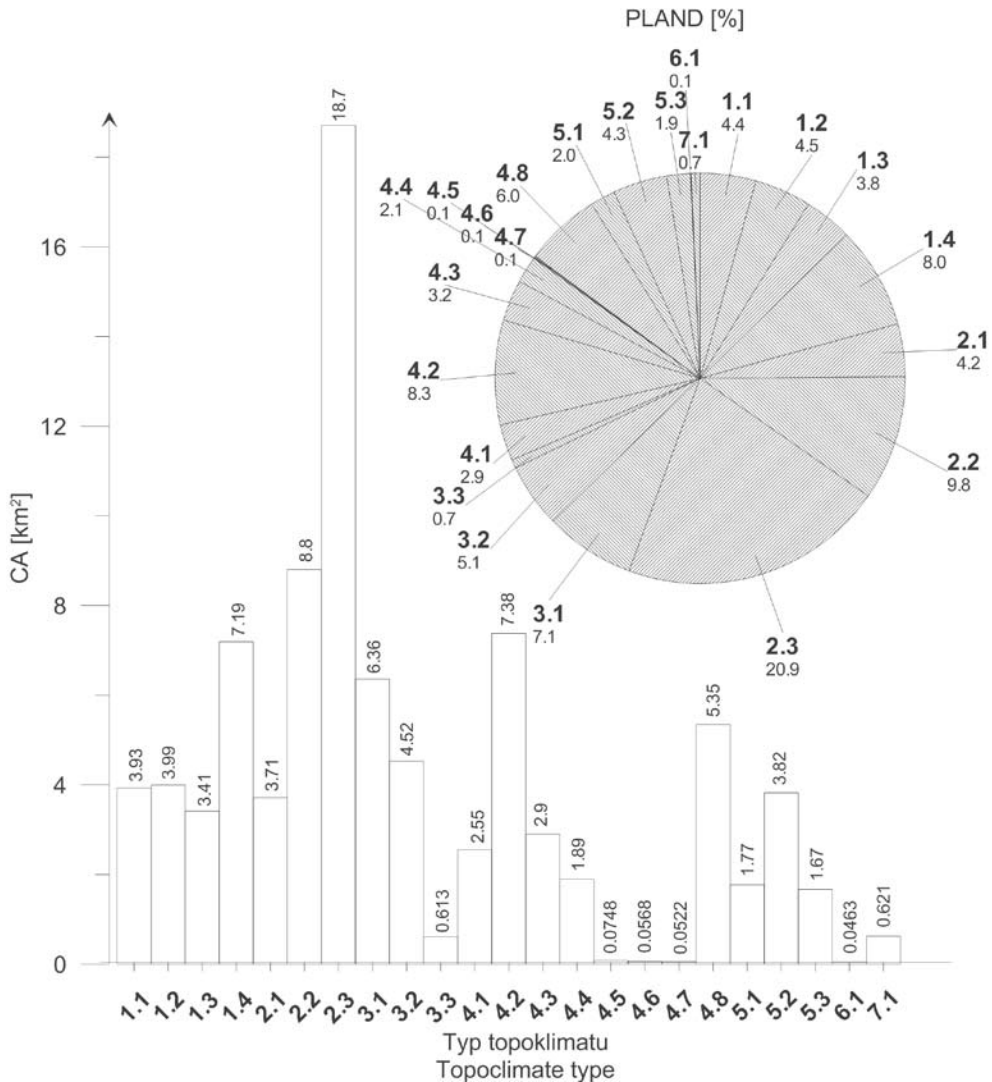
Ryc. 4. Model zmienności topoklimatycznej Ojcowskiego Parku Narodowego (opis w tekście)

Fig. 4. Topoclimatic variability model of Ojców National Park (description in the text)

