

Wpływ rzeźby terenu na topoklimat i położenie górnej granicy lasu

Jarosław Baranowski¹, Stanisław Kędzia²

¹ Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk, ul. Twarda 51-55, 00-818 Warszawa, e-mail: j.bar@twarda.pan.pl

² Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk, ul. św. Jana 22, 31-018 Kraków, e-mail: kedzia@zg.pan.krakow.pl

Słowa kluczowe: Tatry, górna granica lasu, rzeźba terenu, średnia roczna temperatura powietrza

Keywords: the Tatra Mountains, upper forest limit, relief, average annual air temperature

Streszczenie

Praca omawia wyniki sondażowych badań dotyczących wpływu rzeźby na topoklimat i tym samym przebieg górnej granicy lasu w Tatrach. Zastosowanie cyfrowych rejestratorów wyposażonych w termistory umożliwiło 12 miesięczny pomiar temperatury powietrza na górnej granicy lasu w Dolinie Suchej Wody w różnych (wklęsłych i wypukłych) formach terenu. Otrzymane wyniki przedstawiają bardzo duże zróżnicowanie temperatury w obrębie badanych form terenu i wskazują na konieczność przeprowadzania pomiarów terenowych przy wyznaczaniu przebiegu izoterm i ich związku z górną granicą lasu. Największym zróżnicowaniem temperatury odznaczały się małe formy terenu.

