

Zróźnicowanie temperatury powietrza na górnej granicy lasu w Dolinie Suchej Wody

Spatial and temporal variability of air temperature on the upper limit of the forest in Sucha Woda Valley

Jarosław Baranowski¹, Stanisław Kędzia²

¹ *Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Zakład Geoekologii i Klimatologii,
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, e-mail: j.bar@twarda.pan.pl*

² *Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Zakład Badań Geośrodowiska,
ul. św. Jana 22, 31-018 Kraków, e-mail: kedzia@zg.pan.krakow.pl*

Streszczenie

W 2007 r. rozpoczęto badania zależności między rzeźbą terenu a temperaturą powietrza przy górnej, zwartej granicy lasu w rejonie Doliny Suchej Wody. Badania prowadzono na stanowiskach usytuowanych na odcinku od stacji Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN na Hali Gąsienicowej po Dolinę Pańszczyca. Ponieważ wszystkie stanowiska pomiarowe znajdowały się w lesie, kilka metrów poniżej jego górnej granicy, w 2011 r. przeprowadzono pomiary porównawcze: w trzech miejscach zlokalizowano stanowiska pomiarowe zarówno tuż poniżej, jak i tuż powyżej górnej granicy lasu. Celem takiego rozmieszczenia punktów pomiarowych było wychwycenie różnic w przebiegu temperatury w lesie i terenie otwartym (kosodrzewinie) przy górnej granicy lasu. Pomiary temperatury powietrza były wykonywane od 26 maja do 24 października 2011 r. – co godzinę, przez całą dobę, za pomocą cyfrowych rejestratorów usytuowanych w dnie i na zboczach wklęsłej formy terenu (w rynnach). Ze wszystkich stanowisk pomiarowych najniższą średnią dobową temperaturę zarejestrowano w lesie w dnie rynn. Jednakże najniższymi wartościami temperatury minimalnej i średniej minimalnej charakteryzowało się stanowisko w dnie rynn w kosodrzewinie. Odznaczało się ono również najwyższą temperaturą maksymalną i średnią maksymalną. Taki rozkład temperatury dowodzi, że największym amplitudom temperatury poddane są rośliny rosnące w dnach wklęsłych form tuż przed zwartą ścianą lasu. Także przed zwartą ścianą lasu występuje najwięcej dni z ujemną temperaturą minimalną. Można więc wnioskować, iż drzewa rosnące tuż poniżej zwartej, górnej granicy lasu mają znacznie korzystniejsze warunki do rozwoju niż pojedyncze drzewa powyżej tej granicy.

Słowa kluczowe: Tatry, górna granica lasu, temperatura powietrza

Abstract

The research dealing with relationships between relief and air temperature in the belt of upper limit of the forest were begun in 2007 in Sucha Woda Valley. The measuring sites were distributed between the research station of the Institute of Geography and Spatial Organization at Hala Gąsienicowa and Pańszczyca Valley. All sites were located few meters below forest-open area border. In 2011 additional sites were established just inside forest and in close open area (covered by dwarf mountain pine – *Pinus mugo*) to examine spatial and temporal dynamic of air temperature changes in different relief units. The measurements were carried out with the digital mini HOBO Pro data loggers from 26 May 2011 till 24 Oct 2011. Air temperature was registered every hour. The lowest mean daily temperature was found for forest growing in the gully bottom. However, the lowest minimum and the highest maximum temperatures and consequently it the greatest amplitude were registered in gully bottom covered by *Pinus mugo*. Open area close to forest limit is also characterised by the greatest number of days with temperature below 0°C. The results suggest that trees inside forests have more suitable microclimatic conditions for growing in comparison to individual trees occurring over upper forest border.

Keywords: Tatra Mts, upper limit of the forest, air temperature

Wprowadzenie

Literatura dotycząca piętrowości roślinnej Tatr jest bardzo bogata, trudno więc wymienić wszystkie prace dotyczące tego zagadnienia. Do najważniejszych publikacji związanych głównie z przebiegiem górnej granicy lasu i kosodrzewiny zaliczyć należy prace M. Sokołowskiego (1928), J. Fabijanowskiego (1955), B. Pawłowskiego (1972),

S. Myczkowskiego (1964), M. Hessa (1965, 1974), W. Szafra (1966), J. Zientarskiego (1985), A. Kotarby (1987), J. Balona (1991a, 1991b, 1995, 2000), O. Heikkinena, B. Obrębskiej-Starkłowej i S. Tuhkanen (1995), K. Krzemienia, P. Libelta i T. Mączki (1995), H. Piękoś-Mirkowej i Z. Mirka (1996) oraz M. Jodłowskiego (2007). Autorzy wskazanych opracowań omawiają różne elementy przyrodnicze determinujące położenie poszczególnych pięter roślinnych.

