

ZMIANY TEMPERATURY MINIMALNEJ POWIETRZA W RÓŻNYCH FORMACH RZEŻBY TERENU NA OBSZARZE PARKU KRAJOBRAZOWEGO DOLINKI KRAKOWSKIE

Grzegorz DURŁO

Akademia Rolnicza w Krakowie, Katedra Ochrony Lasu i Klimatologii Leśnej

Słowa kluczowe: Dolinki Krakowskie, mikroklimat, temperatura minimalna

Streszczenie

W pracy zaprezentowano wyniki badań mikroklimatycznych prowadzonych w latach 2002–2004 w dolinach Będkowskiej, Kobyłańskiej, Kluczwoły i Bolechowickiej, znajdujących się na obszarze Parku Krajobrazowego Dolinki Krakowskie. Wyniki synchronicznych, wielopunktowych pomiarów temperatury powietrza w warstwie przygruntowej wykorzystano do opracowania modelu zróżnicowania temperatury minimalnej w zależności od lokalnych warunków środowiska geograficznego. Najwyższe dodatnie odchylenia temperatury minimalnej wystąpiły na szczytach wzniesień i górnych częściach stromych stoków, natomiast najniższe ujemne – w stanowiskach zlokalizowanych w dnach dolin zamkniętych i dolnych częściach łagodnych i bardzo łagodnych stoków o wystawie południowej.

WSTĘP

Jednym z ważniejszych kierunków badawczych w ostatnich latach są studia nad waloryzacją mikroklimatyczną i topoklimatyczną środowiska geograficznego. Gromadzone od lat informacje dotyczące warunków klimatycznych panujących w obrębie wybranych form terenu stanowią ważne kryterium kształtowania przestrzennego krajobrazu i tworzenia miejscowych planów zagospodarowania [BŁAŻEJCZYK 1990; DURŁO, 2003; 2004; FLEMMING, 1983; HESS, NIEDŹWIEDŹ, OBREBSKA-STARKŁOWA, 1987]. Ważny element badań topoklimatycznych to opra-

Adres do korespondencji: dr inż. G. Durło, Akademia Rolnicza, Katedra Ochrony Lasu i Klimatologii Leśnej, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków; tel. +48 (12) 662-51-42, e-mail: rldurlo@cyf-kr.edu.pl

cowanie prognoz oddziaływania klimatu na dynamikę wzrostu i rozwoju roślin. Jest to możliwe przez określenie częstości i prawdopodobieństwa występowania zjawisk meteorologicznych (głównie ekstremalnych) wpływających na przebieg podstawowych procesów życiowych zachodzących w zbiorowiskach roślinnych.

W nowoczesnych badaniach z zakresu waloryzacji topoklimatycznej wykorzystuje się analizę wielu czynników, w równym stopniu decydujących o przydatności danego terenu do zagospodarowania i użytkowania. Istotnym elementem prac badawczych są metody modelowe, uwzględniające, poza oddziaływaniem bodźców fizycznych, również elementy środowiska geograficznego, takie jak: ukształtowanie terenu, rodzaj i charakter powierzchni czynnej, stosunki wodne i sposób zagospodarowania terenu. Metody te umożliwiają obiektywne wytypowanie miejsc, mających najkorzystniejsze warunki fitoklimatyczne, oraz wyznaczenie w ciągu roku okresów najbardziej sprzyjających wegetacji wybranych grup roślin. Nie zawsze jednak istnieje możliwość objęcia szczegółowym pomiarem i obserwacją całego terenu, będącego przedmiotem naszych zainteresowań. Jednym z powodów może być zbyt duża powierzchnia, drugim – trudności organizacyjne i brak odpowiedniej ilości sprzętu. W związku z tym najczęściej wykonuje się waloryzację wskaźnikową, która – choć nie oddaje pełnego i ciągłego obrazu zmienności badanych elementów – umożliwia uzyskanie wystarczająco dokładnej informacji o typowych układach warunków meteorologicznych na reprezentatywnych powierzchniach. Uzyskane w ten sposób wyniki można wykorzystać do waloryzacji topoklimatycznej obszarów o takim samym lub zbliżonym ukształtowaniu terenu [DURŁO, 2004; OBRĘBSKA-STARKŁOWA, 1980; VYSOUDIL, 1988].