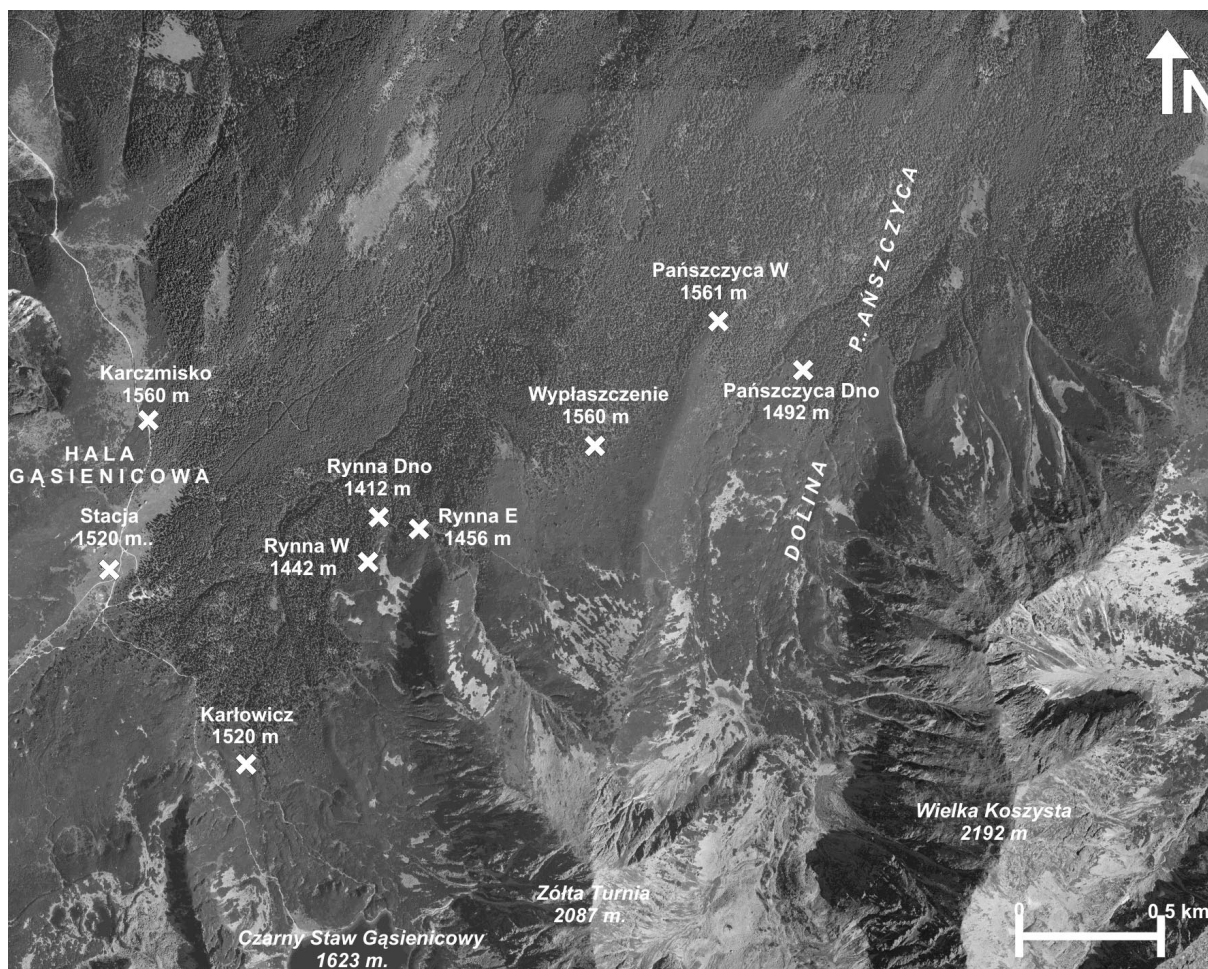
Wprowadzenie

Zagadnienia związane z piętrowością roślinną, zwłaszcza z górną granicą lasu i kosodrzewiny w Tatrach, zostały szeroko opisane w różnych publikacjach (Sokołowski 1928; Fabijanowski 1955; Pawłowski 1972; Myczkowski 1964; Hess 1965, 1974; Szafer 1966; Zientarski 1985; Kotarba 1987; Balon 1991ab, 1995, 2000; Heikinen, Obrębska-Starkłowa, Tuhkanen 1995; Krzemień, Libelt, Mączka 1995; Piękoś-Mirkowa, Mirek 1996; Jodłowski 2007). Autorzy tych prac opisują różne elementy determinujące, w mniejszym lub większym stopniu, przebieg granic poszczególnych pięter. O ile zbadanie przebiegu np. górnej granicy lasu w obecnej dobie technik GIS-owskich, nie sprawia większego problemu i ową granicę można wyznaczyć w warunkach kameralnych z dokładnością do kilku, ewentualnie kilkunastu metrów, to już wyznaczenie przebiegu izoterm rocznych, nawet przy wykorzystaniu technik komputerowych, obciążone jest dużym błędem. Główną przyczyną tego błędu, przy

tak zróżnicowanej rzeźbie i ekspozycji jak w Tatrach, jest brak dostatecznej liczby punktów pomiarowych. Wyznaczanie przebiegu izoterm odbywa się głównie na zasadzie interpolacji i ekstrapolacji danych ze stacji meteorologicznych, bez należytego uwzględnienia wpływu rzeźby na klimat. Spośród cech rzeźby uwzględnia się głównie wyniesienie nad poziom morza i ekspozycję zboczy. Takie podejście prowadzi czasami do błędnych stwierdzeń, podważających zależność przebiegu górnej granicy lasu i kosodrzewiny od granicznych izoterm wyznaczonych przez Hessa w 1965 roku w fundamentalnej pracy, dotyczącej pięter klimatycznych w polskiej części Karpat Zachodnich. W 1997 roku J. Baranowski (2003ab) rozpoczął w Dolinie Suchej Wody pomiary temperatur skrajnych w różnych formach terenu. Pomiary te były kontynuowane przez kilka lat. Natomiast w ciepłym okresie 2007 roku S. Kędzia, za pomocą cyfrowych rejestratorów wyposażonych w termistory, przeprowadził sondażowe pomiary temperatury na górnej granicy lasu w rejonie Hali Gąsienicowej (Kędzia 2010). Wyniki tych pomiarów przeprowadzonych w 4 punktach były tak bardzo obiecujące, że postanowiono kontynuować te badania z zastosowaniem większej liczby rejestratorów i na dłuższym odcinku górnej granicy lasu.

Obszar badań

Na obszar badań wybrano zwartą górną granicę lasu, na odcinku od Karczmiska po Dolinę Pańszczycy, w Dolinie Suchej Wody. Przy wyborze obszaru badań kierowano się nie tylko bliskością stacji na Hali Gąsienicowej, ale również tym, że górna granica lasu na wymienionym odcinku (poza Halą Gąsienicową) nie została, lub została w bardzo niewielkim stopniu, zmieniona przez człowieka. Punkty pomiarowe postanowiono usytuować w miejscach w których owa granica jest uwarunkowana głównie przez klimat, natomiast brak jest istotnego, bezpośredniego wpływu rzeźby (lawiny, spływy gruzowe, duże nachylenie stoku i tym podobnie) na jej przebieg. Wyznaczono 9 punktów w których przeprowadzono całoroczne pomiary temperatury powietrza. Ryc. 1 prezentuje