Największy wpływ na przebieg granic między piętrami przypisywany jest uwarunkowaniom klimatycznym, zwłaszcza temperaturze powietrza (np. Hess, 1965, 1974). W niektórych częściach polskich Tatr położenie górnej granicy lasu tylko w niewielkim stopniu zostało zmienione przez człowieka. Do takich miejsc zaliczyć można rejon Dubrawisk – pomiędzy Doliną Pańszczycy a Halą Gąsienicową w Dolinie Suchej Wody.

Skartowanie przebiegu górnej granicy lasu nie sprawia obecnie trudności. Dzięki użyciu zdjęć lotniczych, numerycznych modeli terenu, GPS-ów i naziemnych skanerów laserowych granicę tę można wyznaczyć z dużą dokładnością. Znacznie trudniej jest wyznaczyć przebieg izoterm. Ponieważ temperatura powietrza zależy od wielu czynników (np. rzeźby terenu, ekspozycji, pokrycia powierzchni), wyznaczenie przebiegu temperatury powietrza na górnej granicy lasu metodą interpolacji i ekstrapolacji danych ze stacji meteorologicznych i posterunków jest często obciążone dużym błędem.

Wstępne badania prowadzone przez J. Baranowskiego (2003a, 2003b) oraz S. Kędzię (2010) potwierdziły potrzebę dokładniejszego zbadania wpływu form terenowych na rozkład przestrzenny temperatury powietrza w Tatrach Wysokich. W tym celu w 2009 r. wzdłuż górnej granicy lasu, od Karczmyska po Dolinę Pańszczycy, rozmieszczono 8 stanowisk pomiarowych, usytuowanych w różnych formach terenowych (Baranowski i Kędzia 2010). Roczne pomiary temperatury powietrza wykazały bardzo duże zróżnicowanie zarówno średniej dobowej temperatury, jak i temperatury minimalnej oraz maksymalnej. Pomiary te wskazują na duże trudności z dokładnym wyznaczeniem przebiegu izoterm metodą ekstrapolacji i interpolacji danych ze stacji meteorologicznych, bez pomiarów terenowych uwzględniających różnorodność form terenu.

Ponieważ wszystkie stanowiska pomiarowe w latach 2009–2010 znajdowały się tuż poniżej górnej granicy lasu (w odległości kilku, maksymalnie kilkunastu metrów), w 2011 r. postanowiono w jednej z wklęsłych form terenu przeprowadzić równoległe pomiary poniżej i powyżej tej granicy. Dzięki takiemu usytuowaniu stanowisk uzyskano informacje o zróżnicowaniu przebiegu temperatury w kosodrzewinie (tuż powyżej zwartej ściany lasu) i w lesie (tuż poniżej zwartej ściany lasu).

Obszar badań

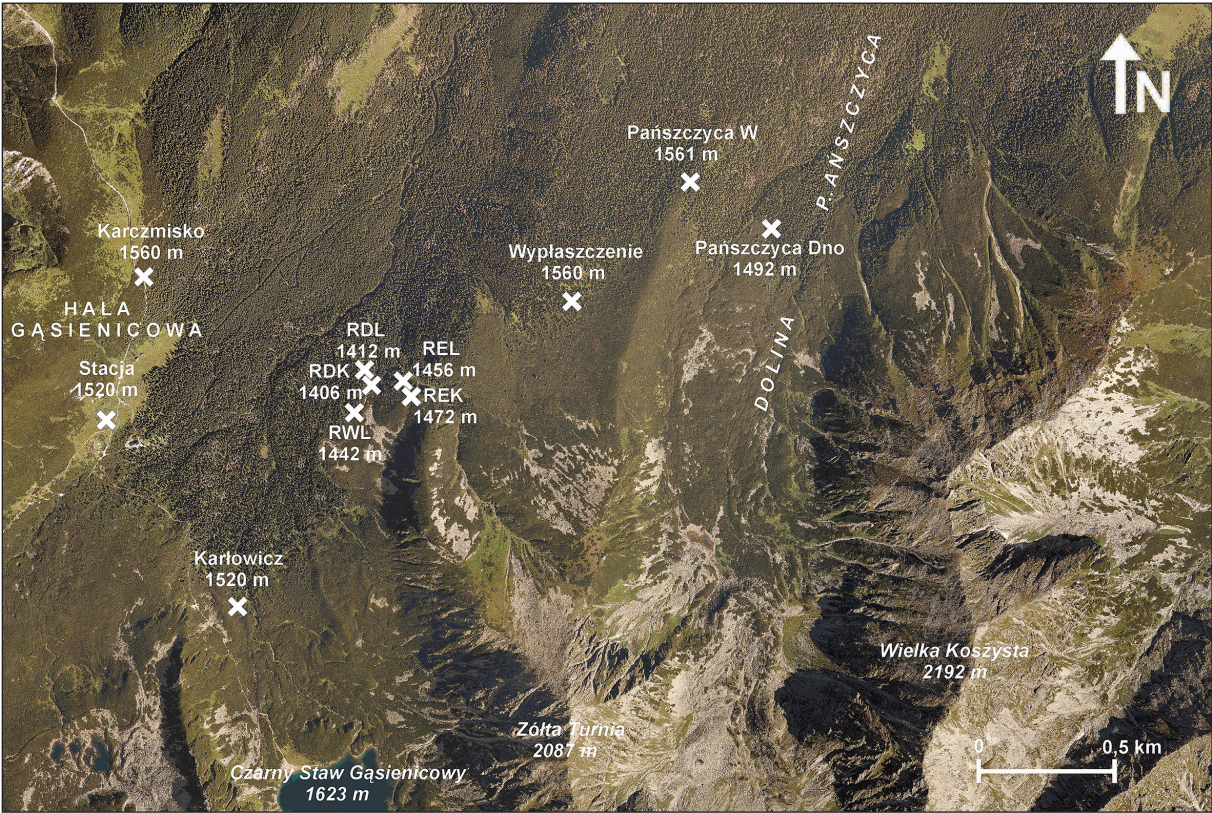
Do badań szczegółowych wybrano wklęsłą formę terenu o nazwie „Rynna”, w której wcześniej prowadzono badania i uzyskano stosunkowo największe zróżnicowanie