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Utworzony model zmienności topoklimatycznej rejonu OPN (ryc. 4), zawiera 23 z 26 zdefiniowanych typów wydzielen topoklimatycznych (tab. 1). Na omawianym obszarze nie odnotowano jedynie topoklimatów związanych z silnie nachylnymi i niezalesionymi fragmentami stoków (1.5–1.7). Obserwowane wydzielenia topoklimatyczne występują w łącznej liczbie 7468 płatów. Odpowiada to przeciętnej gęstości wynoszącej około 83 płatów na 1 km². Rozkład wielkości obszarów o określonym typie topoklimatu ma charakter silnie dodatnio asymetryczny, z wyraźnie zaznaczającą się klasą modalną o wielkości pola powierzchni do 5 ha (około 65% wszystkich obserwacji). Przeciętna wielkość płatów estymowana za pomocą mediany wynosi około 0,23 ha. Płat o największej powierzchni zajmował około 4,7% powierzchni całego analizowanego obszaru. Łączna długość wszystkich granic występujących pomiędzy wydzielonymi obszarami topoklimatów wynosiła około 1950 km.

Badania wykazały, że w rejonie OPN przeważają topoklimaty obszarów wierzchwinowych (niezalesione-płaskie znajdujące się poza płaskimi odcinkami den dolin) (2) (ryc. 5). Obejmują one aż około 35% powierzchni analizowanego obszaru. Znacznym udziałem (około 22,6%) zaznaczają się topoklimaty obszarów zalesionych (4). Topoklimaty niezalesionych stoków dolin o reliefie wypukłym (1) obejmują swą powierzchnią około 18,8%, a o reliefie wklęsłym (3) około 12,8%. Wyraźnie niższym poziomem rozprzestrzenienia



Ryc. 5. Obszar zajmowany przez odpowiednie typy topoklimatów: CA – całkowita powierzchnia klasy; PLAND – część obszaru badań zajmowana przez klasę danego typu

Fig. 5. Areas occupied by particular topoclimate types: CA – total (class) area; PLAND – percentage of landscape

charakteryzują się topoklimaty obszarów zurbanizowanych (5) (około 8,1%) i topoklimaty wychodni skał (7) (około 0,7%). Marginalną powierzchnię obszaru, około 0,05%, zajmują topoklimaty związane z występowaniem zbiorników wodnych (6).

Szczegółowa analiza wykazała, że występujące topoklimaty można podzielić na takie które charakteryzowały się znacznym rozprzestrzenieniem (5,0–25% całkowitej powierzchni badań), takie które cechowały się rozprzestrzenieniem średnim (2,5–5,0 %) oraz takie, które występowały w terenie rzadko i na niewielkich przestrzeniach (0–2,5 %). Do pierwszej grupy zaliczono obszary występowania topoklimatu o typach: 1.4 (1.4.1 & 1.4.2); 2.2; 2.3; 3.1; 4.2 (4.2.1 & 4.2.2) oraz 4.8 (ryc. 5), do drugiej: 1.1; 1.2 (1.2.1 & 1.2.2); 1.3; 2.1; 3.2; 4.1; 4.3 i 5.2. Do trzeciej grupy zaliczono obszary o topoklimatach typu: 3.3; 4.4; 4.5; 4.6; 4.7; 5.1; 5.3; 6.1 oraz 7.1.

W analizowanym obszarze, najczęściej występującym rodzajem topoklimatu stanowi typ 2.3. Występuje on na około 21% całej powierzchni. Posiadają go płaskie lub słabo nachylone i niezalesione fragmenty wierzchowiny, położone na gruntach o wysokiej wartości porowatości ogólnej lub na wszystkich obszarach nieużytkowanych rolniczo i porastanych roślinnością zwartą.

Podobnym zakresem przestrzennym (na poziomie około 7–10% powierzchni analizowanego obszaru), cechowały się topoklimaty o typach: 1.4 (8,0%); 2.2 (9,8%); 4.2 (8,3%). Występują one na słabo nachylonych fragmentach wierzchowiny o charakterze wypukłym (1.4); na płaskich fragmentach wierzchowiny położonych na glebach użytkowanych rolniczo, bez zwartej szaty roślinnej i o średnim poziomie względnej porowatości ogólnej (2.2) oraz na zalesionych, słabo nachylonych (0–5°) i różnie eksponowanych bądź średnio nachylonych (5–30°) i eksponowanych na zachód bądź wschód fragmentach zboczy (4.2).