Ryc. 1. Mapa obszaru badań z zaznaczonymi punktami pomiarowymi

Fig. 1. Map of the study area with the marked measurement sites

Tabela 1. Opis stanowisk pomiarowych

Table 1. Description of the measurement sites

Nazwa stanowiska	Wysokość n.p.m. [m]	Opis formy terenu
Karczmisko	1560	Górna granica lasu, wypukły stok o ekspozycji SE
Karłowicz	1520	Górna granica lasu, dno doliny o przebiegu SN
Rynna W	1442	Górna granica lasu, zachodnia krawędź rynny
Rynna Dno	1412	Górna granica lasu, dno rynny na stoku, ekspozycja NW
Rynna E	1456	Górna granica lasu, wschodnia krawędź rynny
Wyplaszczenie	1560	Górna granica lasu, nie rozczłonkowany stok o małym nachyleniu, ekspozycja NW
Pańszczyca W	1561	Górna granica lasu, górna część zachodniego zbocza doliny
Pańszczyca Dno	1492	Górna granica lasu, dno doliny o przebiegu SE

lokalizację owych punktów, natomiast w tab. 1. podana jest ich bezwzględna wysokość i krótka charakterystyka.

Trzy stanowiska pomiarowe zostały usytuowane we wklęsłych formach terenu:

- w dnie doliny Czarnego Potoku, najszerzej z badanych form (stanowisko o nazwie Karłowicz)
- w dnie Doliny Pańszczycy, dolinie nieco węższej od doliny Czarnego Potoku (stanowisko Pańszczyca Dno)
- w dnie rynny o szerokości kilkudziesięciu metrów i głębokości kilkunastu metrów, najwęższej z badanych form (stanowisko Rynna Dno).

Dwa stanowiska usytuowano na krawędziach (zachodniej i wschodniej) ograniczających wyżej wymienioną rynnę (Rynna W, Rynna E) natomiast jedno stanowisko usytuowano w górnej zachodniej części zbocza Doliny Pańszczycy (Pańszczyca W).

Stanowisko o nazwie Wyplaszczenie, umiejscowiono na nie rozczłonkowanej części stoku Zadniego Uplazu Żółtej Turni o małym nachyleniu, natomiast punkt Karczmisko zainstalowano na wypukłej formie stoku Kopy Magury.

Ostatnie stanowisko o nazwie Stacja znajdowało się w ogródku meteorologicznym stacji meteorologicznej na

Hali Gąsienicowej. Jednakże ze względu na to, że w pozostałych punktach pomiarowych rejestratory były umieszczone w lesie, w odległości kilku metrów od górnej granicy lasu, natomiast na stacji pomiar prowadzony był w ogródku meteorologicznym, nie można wyników pomiarów ze stacji uznać za w pełni porównywalne z innymi punktami pomiarowymi. Z tego powodu zostały one zaprezentowane tylko w tab. 2. W celu pełnej porównywalności wyników ze stacji z pozostałymi punktami pomiarowymi planowane jest w najbliższym czasie zamontowanie kontrolnych stanowisk tuż przed górną granicą lasu.