TEREN BADAŃ

Teren badań obejmował rejony dolin: Będkowskiej, Bolechowickiej, Kobyłańskiej oraz Kluczwoły o łącznej powierzchni ok. 25 km² (województwo małopolskie, gmina Krzeszowice, Park Krajobrazowy Dolinki Krakowskie). Należy on do VI Krainy Małopolskiej, dzielnicy 8 – Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej [TRAMPLER i in., 1990]. Wszystkie doliny są położone w obrębie Wyżyny Olkuskiej, monokliny śląsko-krakowskiej, na górnio-jurajskiej płycie wapiennej, na wysokości od 240 do 500 m n.p.m. Charakterystyczną cechą tego terenu są liczne formy dolinowe o umiarkowanym spadku podłużnym, mające w przybliżeniu przebieg południkowy. Strome zbocza zajmują głównie grądy oraz lasy mieszane, w dnach dolin występują grądy oraz brzeziny, znaczny udział mają pola, pastwiska oraz łąki i polany rekreacyjne (łącznie ponad 60%). Niektóre zbocza tworzą strome skalne ściany. Zbocza dolin mają bardzo duże spadki, dochodzące miejscami do 70°. Największe bezwzględne różnice wysokości pomiędzy dnem doliny a jej górną krawędzią wynoszą blisko 90 m (Skała Sokolica), średni spadek terenu w dolinach – 11,0°, średni spadek zboczy dolin – 33,0°. Największy udział mają tereny

o ekspozycji południowo-zachodniej (26,4%), najmniejszy zaś północne i północno-wschodnie (łącznie 6,0%). Doliny zawierają liczne unikatowe formy przyrody nieożywionej oraz roślinne – występuje tam między innymi reliktowy gatunek arktyczno-alpejski – skalnica gronkowa (*Saxifraga paniculata* Mill), ponadto znane są stanowiska krzewiastej brzozy Szafera (*Betula szaferi* Jentys-Szaferowa et Staszko.), uznawanej za polski endemit oraz brzozy ojcowskiej (*Betula x oycoviensis* Besler).

METODY BADAŃ

W latach 2002–2004 na badanym obszarze prowadzono pomiary mikroklimatyczne na 33 stałych powierzchniach doświadczalnych. Wykonano sześć 40-godzinnych serii pomiarowych, w ciepłej części roku (kwiecień–październik). Pomiary mikroklimatyczne wykonywano co godzinę. W celu przeprowadzenia kolejnych serii pomiarów w tych samych miejscach posterunki pomiarowe oznaczono trwale w terenie. W trakcie jednej serii pomiarowej pomiary wykonywały jednocześnie na 12 posterunkach pięcioosobowe zespoły obserwatorów. Stanowiska wyposażono w maszt wolnostojący wysokości 220 cm, na którym umieszczono psychrometr aspiracyjny TB19AI z napędem elektrycznym na wysokości 150 i 5 cm nad glebą, ponadto na maszcie umieszczono termometr minimalny na wysokości 5 cm nad glebą. W trakcie wszystkich serii pomiarowych na rozległej płycie wierzchwinowej w miejscowości Będkowiec działała automatyczna stacja meteorologiczna Vantage Pro2™ z zestawem urządzeń pomiarowych w zakresie odpowiadającym pomiarom wykonywanym na posterunkach mikroklimatycznych. Odczyty ze stacji automatycznej wykonywano co 60 minut. Obserwacje pogodowe wykonywano w trakcie każdej serii pomiarowej na posterunkach zlokalizowanych na otwartej przestrzeni. Porównywalność wyników pomiarów zapewniono przez synchronizację telefonów komórkowych na każdym stanowisku względem urządzenia kontrolnego JM 818MP, odbierającego sygnał radiowy z zegara we Frankfurcie. Czynności te wykonywano przed rozpoczęciem każdej serii pomiarowej, aby termin pomiaru był zgodny na wszystkich stanowiskach pomiarowych. Pomiary wykonywano były przez ok. 40 godzin, w odstępach 60-minutowych, w tej samej ustalonej kolejności.