Otrzymane wyniki wskazują, że rejon OPN charakteryzuje się bardzo wysokim poziomem zmienności topoklimatycznej. Najniższym poziomem zmienności charakteryzują się niezalesione fragmenty wierzchowiny. W nawiązaniu do głównego kierunku spływu wód w tym rejonie (z północy na południe i południowy-wschód) (Soja 2008; Baścik, Partyka 2011), duże znaczenie mają też topoklimaty rozwinięte na wschodnich i zachodnich fragmentach zboczy dolin Prądnika, Sąsówki i innych.

Opracowany model zmienności klimatycznej OPN został opracowany z zastosowaniem metodyki GIS i nowoczesnych narzędzi informatycznych. Opracowany algorytm obejmował około 120 różnego rodzaju operacji analitycznych, w trakcie których utworzono około 130 klas pośrednich wykorzystywanych w dalszych obliczeniach. W końcowym etapie prac dokonano syntezy wyników cząstkowych. Obraz wynikowy, poddano procesowi generalizacji.

Opracowana mapa topoklimatyczna może być wykorzystywana w dalszych modelowaniach różnorodnych zjawisk przyrodniczych, np. badaniach morfologicznych, socjologicznych, ekologicznych, geograficznych i geologicznych, realizowanych dla potrzeb zagospodarowania przestrzennego, do obliczania potencjału georóżnorodności i innych.

Realizacja pracy była możliwa dzięki wsparciu finansowemu udzielonemu przez Komitet Badań Naukowych w ramach prac statutowych nr 11.11.140.173.

PIŚMIENNICTWO

Alexandrowicz S.W., Alexandrowicz Z. 2003. *Pattern of karst landscape of the Cracow Upland (South Poland)*. „Acta Carsologica”, **32**, 1: 39–56.

Alexandrowicz S.W., Alexandrowicz Z. 2004. *Ewolucja rzeźby i środowiska Płaskowyżu Ojcowskiego*, [w:] *Zróżnicowanie i przemiany środowiska przyrodniczo-kulturowego Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej*, red. J. Partyka. Tom 1 – Przyroda. Ojców, s. 47–54.

Bartkowski T. 1986. *Możliwości prognozowania układu stosunków topoklimatycznych terenów imisji zanieczyszczeń z powietrza i jej znaczenie w prognozowaniu w aspekcie topoklimatologii*, [w:] *Zastosowania geografii fizycznej*, red. T. Bartkowski. PWN. Warszawa, s. 270–278.

Bartuś T. 2014. *Topoklimaty Ojcowskiego Parku Narodowego*, [w:] *Kalejdoskop GIS*, t. 3, red. A. Kalinowska-Szymczak. Esri Polska Sp. z o.o. Warszawa, s. 102–103.

Bartuś T. (2014, w druku). *Raster images generalization in the context of research on the structure of landscape and geodiversity*. „Geology, Geophysics and Environment”, **3**.

Bańcik M., Partyka J. 2011. *Wody na Wyżynach Olkuskiej i Miechowskiej. Zlewnie Prądnika, Dłubni i Szreniawy*. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Ojcowski Park Narodowy. Kraków-Ojców, ss. 104.

Bednorz E., Kolendowicz L., Szyga-Pluta K. 2001. *Typy topoklimatu Słowińskiego Parku Narodowego*, [w:] *Współczesne Badania Topoklimatyczne*, red. M. Kuchcik. „Dokumentacja Geograficzna”, **23**: 19–32.

Błażejczyk K. 1984. *Metody kartowania topoklimatycznego uzdrowisk*, [w:] *Problemy bioklimatologii uzdrowiskowej*, cz. V, „Dokumentacja Geograficzna”, **1–2**: 89–102.

Błażejczyk K. 1990. *Podstawy wydzielenia biotopoklimatów w skali szczegółowej*, [w:] *Problemy współczesnej topoklimatologii*, red. J. Grzybowski, Conference Papers, 4. Warszawa, s. 166–174.