wartości temperatury powietrza spośród wszystkich punktów pomiarowych (ryc. 1). W tab. 1 podano wysokość bezwzględną stanowisk pomiarowych i krótką charakterystykę ich usytuowania. Współrzędne i wysokość bezwzględna stanowisk określono za pomocą GPS-u firmy Garmin (model Oregon 300). Ze względu na to, że część stanowisk znajdowała się w lesie, dokładność wyznaczenia ich pozycji na mapie i wysokość (tab. 1) mogą być obciążone większym błędem niż w przypadku stanowisk w kosodrzewinie.

Pomiary temperatury powietrza prowadzono od 26.05 do 24.10.2011 r. przy użyciu cyfrowych rejestratorów HOBO Pro firmy Onset Computers, wyposażonych w termistory o dokładności $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ i rozdzielczości $0,02^{\circ}\text{C}$. Rejestratory usytuowane w lesie podwieszono pod koronami dużych świerków na wysokości 2 m nad gruntem, w odległości ok. 0,5 m od pnia w kierunku północnym. Rejestratory mierzące temperaturę w kosodrzewinie były natomiast zainstalowane na cienkich aluminiowych masztach. Wszystkie rejestratory miały specjalne osłony, zabezpieczające przed wpływem bezpośredniego promieniowania słonecznego (ryc. 2). Przed okresem pomiarowym każde z urządzeń było kalibrowane. Różnice wskazań rejestratorów mieściły się w przedziale $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Pomiar temperatury powietrza odbywał się co pół godziny, przez całą dobę.

Wyniki

Na ryc. 3 oraz w tab. 2 zamieszczono wartości temperatury średniej dobowej, średniej maksymalnej i minimalnej oraz maksymalnej i minimalnej na pięciu stanowiskach znajdujących się w rynnach. Gdy analizuje się wartości temperatury odnotowane w całym okresie obserwacyjnym, łatwo dostrzec, że stanowisko w dnie rynny w kosodrzewinie (RDK) charakteryzuje się najwyższymi wartościami temperatury maksymalnej i średniej maksymalnej oraz najniższymi wartościami temperatury minimalnej i średniej minimalnej. Różnica między temperaturą maksymalną na stanowisku RDK a pozostałymi stanowiskami wynosi od $3,4^{\circ}\text{C}$ do $6,2^{\circ}\text{C}$, a w przypadku średniej temperatury maksymalnej różnica ta mieści się w przedziale $2,2\text{--}3,2^{\circ}\text{C}$. Podobnie jest z temperaturą minimalną: różnica wynosi od $2,6^{\circ}\text{C}$ do ok. $4,5^{\circ}\text{C}$, a dla temperatury średniej minimalnej – od $1,3^{\circ}\text{C}$ do $2,9^{\circ}\text{C}$. Dno rynny, a zwłaszcza stanowisko usytuowane w kosodrzewinie, cechuje się największymi amplitudami temperatury powietrza. Również pod względem temperatury średniej dobowej wymienione stanowiska należą do najzimniejszych. Choć są położone od ok. 30 do ok. 60 m niżej od pozostałych stanowisk (tab. 1) i zgodnie z pionowym rozkładem temperatury powinny być najcieplejsze, zarejestrowana wartość temperatury średniej dobowej jest o ok. $0,5^{\circ}\text{C}$ niższa aniżeli na pozostałych stanowiskach (tab. 2). Taki pionowy rozkład temperatury dowodzi częstego występowania inwersji – mimo niewielkich rozmiarów rynny. Tak niskie wartości temperatury średniej dobowej (ryc. 4) i przede wszystkim temperatury minimalnej (przymrozki) w okresie wegetacyjnym obniżają przebieg górnej granicy lasu (Guzik 2008;



Ryc. 1. Usytuowanie stanowisk pomiarowych w Dolinie Suchej Wody w Tatrach w latach 2009–2010 (x) i w 2011 r. (o)
Fig. 1. Location of measuring sites in Sucha Woda Valley in Tatras in 2009–2010 (x) and in 2011 (o)