Metody pomiarów

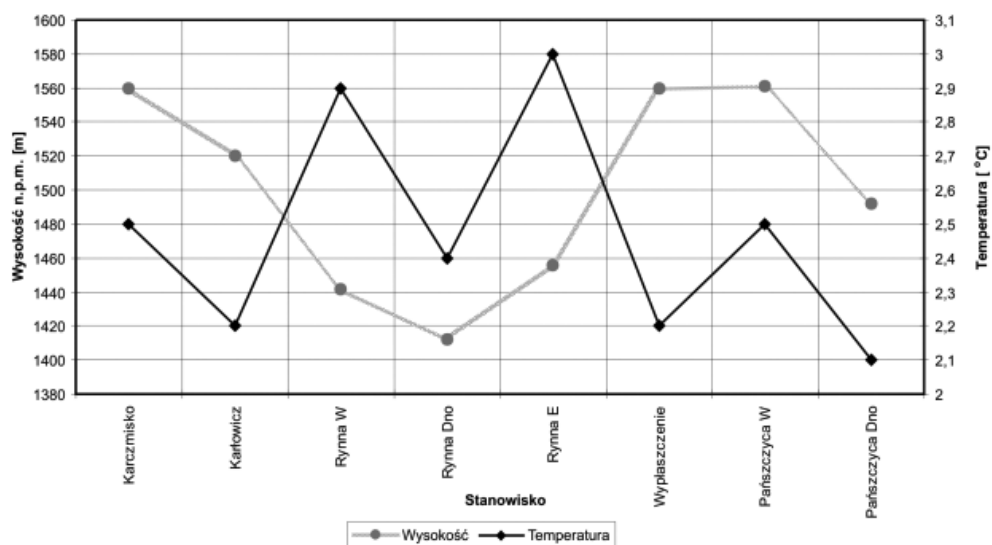
Pomiary zaczęto prowadzić pod koniec maja 2009 roku i są nadal kontynuowane. W niniejszej pracy omówiono wyniki z 12 miesięcy: od początku czerwca 2009 roku do końca maja 2010 roku. Pomiary temperatury powietrza były wykonywane co pół godziny, przez całą dobę, za pomocą cyfrowych rejestratorów HOBO Pro firmy Onset Computers, wyposażonych w termistory o dokładności $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ i rozdzielczości 0.02°C . Rejestratory były podwieszane pod koronami dużych świerków na wysokości 2 m, w odległości około 0.5 m od pnia w kierunku północnym. Dodatkowo każdy rejestrator posiadał specjalną osłonę zabezpieczającą go przed wpływem bezpośredniego promieniowania słonecznego. Przed okresem pomiarowym każdy z rejestratorów był kalibrowany. Różnice wskazań rejestratorów mieściły się w przedziale $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$. Przy ustalaniu współrzędnych stanowisk posługiwano się GPS-ami Garmin Legend HCx oraz Oregon 300.

Wyniki

Ryc. 2 przedstawia zależność średniej temperatury zarejestrowanej na poszczególnych stanowiskach w zależno-

ści od formy terenu i wysokości bezwzględnej. Na stanowiskach Karłowicz, Wyplaszczenie i Pańszczyca W, górna granica lasu sięga najwyżej, bo do wysokości 1560 m n.p.m. Zgodnie z pionowym rozkładem temperatury w atmosferze stanowiska najwyżej ułożone powinny odznaczać się najniższą temperaturą. Jednakże tylko stanowisko Wyplaszczenie charakteryzuje się jedną z najniższych średnią temperaturą powietrza za okres omawianych 12 miesięcy, wynoszącą $2,2^{\circ}\text{C}$ (tab. 2). Ze wszystkich stanowisk najniższą temperaturę zarejestrowano na stanowisku Pańszczyca Dno ($2,1^{\circ}\text{C}$), mimo że jest ułożone na wysokości 1492 m, czyli około 60 m poniżej najwyższych położonych stanowisk. Z kolei najwyższą temperaturą powinny odznaczać się stanowiska najniżej usytuowane. Punkt pomiarowy Rynna Dno, mimo że jest położony około 150 m poniżej najwyższych stanowisk, charakteryzuje niską temperaturą wynoszącą $2,4^{\circ}\text{C}$. Jedynie sąsiednie stanowiska Rynna W i Rynna E usytuowane na krawędziach tej wklęsłej formy, około 40–50 m powyżej punktu Rynna Dno, odznaczają się najwyższą temperaturą wynoszącą odpowiednio $2,9^{\circ}\text{C}$ i $3,0^{\circ}\text{C}$. Porównując temperaturę zarejestrowaną we wklęsłych formach terenu (Rynna Dno, Pańszczyca Dno, Karłowicz) z temperaturą zarejestrowaną na zboczach tych form (Rynna W i Rynna E, Pańszczyca W, Karczmisko) łatwo zauważyć, że dna wklęsłych form charakteryzują się niższą temperaturą niż górna część ich zboczy. Stanowisko Wyplaszczenie, mimo że jest usytuowane na nie rozczłonkowanym stoku, to ze względu na wysokość bezwzględną oraz leżącą powyżej niego wklęsłą formę, odznacza się jedną z najniższych wartości temperatury.