Błażejczyk K. 1992. *Wpływ urbanizacji na lokalne warunki bioklimatyczne*. „Zeszyty IGiPZ PAN”, **6**: 15–27.

Błażejczyk K. 2001. *Koncepcja przeglądowej mapy topoklimatycznej Polski*, [w:] *Współczesne badania topoklimatyczne*, red. M. Kuchcik. „Dokumentacja Geograficzna”, **23**: 131–142.

Bokwa A., Caputa Z., Durło G., Maciejowski W., Wojkowski J. 2006. *Zróżnicowanie warunków aktywności termicznych i termicznych w południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej*. „Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska”, **10**: 92–99.

Bokwa A., Caputa Z., Durło G., Maciejowski W., Wojkowski J. 2008. *Meso- and microclimatic conditions in the southern part of the Cracow-Częstochowa Upland*, „Electronic Journal of Polish Agricultural Universities”, 11(3), URL: <http://www.ejpau.media.pl/volume11/issue3/art-03.html> (20.01.2015).

Brzeźniak E. 1992. *Rozkład temperatury na powierzchni skałek wapiennych*. „Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne”, **90**: 147–155.

Brzeźniak E. 1994–95a. *Rola rzeźby terenu w kształtowaniu klimatu powierzchni granicznych skałek wapiennych*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **9**: 49–57.

Brzeźniak E. 1994–95b. *Wilgotność przypowierzchniowej warstwy powietrza skałek wapiennych*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **9**: 59–66.

Brzeźniak, E. 2001. *Zróżnicowanie pola termicznego powierzchni skałek wapiennych*, [w:] *Badania naukowe w południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej*, red. J. Partyka. Ojców, s. 24–26.

Brzeźniak E. 2009a. *Struktura czasowa opadów atmosferycznych w Ojcowie*, „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **19**: 53–66.

Brzeźniak E. 2009b. *Zróżnicowanie sum dobowych opadów w Ojcowie*, „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **19**: 67–74.

Brzeźniak E. 2010. *Maksymalne sumy dobowe opadów w Ojcowie (Dolina Prądnika)*. „Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis, Studia Geographica I”, **93**: 160–167.

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

Caputa Z. 2001. *Pomiary bilansu promieniowania różnych powierzchni czynnych przy wykorzystaniu automatycznych stacji pomiarowych*. „Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska”, **45/46**, 11: 95–103.

Caputa Z. 2009. *Kontrasty mezo- i mikroklimatyczne w Ojcowskim Parku Narodowym*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **19**: 195–218.

Caputa Z., Hibszer B., Leśniok M., Partyka J. 2004. *Badania topoklimatyczne oraz zanieczyszczenia wód opadowych na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego*, [w:] *Zróżnicowanie i przemiany środowiska przyrodniczo-kulturowego Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej*, t. 1 – Przyroda, red. J. Partyka. Ojców, s. 143–150.

Caputa Z., Leśniok M. 2001. *Pomiary bilansu promieniowania na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego z wykorzystaniem automatycznych stacji meteorologicznych*, [w:] *Badania naukowe w południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej*, red. J. Partyka. Ojców, s. 27–30.

Caputa Z., Leśniok M. 2002. *Zróżnicowanie mikroklimatyczne w świetle bilansu promieniowania słonecznego na przykładzie Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **13**: 7–31.

Caputa Z., Leśniok M. 2009. *Struktura bilansu promieniowania na obszarach miejskich i wiejskich – system pomiarowy i wybrane wyniki pomiarów na wyżynie Śląsko-Krakowskiej*. „Prace Geograficzne”, **122**: 23–38.

Caputa Z., Wojkowski J. 2009. *Struktura promieniowania w pełnym zakresie widma na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **19**: 119–140.

Chwistek K. 2007. *Kierunki i dynamika zmian składu gatunkowego i struktury drzewostanów Ojcowskiego Parku Narodowego w latach 1990–2003*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **17**: 95–111.