Tab. 1. Charakterystyka miejsc pomiarowych
Tab. 1. Characteristic of measuring sites

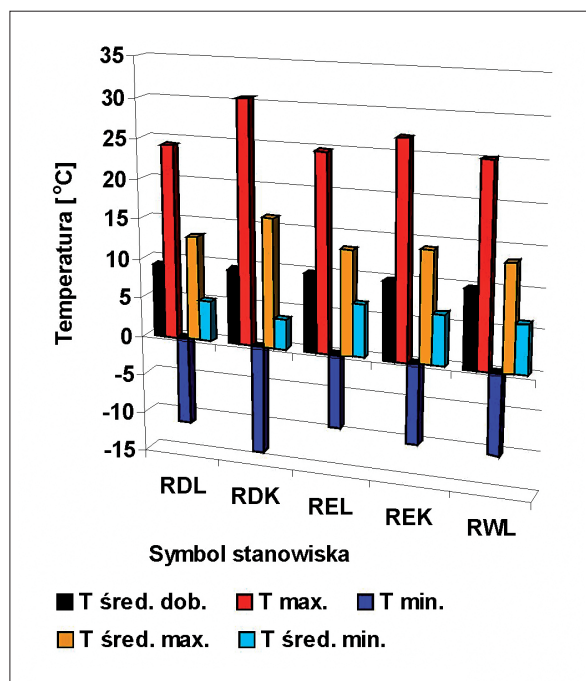
Nazwa stanowiska	Wysokość n.p.m. [m]	Opis formy terenu
Rynna Dno Las (RDL)	1412	górna granica lasu, dno rynny na stoku, ekspozycja NW, stanowisko w lesie
Rynna Dno Kosodrzewina (RDK)	1406	górna granica lasu, dno rynny na stoku, ekspozycja NW, stanowisko w kosodrzewinie
Rynna E Las (REL)	1456	górna granica lasu, wschodnia krawędź rynny, stanowisko w lesie
Rynna E Kosodrzewina (REK)	1472	górna granica lasu, wschodnia krawędź rynny, stanowisko w kosodrzewinie
Rynna W Las (RWL)	1442	górna granica lasu, zachodnia krawędź rynny, stanowisko w lesie



Ryc. 2. Widok stanowiska Rynna Dno Kosodrzewina (RDK)
Fig. 2. View of measuring site Gully Bottom Pinus mugo (RDK)

Czajka, 2012; Michałowicz i in., 2014), co bardzo dobrze widać na ryc. 1. W ostatniej rubryce tab. 2, jako punkt odniesienia, podano te same parametry temperatury dla tego samego okresu zarejestrowane na stacji na Hali Gąsienicowej (1520 m n.p.m.). W trakcie porównywania wartości temperatury ze stacji na Hali Gąsienicowej z wartościami temperatury poszczególnych stanowisk należy mieć na uwadze różnice w wielkości form terenowych, ekspozycji i szacie roślinnej. Pod względem temperatury średniej dobowej wartości zarejestrowane na stacji są prawie takie same jak na stanowiskach usytuowanych na zboczach rynny. W przypadku pozostałych parametrów temperatury ze stacji są zbliżone do tych rejestrowanych na stanowiskach w dnie rynny.

W tab. 2 podano dla poszczególnych stanowisk liczbę dni z temperaturą minimalną niższą od 0°C w całym okresie obserwacyjnym. Najwięcej takich dni, bo aż 29, zarejestrowano na stanowisku RDK. Na innych stanowiskach ta liczba była ok. dwukrotnie mniejsza. Nawet na sąsiednim



Ryc. 3. Wartości temperatury średniej dobowej, średniej maksymalnej i minimalnej oraz maksymalnej i minimalnej na poszczególnych stanowiskach pomiarowych w okresie od 26.05 do 24.10.2011 r.

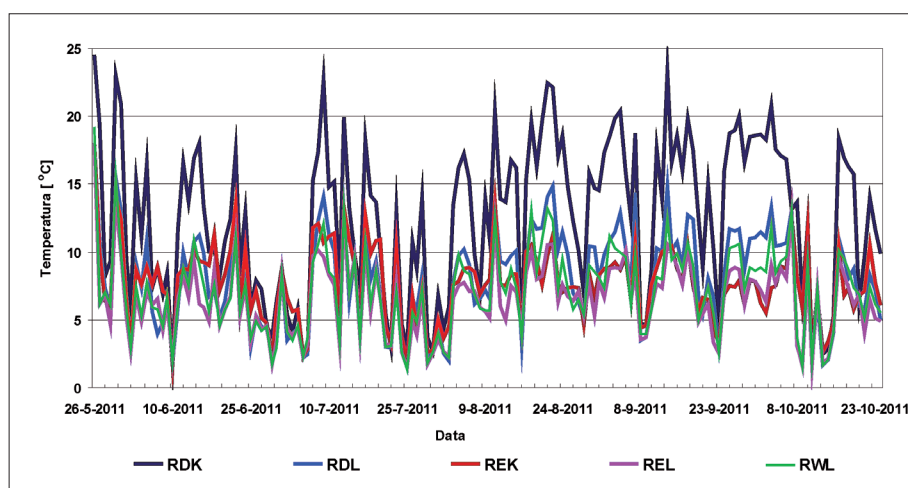
Fig. 3. Values of mean daily, mean maximum and mean minimum as well as highest maximum and lowest minimum air temperature at particular measuring sites from 26.05 till 24.10.2011