Powierzchnie badawcze rozmieszczono w terenie, tak by reprezentowały możliwie najbardziej charakterystyczne formy terenu oraz typy środowiska (pola, łąki, pastwiska, polany rekreacyjne, lasy, szlaki turystyczne, trasy rowerowe i spacerowe, punkty widokowe, obozowiska oraz tereny w sąsiedztwie zabudowy mieszkalnej). W lokalizacji stanowisk pomiarowych uwzględniono ponadto profile wysokościowe i zróżnicowanie fitosocjologiczne. Stanowiska pomiarowe na otwartej przestrzeni ustawiono nad jednakową powierzchnią czynną – trawa o wysokości ok. 10 cm.

Rozkład przestrzenny temperatury minimalnej powietrza na wysokości 5 cm nad glebą analizowano na podstawie wartości terminowych z godzin, w których zwykle występowała najniższa w ciągu doby temperatura powietrza. Ocena warunków mikroklimatycznych w zakresie rozkładu przestrzennego minimalnej temperatury powietrza, w wybranych fragmentach terenu, oparto na wynikach badań terenowych i analizie warunków pogodowych w trakcie pomiarów. Pomiarami objęto obszary dolin głównych wraz z dolinami bocznymi oraz płaskowyże rozciągające się między nimi. Oceny rzeźby terenu i stopnia zagospodarowania dokonano na podstawie pomiarów i obserwacji (zdjęcia naziemne, pomiary GPS) oraz materiałów źródłowych w postaci: operatów geodezyjnych, map wysokościowych, fitosocjologicznych i gospodarczych oraz branżowych operatów inwentaryzacyjnych. W terenach znacznie zróżnicowanych pod względem orograficznym i środowiskowym sieć punktów pomiarowych zagęszczono. Do szczegółowego opracowania zmienności przestrzennej przyjęto kryteria klas spadku oddzielnie dla każdej doliny. Za strome uznano te zbocza i stoki, których spadek przekraczał 15° , łagodne – ze spadkiem w przedziale od 3 do 15° , płaskie – ze spadkiem do 3° . Liczba punktów pomiarowych wynosiła w przybliżeniu 3–6 na 1 km^2 . Powierzchnia badawcza obejmowała $0,002 \text{ km}^2$.

Wyniki pomiarów uporządkowano w szeregi chronologiczne, a następnie sprawdzono ich jednorodność, stosując standardowe metody. Dla każdej doby w poszczególnych seriach pomiarowych obliczono różnice między temperaturą minimalną zanotowaną na stanowisku reprezentującym płaską formę terenu (płaskowyż) a wszystkimi pozostałymi stanowiskami zlokalizowanymi w obrębie różnych form terenu. Stanowisko na płaskowyżu zawsze było usytuowane na całkowicie odsłoniętej, płaskiej powierzchni, oddalonej od wszelkich naturalnych i sztucznych przeszkód terenowych. Zestawione w pracy wyniki odchylenia temperatury minimalnej powietrza są wartościami uśrednionymi z 672 pomiarów wykonanych w obrębie stałych powierzchni badawczych na różnych formach terenu. Prawdopodobieństwo wystąpienia przymrozku obliczono na podstawie wyników pomiarów temperatury minimalnej jako iloraz liczby dni z przymrozkami i liczby wszystkich dni, w których wykonywano pomiary. Wartość prawdopodobieństwa podano w procentach.