Dżułyński S., Henkiel A., Klimek K., Pokorny J. 1966. *Rozwój rzeźby dolinnej południowej części Wyżyny Krakowskiej*. „Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego”, **36**, 4: 229–343.

Georgi N.J., Zafiriadis K. 2006. *The impact of park trees on microclimate in urban areas*. „Urban Ecosystems”, **9**: 195–209.

Gradziński M., Gradziński R., Jach R. 2008. *Geologia, rzeźba i zjawiska krasowe okolic Ojcowa*, [w:] *Monografia Ojcowskiego Parku Narodowego. Przyroda*, red. A. Klasa, J. Partyka. Ojców, s. 31–95.

Gray M. 2004. *Geodiversity Valuing and Conserving Abiotic Nature*. John Wiley, Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate. Chichester, ss. 495.

Grzybowski J. 1983. *Wyróżnianie i klasyfikacja jednostek przestrzennych wymiany energii na powierzchni czynnej na przykładzie Kotliny Biebrzańskiej*. „Przegląd Geograficzny”, **55**: 2.

Grzybowski J. 1990. *Próba wydzielenia typów topoklimatu na obszarze Polski*, [w:] *Problemy współczesnej topoklimatologii*, red. J. Grzybowski. Conference Papers, 4. Warszawa, s. 34–40.

Hengl T. 2006. *Finding the right pixel size*. „Computers & Geosciences”, **32**: 1283–1298.

Jenny H. 2005. *Factors of soil formation. A System of Quantitative Pedology*. Dover Publications, Inc. New York, ss. 191.

Kicińska B., Olszewski K., Żmudzka E. 2001. *Uwagi o wykorzystaniu klasyfikacji J. Paszyńskiego do kartowania topoklimatycznego (z doświadczeń Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego)*, [w:] *Współczesne badania topoklimatyczne*, red. M. Kuchcik. „Dokumentacja Geograficzna”, **23**: 143–151.

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

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

Klein J. 1992a. *Stosunki termiczno-wilgotnościowe Doliny Sąspowskiej w Ojcowskim Parku Narodowym*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **5**: 21–27.

Klein J. 1992b. *Radiacyjne czynniki klimatu i parowanie w Ojcowskim Parku Narodowym (na przykładzie Doliny Sąspowskiej)*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **5**: 29–34.

Klein J., Niedźwiedz T., Sztylek A. 1966. *Badania mikroklimatyczne na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Ochrona Przyrody”, **31**: 189–201.

Kluge M. 1980. *Metoda konstruowania map topoklimatycznych w skali przeglądowej i jej zastosowania do regionalizacji fizyczno-geograficznej. Metody opracowań topoklimatycznych*. „Dokumentacja Geograficzna”, **3**: 36–49.

Kluge M., Paszyński J. 1973. *Studia nad zbieraniem informacji o środowisku geograficznym Polski w skali przeglądowej*, Problem Węzłowy 11.2.1. grupa temat. 2, dział „Klimat” (XVIII), (Topoklimat), Instytut Geografii PAN. Warszawa, s. 104–117.

Kolendowicz L., Ewa Bednorz E. 2010. *Topoclimatic differentiation of the area of the Słowiński National Park, Northern Poland*. „Quaestiones Geographicae”, **29**, 1: 49–56.

Kondracki J. 2002. *Geografia regionalna Polski*. PWN. Warszawa, ss. 445.

Kopcińska J., Skowera B., Wojkowski J. 2011. *The impact of relief and land use on the diversity of local climate*, [w:] *Mikroklima a mezoklima krajiny struktura antropogennich prostředí*, red. H. Středova, J. Rožnovsky, T. Litschmann. Skalní Mlyn, 2–4.2.2011.

Kot R. 2005. *Ocena georóżnorodności klimatu na przykładzie fordonskiego odcinka doliny dolnej Wisły i jej otoczenia w skali 1:25.000*, [w:] *Struktura przestrzennie-funkcjonalna krajobrazu*, red. A. Szponar, S. Horská-Schwarz. „Problemy ekologii krajobrazu”, **17**: 257–271.