stanowisku, czyli w dnie rynny w lesie (RDL), odległym od RDK o ok. 30 m w poziomie i przy różnicy wysokości wynoszącej kilka metrów, liczba dni z temperaturą minimalną niższą od zera wynosiła tylko 16. Dowodzi to bardzo dużego zróżnicowania temperatury – a tym samym warunków siedliskowych – w dnie rynny, na górnej granicy lasu.

Rycina 5 pokazuje, przez jaką część doby temperatura na stanowisku RDK była niższa lub wyższa od temperatury na stanowisku RDL. W nocy, od ok. 21.00 do ok. 5.30, ponad 90% pomiarów wykazało niższą temperaturę w kosodrzewinie niż w lesie. Rano, ok. godz. 9.00, połowa pomiarów na stanowisku w kosodrzewinie wykazała temperaturę wyższą od temperatury w lesie, a druga połowa – temperaturę niższą. Od ok. 12.00 do ok. 15.30 podczas prawie wszystkich pomiarów temperatura w kosodrzewinie była wyższa od temperatury w lesie. Między 19.00 a 19.30 mniej więcej połowa pomiarów wykazała wyższą temperaturę w kosodrzewinie, a druga połowa – w lesie. Do godz. 21.00 wzrastał procentowy udział pomiarów wykazujących wyższą temperaturę w lesie.

Na ryc. 6 widoczna jest różnica temperatury w ciągu doby między stanowiskami RDK i RDL zarejestrowana podczas wszystkich pomiarów. Wartości ujemne oznaczają, że w lesie było cieplej niż w kosodrzewinie, a wartości dodatnie wskazują na sytuację odwrotną. W godzinach nocnych różnica między temperaturą zarejestrowaną w lesie a temperaturą zarejestrowaną w kosodrzewinie w większości pomiarów oscylowała w przedziale od +1 °C do -3°C, w godzinach południowych i popołudniowych wahała się zaś najczęściej od 0°C do +6°C. Największa różnica temperatury między wymienionymi stanowiskami występowała przy dużym osłonecznieniu, najmniejsza – przy pełnym zachmurzeniu połączonym z opadami deszczu.

Na ryc. 7 przedstawiono, jak w ciągu doby kształtowała się temperatura na zboczu o ekspozycji zachodniej



Ryc. 4. Przebieg temperatury średniej dobowej na poszczególnych stanowiskach w całym okresie pomiarowym

Fig. 4. Course of mean daily temperature at particular measuring sites for the entire measurement period

Tab. 2. Wartości temperatury średniej dobowej, średniej maksymalnej i minimalnej oraz maksymalnej i minimalnej na poszczególnych stanowiskach pomiarowych w okresie od 26.05 do 24.10.2011 r.

Tab. 2. Values of mean daily, mean maximum, mean minimum as well as highest maximum and lowest minimum air temperature at particular measuring sites from 26.05 till 24.10.2011

Parametr	Stanowisko					
	RDL	RDK	REL	REK	RWL	HALA
Temp. średnia dobowa [°C]	9,2	9,4	9,8	9,9	9,8	9,9
Temp. maks. [°C]	24,3	30,5	24,8	27,1	25,2	29,5
Temp. min [°C]	-11,1	-13,8	-9,3	-10,2	-10,3	-11,2
Temp. śred. maks. [°C]	13,1	16,3	13,2	14,1	13,4	15,7
Temp. śred. min. [°C]	5,1	3,8	6,7	6,4	6,2	5,5
Liczba dni z temp. min. ujemną	16	29	15	15	16	19
Udział dni z temp. min. ujemną [%]	10,6	19,2	9,9	9,9	10,6	12,5

w kosodrzewinie (REK) w stosunku do temperatury na zboczu o tej samej ekspozycji w lesie (REL). Podobnie jak w dniu rynny (ryc. 5), w nocy temperatura w lesie na stoku E (ryc. 7) była wyższa od temperatury w kosodrzewinie, a w ciągu dnia w kosodrzewinie było cieplej niż w lesie.