Dla lepszego zobrazowania zróżnicowania temperatury pomiędzy stanowiskami na ryc. 2 średnią temperaturę za 12 miesięcy sprowadzono do wspólnej wysokości 1560 m (najwyższego położenia górnej granicy lasu na badanym odcinku), przy założeniu spadku temperatury wraz z wysokością o $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Z rozkładu



Ryc. 2. Zależność średniej temperatury powietrza za 12 miesięcy od wysokości i formy terenu

Fig. 2. Relationship of the average annual air temperature noted over the 12-month period with the altitude and landform

Tabela 2. Wartości wybranych parametrów temperatury na poszczególnych stanowiskach pomiarowych**Table 2.** Values for the selected parameters of temperature at the particular measurement sites

Nazwa stanowiska	Karłowicz	Karczmisko	Rynna W	Rynna Dno	Rynna E	Wyplaszczenie	Pańszczyca W	Pańszczyca Dno	Stacja
Wysokość n.p.m. [m]	1560	1520	1442	1412	1456	1560	1561	1492	1520
Średnia temp. za 12 miesięcy [°C]	2,5	2,2	2,9	2,4	3,0	2,2	2,5	2,1	2,8
Temp. sprowadzona do wys. 1560 m [°C]	2,5	2,0	2,2	1,5	2,4	2,2	2,5	1,7	2,6
Średnia temp. minimalna [°C]	-0,7	-1,3	-0,3	-1,2	0,3	-0,8	0,0	-1,0	-0,3
Średnia temp. z VI,VII,VIII [°C]	11,1	10,6	11,4	10,9	11,3	10,5	10,8	10,6	11,5

temperatury na tym wykresie wynika, że najniższą temperaturą odznacza się najmniejsza wklęsła forma (Rynna Dno). Nieco wyższą temperaturę posiada średnia pod względem wielkości i głębokości forma dolinna, czyli Pańszczyca Dno. Najwyższą temperaturą z badanych wklęsłych form charakteryzowało się stanowisko Karłowicz, usytuowane w dolinie Czarnego Potoku, największej wklęsłej formie.

W tab. 2 zamieszczono również wartości średniej minimalnej temperatury oraz średniej temperatury z trzech najcieplejszych miesięcy (VI, VII, VIII), obliczonej dla poszczególnych stanowisk. Najniższą średnią temperaturą minimalną odznaczają się, podobnie jak w przypadku średniej temperatury, formy wklęsłe, natomiast najwyższą – ich stoki. Przy czym średnia minimalna temperatura stoków jest bardziej zróżnicowana niż den dolin. Trudno jednak na przykładzie tych trzech form wklęsłych doszukać się jakiejś zależności pomiędzy wielkością formy a wartością średniej temperatury minimalnej.

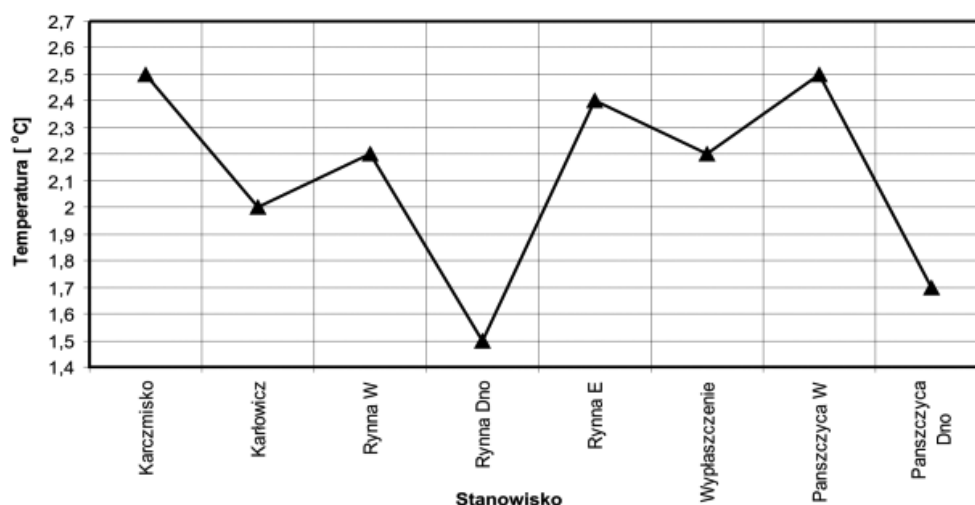
W przypadku średniej temperatury wyliczonej z trzech najcieplejszych miesięcy widać zróżnicowanie pomiędzy dnami form wklęsłych a ich zboczami, jednakże to

zróżnicowanie nie jest tak wyraźne jak w przypadku średniej temperatury wyliczonej z 12 miesięcy. Przykładowo temperatura dna rynny (Rynna Dno) jest wyższa o 0,1°C niż zbocze Doliny Pańszczycy (Pańszczyca W).