WYNIKI BADAŃ

Wyniki obliczeń umożliwiły stworzenie modelu zróżnicowania temperatury minimalnej powietrza w różnych formach ukształtowania terenu. Obliczone odchylenia temperatury oraz wartości prawdopodobieństwa wystąpienia przygruntowego przymrozku można wykorzystać do waloryzacji topoklimatycznej dowolnego obszaru o podobnych lub zbliżonych cechach morfologicznych. Największe dodatnie odchylenia temperatury minimalnej występowały na szczytach wzniesień i górnych

częściach stromych stoków, nieco mniejsze na środkowych częściach stromych zboczy o ekspozycji południowej. Najmniejsze ujemne odchylenia stwierdzono na stanowiskach zlokalizowanych w dnach dolin zamkniętych oraz dolnych częściach łagodnych i bardzo łagodnych stoków o wystawie południowej (tab. 1). Największe prawdopodobieństwo wystąpienia przymrozku było na stanowiskach w dnie doliny oraz dolnych częściach łagodnych i bardzo łagodnych stoków w rozszerzonych częściach dolin o niewielkim spadku podłużnym, stosunkowo duże (od 45 do 55%) na odsłoniętych, pozbawionych roślinności fragmentach płaskowyżu i wierzchowin (tab. 1).

Dolinki Krakowskie mają bardzo strome zbocza, których spadek przekracza miejscami 50° , ich wygląd przypomina kanion o dość skomplikowanym przebiegu. Choć większość z nich ma mały spadek podłużny, uchwycenie istotnych różnic w rozkładzie przestrzennym temperatury minimalnej powietrza było dość trudne. Ocenę komplikowała szata roślinna, której rola była najbardziej widoczna w okresie letnim, oraz sztuczne obiekty i urządzenia, mające wpływ na klimat najbliższego otoczenia. W każdej z badanych dolin występowały ponadto nagie formy skalne, stanowiące mniejsze lub większe części stromych zboczy, czasami jako samodzielne ostańce wapienne. Ze względów organizacyjnych, a przede wszystkim bezpieczeństwa nie wykonano pomiarów w obrębie tych form ukształtowania terenu, mając jednak świadomość, że stanowią one odrębne obiekty mikroklimatyczne o różnym wpływie na otoczenie, w zależności od masywności.

DYSKUSJA WYNIKÓW

Badania mikroklimatyczne z wykorzystaniem sieci punktów pomiarowych dostarczają wielu cennych informacji na temat przestrzennego zróżnicowania warunków temperaturowych w przygrunтовой warstwie powietrza. Krótki interwał czasowy oraz synchronizacja pomiarów umożliwiają dodatkowo uzyskanie obrazu dynamicznie zmieniających się w ciągu doby procesów wymiany ciepła między atmosferą i powierzchnią czynną. Przedstawione w pracy względne różnice wartości temperatury minimalnej powietrza wskazują miejsca cieplejsze oraz chłodniejsze wraz z informacją o prawdopodobieństwie wystąpienia przymrozku, co znacznie ułatwia waloryzację terenu wówczas, gdy nie dysponuje się dostateczną ilością aparatury do wykonania kompletnej typologii. Konstrukcja takich modeli na obszarach o skomplikowanej orografii jest trudna. Wymaga ona użycia albo automatycznych czujników pomiarowych (rejestratorów), albo bardzo licznej grupy ludzi jednocześnie wykonujących pomiary. W praktyce często korzysta się z połączenia obu metod, umożliwiających zagęszczenie sieci pomiarowej, co zwiększa znacznie jakość opracowania [BAIGORRIA, BOWEN, 2001; BAIGORRIA, BOWEN, STOORVOGEL, 2000; DURŁO, 2004].

Tabela 1. Odchylenia temperatury minimalnej powietrza w różnych formach rzeźby terenu w stosunku do terenu płaskiego
Table 1. The deviation of minimum air temperature in different landforms from that on flat ground

Forma terenu Landform	Odchylenie temperatury powietrza Deviation of air temperature °C				Prawdopodobieństwo wystąpienia przymrozku Probability of ground frosts %
	2		4		
	wiosna spring	lato summer	jesień autumn		
1		3	4	5	
Płaskowyż, płyta, wierzchowina Plateau, hilltop	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0
Szczyty wzniesień Summits	5,2	3,2	4,1	4,1	15,0
Górną częśći stromych stoków o wystawie północnej Upper parts of north steep slopes	1,5	1,4	1,6	1,6	10,0
Górną częśći stromych stoków o wystawie południowej Upper parts of south steep slopes	3,5	3,1	3,8	3,8	10,0
Górną częśći stromych stoków o wystawie zachodniej Upper parts of west steep slopes	2,7	2,5	3,2	3,2	10,0
Górną częśći stromych stoków o wystawie wschodniej Upper parts of east steep slopes	3,1	2,7	2,9	2,9	10,0
Górną częśći łagodnych stoków o wystawie północnej Upper parts of north gentle slopes	1,5	1,0	1,2	1,2	15,0
Górną częśći łagodnych stoków o wystawie południowej Upper parts of south gentle slopes	2,1	1,8	2,0	2,0	20,0
Górną częśći łagodnych stoków o wystawie zachodniej Upper parts of west gentle slopes	1,5	1,3	1,5	1,5	20,0
Górną częśći łagodnych stoków o wystawie wschodniej Upper parts of east gentle slopes	1,7	1,5	1,5	1,5	20,0

