

LONGINA CHOJNACKA-OŻGA, WOJCIECH OŻGA, TADEUSZ ANDRZEJCZYK

## Warunki termiczne powietrza na zrębie zupełnym i gnieździe

Air temperature on the clear-cut and the gap

### ABSTRACT

Chojnacka-Ożga L., Ożga W., Andrzejczyk T. 2019. Warunki termiczne powietrza na zrębie zupełnym i gnieździe. Sylwan 163 (8): 655-664. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2019023>.

The aim of the study was to determine the spatial variation of air temperature on the clear-cut and gap as well as to compare the distribution of thermal conditions on both areas. The research was carried out in Rogów Forest Experimental Station (51.827023°N, 19.922315°E) on a clear-cut with a width of 60 m and on a gap (of an ellipsoid shape; 40×70 m). The measurements were carried out in two series: spring-summer, in the period when the height of the sun during the day conditioned inflow of direct solar radiation to any surface (May-August 2006), and autumn, when direct radiation was limited by neighboring stands (October-November 2006). Average values of air temperature on the gap in the spring-summer period differed in individual parts by 2.2°C, while on the clear-cut by 1.0°C. In the autumn, thermal diversity on both research plots was similar (0.8°C on average). The thermal diversity within the research plots was particularly marked in the case of extreme air temperature values. Differences between minimum temperature values in the spring-summer period amounted to 1.8°C on the clear-cut, and 1.3°C on the gap, while in the autumn to 1.0°C on both research plots. Higher differentiation occurred in the case of the maximum temperature: the differences in spring-summer equaled 3.1°C on the clear-cut and 8.7°C on the gap, and in the autumn 2.7 and 3.1°C, respectively. In May, three late frost days occurred on the clear-cut, while on the gap the no frost was recorded. All late frost situations occurred during radiation weather characterized by weak wind blowing across the clear-cut. The diurnal course of air temperature in the spring-summer period was dependent on the range of shadow of the position, while in the autumn these trends were similar in each position.

### KEY WORDS

forest, felling site, air temperature, late frost, heat waves

### ADDRESSES

Longina Chojnacka-Ożga – e-mail: [longina\\_chojnacka\\_ozga@sggw.pl](mailto:longina_chojnacka_ozga@sggw.pl)

Wojciech Ożga – e-mail: [wojciech\\_ozga@sggw.pl](mailto:wojciech_ozga@sggw.pl)

Tadeusz Andrzejczyk – e-mail: [tandrzejczyk@wl.sggw.pl](mailto:tandrzejczyk@wl.sggw.pl)

Katedra Hodowli Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

## Wstęp

Klimat lasu kształtuje się w określonych warunkach makroklimatycznych pod wpływem złożonej struktury ekosystemu leśnego. Zabiegi hodowlane prowadzone w lesie mogą implikować zmiany tych warunków. Różne rodzaje i formy rębni wpływają na kształtowanie się odmiennych warunków radiacyjnych i termiczno-wilgotnościowych, co z kolei wpływa na odpowiednie plano-

wanie i prowadzenie prac odnowieniowych [Puchalski 2000]. Powstające w wyniku cięć odnowieniowych powierzchnie otoczone drzewostanem charakteryzują się dużym zróżnicowaniem mikroklimatycznym, a w ich skrajnych położeniach wykształca się specyficzny efekt obrzeża. Efekt krawędzi odnosi się nie tylko do zmian biotycznych [Bolibok 2009], ale przede wszystkim do zmian parametrów fizycznych charakterystycznych dla przejścia między dwoma różnymi środowiskami [Chen i in. 1993; Chojnacka-Oźga, Oźga 1999; Davies-Colley i in. 2000; Oźga 2001; Mercer 2006]. Podstawowym czynnikiem powodującym zróżnicowanie warunków mikroklimatycznych w obrębie różnych rodzajów powierzchni odnowieniowych jest dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego do podłoża lub jego ograniczenie [Tomanek 1958]. Specyficzne stosunki radiacyjne na powierzchni sąsiadującej z drzewostanem wynikają także z ograniczenia wypromieniowania długofalowego zmieniającego się wraz z odległością od ściany lasu [Tomanek 1958]. Zmienność przestrzenna elementów bilansu promieniowania na zrębach jest podstawowym czynnikiem decydującym o zróżnicowaniu warunków termicznych. W dotychczasowych badaniach wskazywano na wpływ wielkości zrębów i gniazd oraz wysokości i struktury otaczającego drzewostanu na warunki radiacyjne [van Dam 2001; Gray i in. 2002; Chantal i in. 2003; Bolibok, Andrzejczyk 2008; Andrzejczyk i in. 2014a] i termiczne powietrza [Mierzejewski, Niedźwiecki 1954; Tomanek 1958; Magnuski 1975; Strong i in. 1997]. Wskazywano także na odmienne kształtowanie się warunków termicznych w zależności od ekspozycji ściany otaczającego lasu [Chen i in. 1995; Radler i in. 2010]. Badania dotyczące kształtowania się warunków termicznych powietrza na różnych rodzajach zrębów prowadzone były w różnej skali przestrzennej i czasowej [Kern i in. 2013; Muscolo i in. 2007]. W niektórych stwierdzono brak istotnych statystycznie różnic między średnimi wartościami temperatury powietrza na gniazdach o różnej wielkości [Gray i in. 2002; Muscolo i in. 2007], w innych w sposób opisowy charakteryzowano rozkład temperatury na określonym zrębie [Tomanek 1958, 1974]. Rzadko podejmowano natomiast analizy porównawcze warunków termicznych powietrza panujących w różnych lokalizacjach na zrębie zupełnym i gnieździe zależnie od pory roku.