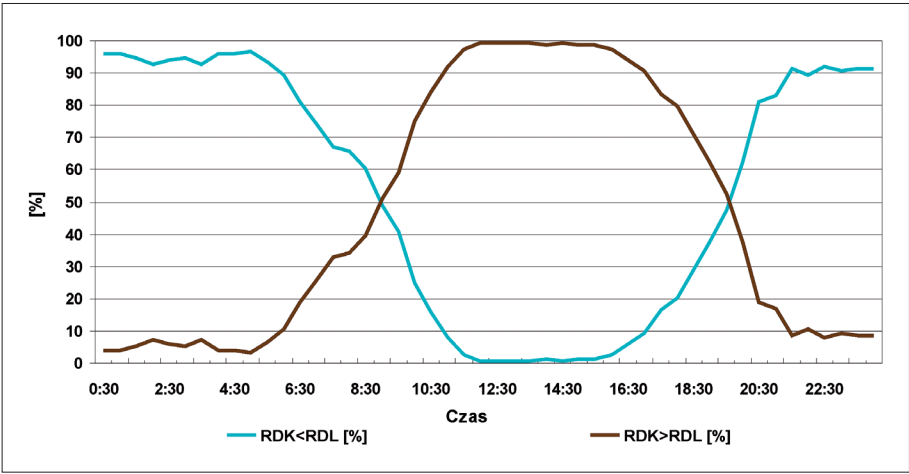
Istotne różnice w przebiegu temperatury między stanowiskami w dniu rynny (ryc. 5) i na stoku o ekspozycji zachodniej (ryc. 7) są widoczne zarówno w nocy, jak i w ciągu dnia. W ponad 90% nocnych pomiarów temperatura w dniu rynny w kosodrzewinie była niższa niż w lesie. Z kolei na stoku o ekspozycji zachodniej temperatura w kosodrzewinie okazała się niższa w ponad 80% pomiarów. W ciągu dnia tylko między godz. 9.30 a 12.00 temperatura w lesie na stoku o ekspozycji zachodniej była w ponad 90% niższa niż w kosodrzewinie. W dniu rynny czas ten okazał się ponad dwukrotnie dłuższy. Na zboczu temperatura w kosodrzewinie w 50% pomiarów była równa temperaturze w lesie – z ok. godzinnym opóźnieniem w stosunku do analogicznych stanowisk w rynnach. Bez wątpienia różnice

te wynikają z różnej ekspozycji i zacienienia. Dno rynny w okolicy stanowisk RDK i RDL jest lekko nachylone w kierunku północnym, a stanowiska REK i REL znajdowały się na stromym zboczu o ekspozycji zachodniej.

Przedstawiona na ryc. 8 różnica w wartościach temperatury między kosodrzewiną a lasem na zboczu o ekspozycji zachodniej ma również nieco inny przebieg niż w dniu rynny. Na omawianej rycinie ok. godz. 7.00 wyraźnie zaznacza się wysokim progiem moment oświetlenia zbocza bezpośrednim promieniowaniem słonecznym. Z kolei w godzinach popołudniowych – wskutek częściowego zacienienia zbocza o ekspozycji zachodniej przez sąsiednie zbocze – przebieg różnicy temperatur jest niejednostajny.

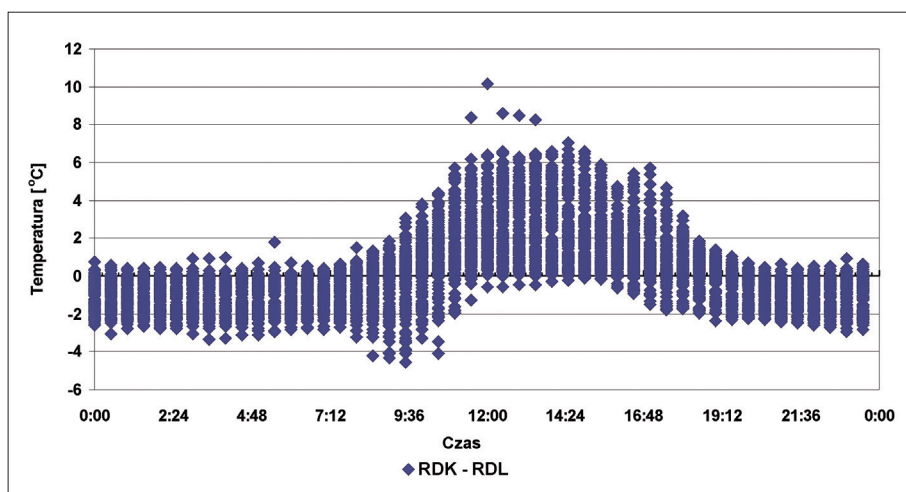
Wnioski

Mimo niewielkich rozmiarów formy o nazwie „Rynna” jej dno odznacza się niższą o ok. 0,5°C średnią dobową