Wnioski

Pomiar temperatury powietrza w okresie 12 miesięcy na 8 stanowiskach rozmieszczonych na górnej granicy lasu w różnych formach terenowych, wykazał duże zróżnicowanie pomiędzy dnami tych form a górnymi częściami ich zboczy. Największym zróżnicowaniem charakteryzowała się najmniejsza forma. Różnica pomiędzy średnią temperaturą jej dna i górnej części zbocza wynosiła aż 0,5°C przy różnicy wysokości 30 m (Rynna W i Rynna Dno) i 0,6°C przy różnicy wysokości 44 m (Rynna E i Rynna Dno). W przypadku większych form to zróżnicowanie było mniejsze.

Bardzo duże zróżnicowanie pomiędzy dnami form wklęsłych a ich stokami jest widoczne również w przypadku średniej temperatury minimalnej. Największa różnica pomiędzy stokiem a dnem formy występowała w naj-

**Ryc. 3.** Średnia temperatura powietrza za 12 miesięcy sprowadzona do wspólnej wysokości 1560 m n.p.m.**Fig. 3.** Average annual air temperature noted over the 12-month period reduced to the common altitude 1560 above sea level

mniej szej formie czyli rynnie i wynosiła około 1,5°C przy różnicy wysokości 44 m (Rynna E i Rynna Dno).

Najmniejsze zróżnicowanie wykazała średnia temperatura powietrza wyliczona dla 3 najcieplejszych miesięcy (VI, VII, VIII). Mimo iż w obrębie poszczególnych form stoki były z reguły cieplejsze niż dna dolin, to jednak dno rynny (Rynna Dno) charakteryzowało się wyższą temperaturą niż stok sąsiedniej doliny (Pańszczyca W).

12-miesięczne sondażowe pomiary temperatury powietrza przeprowadzone na górnej granicy lasu, wykazały bardzo duże jej zróżnicowanie w obrębie różnych form terenu i dowodzą, że dokładnego przebiegu izoterm nie można wyznaczyć metodą ekstrapolacji i interpolacji danych ze stacji meteorologicznych, bez pomiarów terenowych uwzględniających różnorodność form terenowych. Pomiary te potwierdzają dotychczas stwierdzoną odrębność topoklimatu den dolin i stoków tatrzańskich (Hess 1965, 1966; Baranowski 2003 a,b). Przeprowadzona w tej pracy analiza związku pomiędzy górną granicą lasu a średnimi charakterystykami temperatury nie pozwoliła znaleźć pełnej odpowiedzi na termiczne uwarunkowania położenia górnej granicy lasu. Być może należy ich szukać w specyfice przebiegów dobowych lub wartościach ekstremalnych temperatury.

Ponieważ są to pierwsze tak szczegółowe pomiary temperatury na górnej granicy lasu w Tatrach, charakteryzujące topoklimat form terenowych konkretnymi wartościami temperatury, badania te należy kontynuować z poszerzeniem liczby badanych form i długości odcinka górnej granicy lasu.

Podziękowanie

Autorzy bardzo serdecznie dziękują prof. dr hab. Adamowi Kotarbie, prof. dr hab. Tadeuszowi Niedźwiedziowi oraz dr inż. Tomaszowi Zwijacz-Kozicy za cenne uwagi dotyczące prowadzonych badań i niniejszej pracy. Autorzy dziękują również Dyrekcji Tatrzańskiego Parku Narodowego za zgodę na prowadzenie badań.

W pracy wykorzystano materiały z państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego na podstawie Zezwolenia Marszałka Województwa Małopolskiego nr 12/2010.

Influence of the relief on topoclimate and location of the upper forest limit

The paper discusses the results of probing studies on the influence of the relief on topoclimate and thereby on location of upper forest limit in the Tatra Mountains. The use of digital registers equipped with thermistors allowed the 12-month period of air temperature measurements around the upper forest limit in the Sucha Woda Valley within the various (concave and convex) landforms. The obtained results present extremely significant diversity of temperature occurring in the studied area and point to the necessity of conducting further

local measurement for determining the isothermal processes and their relationship with the upper forest limit. The small landforms were characterized by the greatest diversity of temperature.