1	2	3	4	5
Środkowe części stromych stoków o wystawie północnej Middle parts of north steep slopes	0,3	1,3	0,2	20,0
Środkowe części stromych stoków o wystawie południowej Middle parts of south steep slopes	3,1	2,6	3,0	25,0
Środkowe części stromych stoków o wystawie zachodniej Middle parts of west steep slopes	1,0	2,2	0,9	20,0
Środkowe części stromych stoków o wystawie wschodniej Middle parts of east steep slopes	0,6	2,5	0,5	15,0
Środkowe części łagodnych stoków o wystawie północnej Middle parts of north gentle slopes	0,3	0,2	0,3	55,0
Środkowe części łagodnych stoków o wystawie południowej Middle parts of south gentle slopes	0,5	0,6	0,5	60,0
Środkowe części łagodnych stoków o wystawie zachodniej Middle parts of west gentle slopes	0,8	0,5	0,6	50,0
Środkowe części łagodnych stoków o wystawie wschodniej Middle parts of east gentle slopes	0,5	0,3	0,5	50,0
Dolne części stromych stoków o wystawie północnej Lower parts of north steep slopes	-1,0	-0,5	-0,8	15,0
Dolne części stromych stoków o wystawie południowej Lower parts of south steep slopes	-3,2	-1,6	-2,9	20,0
Dolne części stromych stoków o wystawie zachodniej Lower parts of west steep slopes	-1,8	-1,1	-1,6	20,0
Dolne części stromych stoków o wystawie wschodniej Lower parts of east steep slopes	-1,7	-1,0	-1,5	15,0
Dolne części łagodnych stoków o wystawie północnej Lower parts of north gentle slopes	-2,1	-0,8	-1,8	60,0

1	2	3	4	5
Dolne części łagodnych stoków o wystawie południowej Lower parts of south gentle slopes	-5,3	-2,6	-4,1	75,0
Dolne części łagodnych stoków o wystawie zachodniej Lower parts of west gentle slopes	-4,0	-2,1	-3,0	70,0
Dolne części łagodnych stoków o wystawie wschodniej Lower parts of east gentle slopes	-3,0	-1,8	-2,7	70,0
Dno zamkniętej doliny Closed valley-bottom	-6,2	-4,3	-5,1	90,0
Dno otwartej doliny Open valley-bottom	-4,1	-3,0	-3,7	95,0

Wykorzystana w terenie liczba posterunków pomiarowych była wystarczająca do uzyskania informacji o wpływie formy terenu na rozkład pionowy i poziomy temperatury minimalnej powietrza. Nie wystarczała ona jednak do pełnego zobrazowania zmienności warunków temperaturowych w miejscach odznaczających się dużym przestrzennym zróżnicowaniem typów roślinności.

Waloryzacja topoklimatyczna dostarcza ważnych informacji mogących wydatnie wspomóc planowanie i organizację produkcji roślinnej, jak również gospodarowanie wszelkimi zasobami środowiska. Modele zróżnicowania temperatury ekstremalnej i pozostałych elementów meteorologicznych umożliwią poszerzenie wiedzy na temat różnorodności klimatycznej terenów ważnych społecznie i gospodarczo, dając początek działaniom zmierzającym do wykorzystania obszarów dotychczas nieudostępionych.