Kot R. 2006. *Georóżnorodność – problem jej oceny i zastosowania w ochronie i kształtowaniu środowiska na przykładzie fordonskiego odcinka doliny dolnej Wisły i jej otoczenia*. Towarzystwo Naukowe w Toruniu, Uniwersytet Mikołaja Kopernika. Toruń, ss. 190.

Kwietniewski W. 1901. *Stacja meteorologiczna w Ojcowie*. „Wszecławiat”, **20**, 15: 238–239.

Małek S., Kizior M. 2004. *Wielkość i chemizm opadów atmosferycznych docierających do powierzchni Chełmowej Góry na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego w latach 1997–2001*, [w:] *Zróżnicowanie i przemiany środowiska przyrodniczo-kulturowego Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej*, t. 1 Przyroda, red. J. Partyka. Ojców, s. 151–156.

McGarigal K., Cushman S.A., Ene E. 2012. *FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps*. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. URL: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html> (20.01.2015).

McGarigal K., Marks B.J. 1995, *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*, USDA Forest Service. Technical Reports, PNW-GTR-351. Portland, ss. 132.

Milewski P. 2011. *Możliwość wykorzystania gis w kartowaniu topoklimatycznym*. „Prace i Studia Geograficzne”, **47**: 521–528.

Millennium Ecosystem Assessment 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC, URL: <http://www.unep.org/maweb/documents/document.356.aspx.pdf> (20.01.2015), ss. 137.

Nearing M. A., Pruski F.F., O’Neal M. R. 2004. *Expected climate change impacts on soil erosion rates: A review*. “Journal of Soil and Water Conservation”, **59**, 1: 43–50.

Nita J. 2004. *Walory krajobrazowe form skalnych na Wyżynie Częstochowskiej*, [w:] *Zróżnicowanie i przemiany środowiska przyrodniczo-kulturowego Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej*, t. 1 – *Przyroda*, red. J. Partyka. Ojców, s. 55–60.

Obrębska-Starkłowa B. 1980. *Z zagadnień metodycznych kartowania stosunków klimatycznych w Beskidach w skali szczegółowej. Metody opracowań topoklimatycznych*. „Dokumentacja Geograficzna”, **3**: 29–35.

Partyka J., Caputa Z. 2009. *Charakterystyka klimatu lokalnego Ojcowskiego Parku Narodowego na podstawie danych archiwalnych oraz badań wykonanych w latach 2008–2009*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **19**: 19–40.

Paszyński J. 1966. *Klimat okolic Pińczowa*, [w:] *Studia geograficzne w powiecie pińczowskim*. „Prace Geograficzne”, **47**: 89–114.

Paszyński J. 1980. *Metody sporządzania map topoklimatycznych*, [w:] *Metody opracowań topoklimatycznych*. „Dokumentacja Geograficzna”, **3**: 13–28.

Paszyński J. 2004. *Wymiana energii na powierzchni czynnej jako podstawa klasyfikacji topoklimatycznej*. „Acta Agrophysica”, **3**, 2: 351–358.

Paszyński J, Miara K., Skoczek J. 1999. *Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego*. „Dokumentacja Geograficzna”, **14**: 1–127.

Pielke R.A., Avissar R. 1990. *Influence of landscape structure on local and regional climate*. „Landscape Ecology”, **4**, 2–3: 133–155.

Pokorny J. 1963. *The Development of Mogotes in the Southern Part of the Cracow Upland*. „Bulletin de L’Academie Polonaise des Sciences Série des Sciences Géologiques et Géographiques”, **11**, 3: 169–175.

Soja R., 2008. *Hydrologia Ojcowskiego Parku Narodowego*, [w:] *Monografia Ojcowskiego Parku Narodowego: Przyroda*, red. A. Klasa, J. Partyka. Ojców, s. 97–120.

Soulé M.E., Wilcox B.A. 1980. *Conservation Biology: An Evolutionary-Ecological Perspective*. Sinauer Associates. Sunderland. Massachusetts, ss. 395.

Thorntwaite C.W. 1953. *Topoclimatology*, Proc. Toronto Meteorological Conference: 227–232.