W ostatnich kilku dekadach obserwowany jest intensywny wzrost temperatury powietrza, a zwłaszcza wzrost częstości występowania ekstremalnie wysokich wartości temperatury powietrza [Summary... 2018]. Utrzymujące się przez kilka, a nawet kilkanaście dni ekstremalne warunki termiczne w postaci fal upałów (ang. heat waves) stanowią poważne zagrożenie dla przetrwania i wzrostu roślin [Teskey i in. 2015]. Falom upałów często towarzyszą bardzo dotkliwe dla gospodarki leśnej susze. Wysoka temperatura powietrza implikuje bowiem wzrost ewapotranspiracji, szybsze wysychanie gleby i wzrost dotkliwości suszy. Ekstremalna fala upałów i susza latem 2003 roku w Europie Zachodniej spowodowały wzrost śmiertelności drzew [Allen i in. 2010]. Negatywny wpływ wysokiej temperatury na procesy fizjologiczne drzew obserwowany był w każdej klasie wieku drzewostanu, z nasileniem w fazie odnowień [Teskey i in. 2015]. W Polsce fale upałów, które zaznaczyły się największymi stratami gospodarczymi, wystąpiły w latach 2006, 2015 i 2018. W kontekście adaptacji lasów do zachodzących zmian klimatycznych konieczne wydaje się więc rozpoznanie warunków termicznych różnych powierzchni odnowieniowych, ze szczególnym uwzględnieniem miejsc narażonych na większy stres termiczny.

Celem pracy jest określenie zróżnicowania przestrzennego temperatury powietrza na zrębie zupełnym i gnieździe oraz porównanie rozkładu warunków termicznych na obu powierzchniach. Postawiono następujące hipotezy:

1. Na zrębie zupełnym częściej niż na gnieździe występują warunki termiczne niekorzystne dla upraw.
2. Niektóre lokalizacje na zrębie zupełnym i na gnieździe charakteryzują się podobnymi warunkami termicznymi.

Badania przeprowadzono w roku 2006, który cechował się występowaniem niekorzystnych warunków termicznych w okresie wegetacyjnym: majowymi przymrozkami oraz falami upałów.

## Teren badań

Badania prowadzono w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym SGGW w Rogowie (leśnictwo Strzelna) w dwóch drzewostanach: w 3-letniej uprawie dębowej założonej na zrębie zupełnym (oddz. 148a) i w 2-letniej uprawie bukowej założonej na gnieździe (oddz. 138b). Zrąb zupełny o szerokości 60 m został założony w 2003 roku na pierwszym pasie manipulacyjnym sosnowego drzewostanu rębego (110 lat), z udziałem dębu i grabu w drugim piętrze (typ siedliskowy lasu – Lśw). Był on usytuowany wzdłuż kierunku NW-SE. Powierzchnia zrębu od strony NE bezpośrednio przylegała do linii oddziałowej, poprzez którą sąsiadowała ze 107-letnim drzewostanem sosnowym, z dolnym piętrzem dębowym (oddz. 147a). W obu przylegających drzewostanach występowała dobrze wykształcona warstwa podszytu złożona z leszczyny i grabu. Łączna szerokość powierzchni otwartej (zrąb i linia oddziałowa) wynosiła 65 m. Średnia wysokość sosny w przyległym drzewostanie wynosiła 27 m (bonitacja I.5). W środkowej części zrębu wyznaczono transekt o przebiegu SW-NE, na którym mierzono temperaturę powietrza na 5 stanowiskach: na brzegu drzewostanu i zrębu (z1) oraz w odległości 15 m (z2), 30 m (z3) i 45 m (z4) od stanowiska z1. W celu porównawczym wyznaczono także stanowisko pomiarowe w lesie położone 15 m od skraję zrębu w kierunku SW (las). Gniazdo o wymiarach 40×70 m usytuowane było w 80-letnim drzewostanie sosnowym z udziałem dębu i grabu w drugim piętrze oraz grabu i leszczyny w warstwie podszytu (typ siedliskowy lasu – Lśw). Średnia wysokość sosny wynosiła 26,5 m (bonitacja Ia.7). Gniazdo miało kształt elipsowaty, o dłuższej osi zorientowanej w kierunku NW-SE. Na gnieździe wyznaczono transekt o przebiegu SW-NE, na którym temperaturę powietrza mierzono na 3 stanowiskach: g1 – 10 m od brzegu drzewostanu po SW stronie gniazda, g2 – w połowie szerokości gniazda oraz g3 – w odległości 10 m od brzegu drzewostanu po NE stronie gniazda.