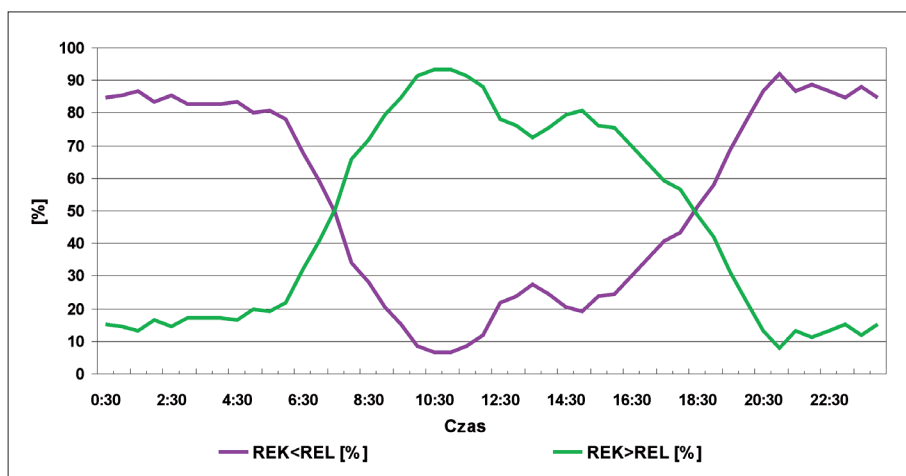
Ryc. 5. Procentowy udział wszystkich pomiarów z temperaturą na stanowisku RDK niższą od temperatury na stanowisku RDL i odwrotnie

Fig. 5. Percentage of measurements with air temperature lower at RDK then at RDL site



Ryc. 6. Różnica w wartościach temperatury powietrza zarejestrowanych na stanowisku pomiarowym w dnie rynny w kosodrzewinie (RDK) i w lesie (RDL). Ujemne wartości oznaczają, że temperatura odnotowana na stanowisku RDK była niższa od temperatury odnotowanej na stanowisku RDL

Fig. 6. Differences in air temperature registered on RDK and RDL sites. Negative values indicate lower temperature registered at RDK site



Ryc. 7. Procentowy udział wszystkich pomiarów z temperaturą na stanowisku REK niższą od temperatury na stanowisku REL i odwrotnie

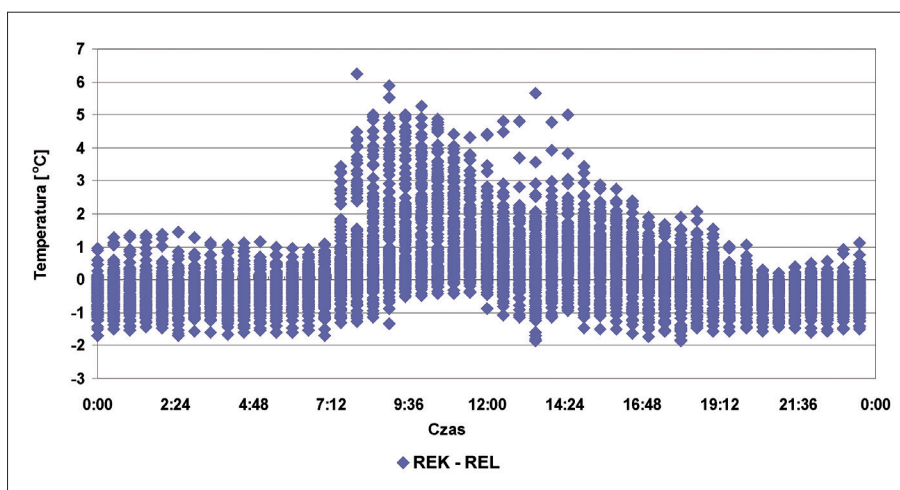
Fig. 7. Percentage of measurements with air temperature lower at REK then at REL site

temperaturą powietrza niż wyżej położone zbocza. Ze wszystkich 5 stanowisk pomiarowych najniższą średnią dobową temperaturę zarejestrowano na stanowisku usytuowanym w lesie w dnie rynny. Jednakże najniższymi wartościami temperatury minimalnej i średniej minimalnej charakteryzuje się stanowisko zlokalizowane w dnie rynny w kosodrzewinie. To stanowisko odznacza się również najwyższą temperaturą maksymalną i średnią maksymalną.

Taki rozkład dowodzi, że największym amplitudom temperatury poddane są rośliny rosnące w dnach wklęsłych form tuż przed zwartą ścianą lasu. Także przed zwartą ścianą lasu występuje najwięcej dni z ujemną temperaturą minimalną. Można więc wnioskować, iż drzewa rosnące

tuż poniżej zwartej, górnej granicy lasu mają znacznie korzystniejsze warunki do rozwoju niż pojedyncze drzewa powyżej tej granicy. Przejście od korzystnych termicznych warunków siedliskowych do niekorzystnych jest bardzo ostre. Na odcinku ok. 30 m różnice w temperaturze minimalnej i maksymalnej mogą wynosić ponad 1°C, a różnice w temperaturze średniej maksymalnej i średniej minimalnej – ponad 3°C. Najmniejsze różnice między temperaturą lasu a temperaturą kosodrzewiny obserwuje się na zboczach wklęsłych form.

Do największych różnic między temperaturą lasu i kosodrzewiny dochodzi w dniach charakteryzujących się dużym usłonecznieniem. Najmniejsze różnice występują podczas rozlewnych opadów deszczu.