Várallyay G. 2010. *The impact of climate change on soils and on their water management*. „Agronomy Research”, **8** (Special Issue II): 385–396.

Wojkowski J. 2004. Zróżnicowanie topoklimatyczne w charakterystycznych typach środowiska Ojcowskiego Parku Narodowego, [w:] *Zróżnicowanie i przemiany środowiska przyrodniczo-kulturowego Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej*, t. 1 – Przyroda, red. J. Partyka. Ojców, s. 143–150.

Wojkowski J. 2006. *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. 2007. *Modelowanie składników bilansu promieniowania przy wykorzystaniu GIS oraz zobrazowań teledetekcyjnych*. „Pamiętnik Puławski”, **144**: 155–167.

Wojkowski J. 2009. *Zróżnicowanie przestrzenne pokrywy śnieżnej na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **19**: 89–108.

Wojkowski J., Caputa Z. 2009a. *Modelowanie dopływu promieniowania słonecznego na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **19**: 141–152.

Wojkowski J., Caputa Z. 2009b. *Przestrzenne i czasowe zróżnicowanie albedo na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **19**: 153–168.

Wojkowski J., Caputa Z. 2009c. *Przestrzenne i czasowe zróżnicowanie promieniowania pochłoniętego na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **19**: 169–180.

Wojkowski J., Partyka J. 2009. *Warunki śnieżne w Ojcowie*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **19**: 75–88.

SUMMARY

Ojców National Park (ONP) is the smallest Polish national park (2145.62 ha). It is located in southern Poland on the border of the Małopolska Upland and Silesian-Cracow Upland (Kondracki 2002). Its territory covers the central part of the Prądnik Valley and part of the Sąpowska Valley with adjacent parts of the Jura Plateau (Fig. 1). The environmental plan for that part of the Cracow-Częstochowa Upland was drawn up in 1924 on the initiative of Władysław Szafer (1886–1970), a botanist, professor of the Jagiellonian University in Cracow. Ojców National Park, however, was not established until 1956. At that time, it was the sixth national park in Poland.

The analysed area is an upland split by deep valleys (Fig. 2). The slopes and the surrounding plateau reveal Late-Jurassic limestone deposits forming numerous rock formations, usually denudation monadnocks. These formations are covered with Pleistocene post-glacial formations, dominated by loess covers (Pokorny 1963; Alexandrowicz & Alexandrowicz 2003, 2004; Nita 2004).

The aim of this paper was to develop a methodology and create detailed topoclimatic modelling for the ONP area. The modelling performed applies the commonly (Paszyński 1966; Grzybowski 1983; Obrębska-Starkłowa 1980; Bednorz et al. 2001; Kicińska et al. 2001; Kot 2005, 2006; Kolendowicz & Bednorz 2010) used Paszyński (1980) and Paszyński et al. (1999) method, with modifications by Bartkowski (1986), Kicińska et al. (2001), Kot (2005, 2006), Kolendowicz & Bednorz (2010) and the author's changes.

According to the originator of the method, Paszyński (1980), topoclimatic variability is subject to energy exchange in the so-called boundary surface between the soil and the atmosphere (Kluge & Paszyński 1973; Paszyński 1980, 2004; Paszyński et al. 1999; Bartkowski 1986). Paszyński considers individual components of daytime (Wz. 1) and night-time (Wz. 2) heat balance equations in terms of deviations from values observed at the same time in the representative model area. Such places are flat locations with

an exposed horizon, covered with herbaceous vegetation on soil with average moisture. The greatest diversity of topoclimatic conditions can be observed on clear, cloudless and windless days and nights. All weather deviations from the assumed status quo may cause distortions in local climate patterns and hinder or prevent their identification.