WNIOSKI

1. Model zróżnicowania minimalnej temperatury powietrza może zostać wykorzystany do oceny warunków topoklimatycznych terenów o urozmaiconej rzeźbie i waloryzacji w dowolnej skali czasowej i przestrzennej.

2. Odchylenia temperatury minimalnej powietrza mogą być wykorzystane w opracowaniach kartograficznych, dotyczących przestrzennego rozkładu temperatury minimalnej powietrza na obszarach wyżynnych i górskich, na których nie ma wystarczającej liczby stacji pomiarowych.

LITERATURA

- BAIGORRIA, G., BOWEN W., 2001. A process-based model for spatial interpolation of extreme temperatures and solar radiation. Proc. 3rd Intern. Symp. Systems Approaches for Agricult. Dev. CIP. Symposium Raport (CD-Rom).
- BAIGORRIA, G., BOWEN W., STOORVOGEL J., 2000. Estimating the spatial variability of weather in mountain environments Proc. 3rd Intern. Symp. Systems Approaches for Agricult. Dev. CIP. Nat. Res. Manag. s. 371–378.
- BŁAŻEJCZYK K., 1990. Podstawy wydzielenia biotopoklimatów w skali szczegółowej W: Problemy współczesnej topoklimatologii. Pr. zbior. Red. J. Grzybowski. Conf. Papers 4 s. 166–174.
- DURŁO G., 2003. Typologia mikroklimatyczna Jaworzyny Krynickiej i Doliny Czarnego Potoku. Sylwan 2 s. 58–66.
- DURŁO G., 2004. Waloryzacja mikroklimatyczna i bioklimatyczna – metody badań. W: Zróżnicowanie i przemiany środowiska przyrodniczo-kulturowego Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. T. 1 s. 157–162.
- FLEMMING G., 1983. Klimat–środowisko–człowiek. Warszawa: PWRiL ss. 214.
- HESS M., NIEDŹWIEDŹ T., OBREBSKA-STARKŁOWA B., 1987. Metoda kartograficznego przedstawiania stosunków klimatycznych w górach dla potrzeb planowania przestrzennego. Mater. Ogólnopolskiej Konf. Kartogr. 13 s. 29–40.

- OBREBSKA-STARKLOWA B., 1980. Z zagadnień metodycznych kartowania stosunków klimatycznych w Beskidach w skali szczegółowej. Dokum. Geogr. 3 s. 35–48.
- TRAMPLER T., KLICZKOWSKA A., DMYTERKO E., SIERPIŃSKA A., 1990. Regionalizacja przyrodniczo-leśna na podstawach ekologiczno-fizyczno-geograficznych. Warszawa: PWRiL ss. 157.
- VYSOUDIL M., 1988. Topoclimatic maps construction and its use for landscape research. Sborník pracu Přírodovědecké fakulty Ostravské univerzity 174 Geogr. Geol. 6 s. 165–172.

Grzegorz DURŁO

**CHANGES OF MINIMUM AIR TEMPERATURE
IN DIFFERENT LANDFORMS OF THE DOLINKI KRAKOWSKIE LANDSCAPE PARK**

Key words: Cracow Valleys Landscape Park, microclimate, minimum temperature

S u m m a r y

Applied studies concerning topoclimatic description are an important element in the spatial management of the landscape. One of the aims of these studies is to predict the impact of climate on natural environment by determining the frequency and likelihood of the occurrence of phenomena affecting the basic life processes. The objective of this study was to determine the differentiation of minimum air temperature in Krakowskie Valleys Region. The study area is located in the Dolinki Krakowskie Landscape Park in VI Małopolska Natural Forest Region, 8 – Krakowsko-Częstochowska Upland Subregion. Spatial description of the variability of minimum air temperature of the area under study was based on studies carried out in the years 2002–2003. Most clear contrasts in minimum temperature occurred between the top of heights and valley bottom. The highest probability of the occurrence of ground frosts was in the closed valley-bottoms and in lower parts of gentle slopes; the lowest – in upper parts of steep slopes.

Recenzenci:

prof. dr hab. Krzysztof Błażejczyk

prof. dr hab. Bożena Michalska

Praca wpłynęła do Redakcji 25.05.2005 r.