Ryc. 8. Różnica w wartościach temperatury zarejestrowanej na stanowiskach pomiarowych REK i REL. Ujemne wartości oznaczają, że temperatura na stanowisku REK była niższa od temperatury na stanowisku REL

Fig. 8. Differences in air temperature registered on REK and REL sites. Negative values indicate lower temperature registered at REK site

Podziękowania

Autorzy serdecznie dziękują prof. dr hab. A. Kotarbie, prof. dr hab. K. Błażejczykowi oraz prof. dr hab. T. Niedźwiedziowi za cenne uwagi podczas prowadzenia prac terenowych oraz pisania artykułu.

Literatura

- Balon J., 1991a, *Piętrowość w środowisku przyrodniczym Tatr*, „Czasopismo Geograficzne”, 62, 4: 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*: 199–208.
- Balon J., 1995, *The upper forest limit in the Tatra Mountains as a physico-geographical line*, „Prace Geograficzne Uniwersytetu Jagiellońskiego”, 98: 171–188.
- Balon J., 2000, *Piętra fizycznogeograficzne polskich Tatr* [w:] Obrębska-Starkel B. (red.), *Studies in physical geography*, „Prace Geograficzne”, 105: 211–233.
- Baranowski J., 2003a, *Dynamika zmian dobowych i zróżnicowanie przestrzenne temperatury powietrza na Hali Gąsienicowej*, „Przegląd Geograficzny”, 75, 2: 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.
- Baranowski J., Kędzia S., 2010, *Wpływ rzeźby terenu na topoklimat i położenie górnej granicy lasu* [w:] A. Kotarba (red.), *Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem. T. 1. Nauki o Ziemi. Materiały IV Konferencji „Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a człowiek”, Zakopane, 14–16 października 2010, Zakopane, Tatrzański Park Narodowy*: 17–22.
- Czajka B., 2012, *Wpływ wysokości n.p.m. na wrażliwość klimatyczną świerka pospolitego w masywie Babiej Góry*, „Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej”, Rogów, 14, 1: 91–97.
- Fabijanowski J., 1955, *Lasy tatrzańskie* [w:] Szafer W. (red.), *Tatrzański Park Narodowy*, Kraków, Polska Akademia Nauk: 73–131.
- Guzik M., 2008, *Analiza wpływu czynników naturalnych i antropogenicznych na kształtowanie się zasięgu lasu i kosodrzewiny w Tatrach*, praca doktorska, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja, Wydział Leśny, Katedra Botaniki Leśnej i Ochrony Przyrody, Kraków.
- Heikkinen O., Obrębska-Starkłowa B., Tuhkanen S., 1995, *Introduction: the timberline – a changing battlefront*, „Prace Geograficzne Uniwersytetu Jagiellońskiego”, 98: 7–16.
- Hess M., 1965, *Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego – Prace Geograficzne”, 11.
- Hess M., 1966, *O mezoklimacie wypukłych i wklęsłych form terenowych w Polsce południowej*, „Przegląd Geofizyczny”, 11(19), 1: 23–35.
- Hess M., 1974, *Piętra klimatyczne Tatr Polskich*, „Czasopismo Geograficzne”, 45, 1: 75–95.
- Jodłowski M., 2007, *Górna granica kosodrzewiny w Tatrach, na Babiej Górze i w Karkonoszach*, Kraków, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- Kędzia S., 2011, *The influence of relief on microclimate and location of the upper tree-limit*, „Geographia Polonica”, 84, 1: 5–11.
- Kotarba A., 1987, *Geoecological belts* [w:] Kotarba A. (red.), *High-mountain denudational system of the Polish Tatra*

- Mountains*, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk, Warszawa: 48–56.
- Krzemień K., Libelt P., Mączka T., 1995, *Geomorphological conditions of the timberline in the Western Tatra Mountains*, „Prace Geograficzne Uniwersytetu Jagiellońskiego”, 98: 153–170.
- Michałowicz P., Czajka B., Kaczka R. J., 2014, *Przestrzenne zróżnicowanie dynamiki wzrostu drzew ponad górną granicą lasu na Babiej Górze*, „Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej”, Rogów, 16, 3: 53–62.
- Myczkowski S., 1964, *Struktura i ekologia zespołu świerka *Picetum tatricum* u górnej granicy zasięgu w Tatrzańskim Parku Narodowym w dolinach Rybiego Potoku, Roztoki, Waksmundzkiej i Pańszczycy*, „Ochrona Przyrody”, 28: 83–110.
- Pawłowski B., 1972, *Szata roślinna gór Polski* [w:] Szafer W. (red.), *Szata roślinna Polski*, t. II, Warszawa, PWN: 189–252.
- Piękoś-Mirkowa H., Mirek Z., 1996, *Zbiorowiska roślinne* [w:] Mirek Z. (red.), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego*, Kraków–Zakopane, Tatrzański Park Narodowy: 237–274.