The most important criterion of the adopted topoclimatic division is the relative value of heat exchange between the boundary surface and the atmosphere, which is crucial for the formation of radiation frost (associated with the heat radiating from the soil) and radiation/advective frost observed during clear nights, and which occurs due to turbulence (P). Other than that, to make the division more detailed, the following relative values were also used: incident (general) ($K\downarrow$) and reflected ($K\uparrow$) solar radiation, heat exchange between the boundary surface and soil due to conduction (B) and heat consumption due to evaporation (E). Furthermore, the adopted classification includes the specific features of forest areas that effectively hinder long-term thermal radiation, commonly observed in the analysed areas of rock outcrops, built-up areas and industrial areas, where heat balance equations also have to include the heat generated and released in combustion processes (S).

The model of topoclimatic variation has been developed using the ArcGis software made by ESRI. The algorithm of the generated model includes over 120 operations (mostly classifications and mapping algebra operations). Over 130 indirect classes used for further calculations are created in the course of its operation. In the final stage of modelling, the partial results were synthesized and the resulting image was subjected to a process of generalization.

The created topoclimatic variability model of the ONP area (Fig. 1) includes 23 of the 26 types of early defined topoclimates, excluding topoclimates related to unwooded, strongly inclined slopes of the valleys (1.5–1.7). The observed topoclimate map creates in total 7468 slices. This corresponds to an average density approx. 83 patches on 1 km². The distribution of the size of patches is strongly positively asymmetric, with the clearly emphasized modal class with the size of the surface area 0–5 ha (approx. 65% of all observations). The average size of the patches, estimated using the median is approx. 0.23 ha. The largest patch occupied approx. 4.7% of the whole analyzed area. The total length of all the boundaries that exist between separate topoclimate areas was approx. 1950 km.

Studies have shown that in the ONP region predominate topoclimates of uplands – unwooded-flat areas (except for flat sections of valleys) (2) (Fig. 5). They include up to approx. 35% of the analyzed area. Large surfaces (approx. 22.6%) indicate the topoclimates of forest areas (4). Topoclimates of unwooded-convex slopes of valleys (1) include approx. 18.8% of the surface, and topoclimates of unwooded-concave areas (3) approx. 12.8%. A significantly lower extent characterizes the topoclimates of anthropogenically transformed areas (5) (approx. 8.1%) and topoclimates of rock outcrops (7) (approx. 0.7%). The minimal surface area (approx. 0.05%) was occupied by the topoclimates of reservoirs (6).

In the studied area, the most common topoclimate type is 2.3. It is found at approx. 21% of the total surface and can be observed in regions covered with dense vegetation, which would hinder heat exchange between the soil and the atmosphere during clear nights and lower the probability of radiation frost. Regions characterized by such types of topoclimates include fragments of plateaus located on soil with a high relative total porosity and all areas that are not used for agriculture and which are covered with dense vegetation (Fig. 5) (Paszyński 1980; Paszyński et al. 1999).

A similar level of the spatial extent (at approx. 7–10% of the whole analyzed area), characterizes the topoclimates: 1.4 (8.0%); 2.2 (9.8%); 4.2 (8.3%). Topoclimate 1.4 can be observed in areas with highly diverse relief and slight slope gradients (0–5°) with alternating fragments of slopes with various exposures (NW, NE, SW, SE, W, E). Topoclimate 2.2 can be found in fragments of plateaus devoid of dense vegetation, with a flat morphology, where the soil cover is medium-porous, hindering the radiation of heat accumulated in the soil into the atmosphere. This classification includes areas used in agriculture, without dense vegetation and with an average level of relative total porosity. Topoclimate 4.2 is characteristic of slopes with a gradient of 5–30°, with western or eastern exposure (W, E), and on slopes with a slight gradient of no more than 0–5°.

The obtained results indicate that the ONP area is distinguished by a very high level of topoclimatic variability. The lowest level of differentiation is characteristic of the unwooded fragments of the Ojców plateau. In relation to the main direction of surface streams (from north to south and south-east) (Soja 2008; Baścik & Partyka 2011) the topoclimates which can be observed on the eastern and western parts of the slopes of the Prądnik, Sąspówka and others valleys are of great significance.

The topoclimatic map of the ONP area can further be used for the modeling of various natural phenomena in morphological, zoological, ecological, geographical and geological studies, and to calculate the potential of geodiversity.