## Materiał i metody

Pomiary temperatury powietrza przeprowadzono czujnikami HOBO umieszczonymi w osłonach antyradiacyjnych na wysokości 50 cm nad gruntem. Wcześniejsze badania tego typu prowadzone były na różnych wysokościach [Strong i in. 1997], natomiast w niniejszym opracowaniu pomiary prowadzono nad uprawą znajdującą się na powierzchniach badawczych. Ciągła rejestracja danych następowała w interwałach 10-minutowych. W badaniach zastosowano metodę krótkiego ciągu pomiarowego [Obmiński 1964], stosowaną w wielu badaniach dotyczących kształtowania się mikroklimatu lasu [Chen, Franklin 1997]. Pomiary wykonano w dwóch seriach: pierwszą (wiosenno-letnią) w okresie, gdy wysokość słońca w ciągu dnia warunkowała dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego do każdej powierzchni (maj-sierpień 2006 roku), drugą (jesienną), gdy dopływ promieniowania bezpośredniego był ograniczony przez sąsiadujący drzewostan (październik-listopad 2006 roku). W celu scharakteryzowania warunków termicznych w badanym okresie na wszystkich stanowiskach pomiarowych wyznaczono podstawowe parametry statystyczne: temperaturę średnią, wartości skrajne i odchylenia standardowe. Istotność różnic między wartościami temperatury powietrza na poszczególnych stanowiskach pomiarowych sprawdzono przy użyciu procedury ANOVA i testu Tukeya, przyjmując próg istotności statystycznej  $p=0,05$ . Do określenia punktów najbardziej zbliżonych pod względem wartości temperatury powietrza wykorzystano metodę aglomeracji Warda – za miarę podobieństwa punktów przyjęto odległość euklidesową [Kalaivani, Kumar 2018].

Analizy wykonano oddzielnie dla okresu wiosenno-letniego i jesiennego, danymi wejściowymi do analiz były wszystkie serie pomiarowe pochodzącego z danego okresu.

Dla okresu wiosenno-letniego wydzielono dla każdego stanowiska fale upałów (heat waves), przyjmując jako kryterium okres przynajmniej trzech kolejnych dni z maksymalną temperaturą powietrza  $>30^{\circ}\text{C}$  [Krzyżewska, Wereski 2011]. Przeanalizowano także występowanie przymrozków późnych, przyjmując za dzień przymrozkowy dzień z temperaturą minimalną  $<0^{\circ}\text{C}$  [Niedźwiedz 2003].

## Wyniki

Najniższa i najwyższa średnia temperatura powietrza z wiosenno-letniej serii pomiarowej wystąpiła na skrajnych stanowiskach gniazda (odpowiednio stanowiska g1 i g3; tab. 1). W okresie jesiennym najniższa średnia temperatura powietrza wystąpiła na zrębie (stanowisko z2), a najwyższa na gnieździe (stanowisko g3). W okresie wiosenno-letnim stwierdzono występowanie 6, natomiast w jesiennym 5 grup homogenicznych (tab. 1), wewnątrz których różnice średniej temperatury powietrza były nieistotne statystycznie ( $p>0,05$ ). Niezależnie od okresu badawczego większe rozproszenie wartości temperatury powietrza wokół średniej było charakterystyczne dla zrębu niż gniazda (tab. 1). Najmniejszą zmiennością temperatury charakteryzowało się stanowisko położone pod okapem drzewostanu.