Literatura

- Balon J., 1991a. Piętrowość w środowisku przyrodniczym Tatr. *Czasopismo Geograficzne* 62/4, s. 283–299.
- Balon J., 1991b. From the methodology of distinguishing of vertical Jones in the Tatra Mts. [w:] Theory and practice in landscape ecology, IX International Symposium on Problems of Landscape, Ecological Research. Dudince 1991, s. 199–208.
- Balon J., 2000. Piętra fizycznogeograficzne polskich Tatr. [w:] Obrębska-Starkel B. (red.) *Studies in physical geography*. *Prace Geograficzne*, 105, s. 211–233.
- Balon J., 1995. The upper forest limit in the Tatra Mountains as a physico-geographical line, *Prace Geograficzne UJ*, 98, s. 171–188.
- Baranowski J., 2003a. Dynamika zmian dobowych i zróżnicowanie przestrzenne temperatury powietrza na Hali Gąsienicowej. *Przegląd Geograficzny*, 75/2, s. 271–286.
- Baranowski J., 2003b. Lokalne zróżnicowanie warunków solarnych w Tatrach i jego związki z rzeźbą terenu i szatą roślinną (na przykładzie Hali Gąsienicowej). – praca doktorska – maszynopis, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk, Warszawa, s. 193.
- Fabijanowski J., 1955. Lasy tatrzańskie. [w:] Szafer W. (red.) *Tatrzański Park Narodowy*. Polska Akademia Nauk, Kraków, s. 73–131.
- Heikkinen O., Obrębska-Starkelowa B., Tuhkanen S., 1995. Introduction: the timberline – a changing battlefield. *Prace Geograficzne UJ*, 98, s. 7–16.
- Hess M., 1965. Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, 11, s. 268.
- Hess M., 1966. O mezoklimacie wypukłych i wklęsłych form terenowych w Polsce południowej, *Przegląd Geograficzny*, t. XI (XIX), z. 1.
- Hess M., 1974. Piętra klimatyczne Tatr Polskich. *Czasopismo Geograficzne*, 45, 1, s. 75–95.
- Jodłowski M., 2007. Górna granica kosodrzewiny w Tatrach, na Babiej Górze i w Karkonoszach. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, s.188.
- Kędzia S., 2010. The influence of relief on microclimate and location of the upper tree-limit. *Geographia Polonica* (w druku).
- Kotarba A., 1987. Geoeological belts. [w:] Kotarba A. (red.) High mountain denudational system of the Polish Tatra Mountains. PAN IGiPZ, *Geographical Studies, Special Issue*, 3, s. 48–56.
- Krzemień K., Libelt P., Mączka T., 1995. Geomorphological conditions of the timberline in the Western Tatra Mountains. *Prace Geograficzne UJ*, 98, s. 153–170.

- Myczkowski S., 1964. Struktura i ekologia zespołu świerka *Piccetum tatricum* u górnej granicy zasięgu w Tatrzańskim Parku Narodowym w dolinach Rybiego Potoku, Roztoki, Waksmundzkiej i Pańszczy. *Ochro- na Przyrody*, 28, s. 83–110.
- Pawłowski B., 1972. Szata roślinna gór Polski. [w:] Szafer W. (red.) *Szata roślinna Polski*. II, PWN, Warszawa, s. 189–252.
- Piękoś-Mirkowa H., Mirek Z., 1996. Zbiorowiska roślinne. [w:] Mirek Z. (red.) *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego*. Tatrzański Park Narodowy, Kraków – Zakopane, s. 237–274.
- Sokołowski M., 1928. O górnej granicy lasu w Tatrach. Wydawnictwo Fundacji „Zakłady Kórnickie”, Kraków, s. 188.
- Szafer W., 1966. Dziesięć tysięcy lat historii lasu w Tatrach. *Nauka dla wszystkich*, 1, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, Kraków, s. 34.
- Zientarski J., 1985. Wpływ wzniesienia oraz wielkości masywu górskiego na kształtowanie się górnej granicy lasu w Polsce. *Akademia Rolnicza*, Poznań, s. 153.