Skrajne wartości temperatury powietrza ( $t_{\min}$ ,  $t_{\max}$ ) cechowały się dużym zróżnicowaniem przestrzennym na obu powierzchniach, przy czym w okresie wiosenno-letnim było ono większe niż jesienią. Różnice między wartościami temperatury minimalnej w okresie wiosenno-letnim na zrębie dochodziły do  $1,8^{\circ}\text{C}$ , a na gnieździe do  $1,3^{\circ}\text{C}$ , podczas gdy w okresie jesiennym na obu powierzchniach do  $1,0^{\circ}\text{C}$ . Większe zróżnicowanie wystąpiło w przypadku temperatury maksymalnej: różnice w okresie wiosenno-letnim dochodziły do  $3,1^{\circ}\text{C}$  na zrębie i aż do  $8,7^{\circ}\text{C}$  na gnieździe, a jesienią odpowiednio do  $2,7$  i  $3,1^{\circ}\text{C}$ .

W maju na powierzchni badawczej na zrębie wystąpiły 3 dni przymrozkowe, podczas gdy na gnieździe przymrozki nie zdarzyły się (tab. 2). Wszystkie sytuacje przymrozkowe miały miejsce podczas pogody radiacyjnej, charakteryzującej się słabym wiatrem wiejącym w poprzek zrębu. W terenie otwartym (stacja meteorologiczna w Rogowie) spadek temperatury minimalnej poniżej  $0^{\circ}\text{C}$  wystąpił tylko raz, a więc krótkotrwałe pojawianie się przymrozku było charakterystyczne jedynie dla zrębu (tab. 2).

W końcu czerwca i w lipcu na stacji meteorologicznej w Rogowie wystąpiły fale upałów: 3-, 9- oraz 10-dniowa. Na nasłonecznionych częściach gniazda i zrębu (punkty z3, z4, g3) fale

**Tabela 1.**

Średnia ( $t$ ) i skrajne ( $t_{\min}$ ,  $t_{\max}$ ) wartości oraz odchylenie standardowe (SD) temperatury powietrza [ $^{\circ}\text{C}$ ] w lesie (las), na zrębie (z1, z2, z3, z4) i gnieździe (g1, g2, g3) w okresie wiosenno-letnim i jesiennym  
Average ( $t$ ) and extreme ( $t_{\min}$ ,  $t_{\max}$ ) values, and standard deviation (SD) of air temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ] in the forest (las), on the clear-cut (z1, z2, z3, z4) and on the gap (g1, g2, g3) in the spring-summer (wiosna-lato) and autumn (jesień) periods

	Wiosna-lato				Jesień			
	$t$	SD	$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t$	SD	$t_{\min}$	$t_{\max}$
las	16,0d,e	5,17	2,9	31,5	6,4e	4,63	-3,9	18,7
z1	15,6c,d	6,36	-0,2	36,6	5,2b,c	4,78	-5,8	17,9
z2	15,3a,b	6,96	-1,1	37,4	4,9a	4,89	-5,8	17,9
z3	16,1e	7,96	-2,0	39,7	5,1a,b	5,31	-6,8	19,4
z4	16,3e	7,81	-1,5	38,8	5,7d	5,46	-6,8	20,6
g1	15,0a	5,34	2,1	32,8	5,7d	4,54	-4,8	17,5
g2	15,6b,c	6,34	2,0	37,9	5,5c,d	4,57	-5,3	17,1
g3	17,2f	7,12	3,3	41,5	6,3e	4,90	-4,3	20,2

\*literami oznaczono grupy homogeniczne ( $p=0,05$ ); homogenous groups marked by letters ( $p=0,05$ )

Tabela 2.

Charakterystyka dni przymrozkowych na zrębie (stanowiska,  $t_{\min}$  – temperatura minimalna [°C], T – czas z  $t < 0^{\circ}\text{C}$  [godz.]) i na stacji meteorologicznej SGGW w Rogowie ( $t_{\min}$  – temperatura minimalna [°C],  $t_{\max}$  – temperatura maksymalna [°C], RH – wilgotność względna [%],  $w_{\text{kier}}$  – kierunek wiatru, v – prędkość wiatru [m/s]) w maju 2006 roku

Characteristics of late frost days on the clear-cut (stanowiska – plots,  $t_{\min}$  – minimum temperature [°C], T – time with  $t < 0^{\circ}\text{C}$  [hrs]) and at the weather station of Warsaw University of Life Sciences – SGGW in Rogów ( $t_{\min}$  – minimum temperature [°C],  $t_{\max}$  – maximum temperature [°C], RH – relative humidity [%],  $w_{\text{kier}}$  – wind direction, v – wind speed [m/s]) in May 2006

	Stanowiska	$t_{\min}$	T	$t_{\min}$	$t_{\max}$	RH	$w_{\text{kier}}$	v
11.05	z2, z3	-0,2	0,5	0,2	24,5	76	WNW	1,3
15.05	z1, z2, z3, z4	-2,0	5,0	-0,9	19,9	83	WSW	0,3
16.05	z3	-0,2	0,3	0,5	24,3	72	ESE	1,6

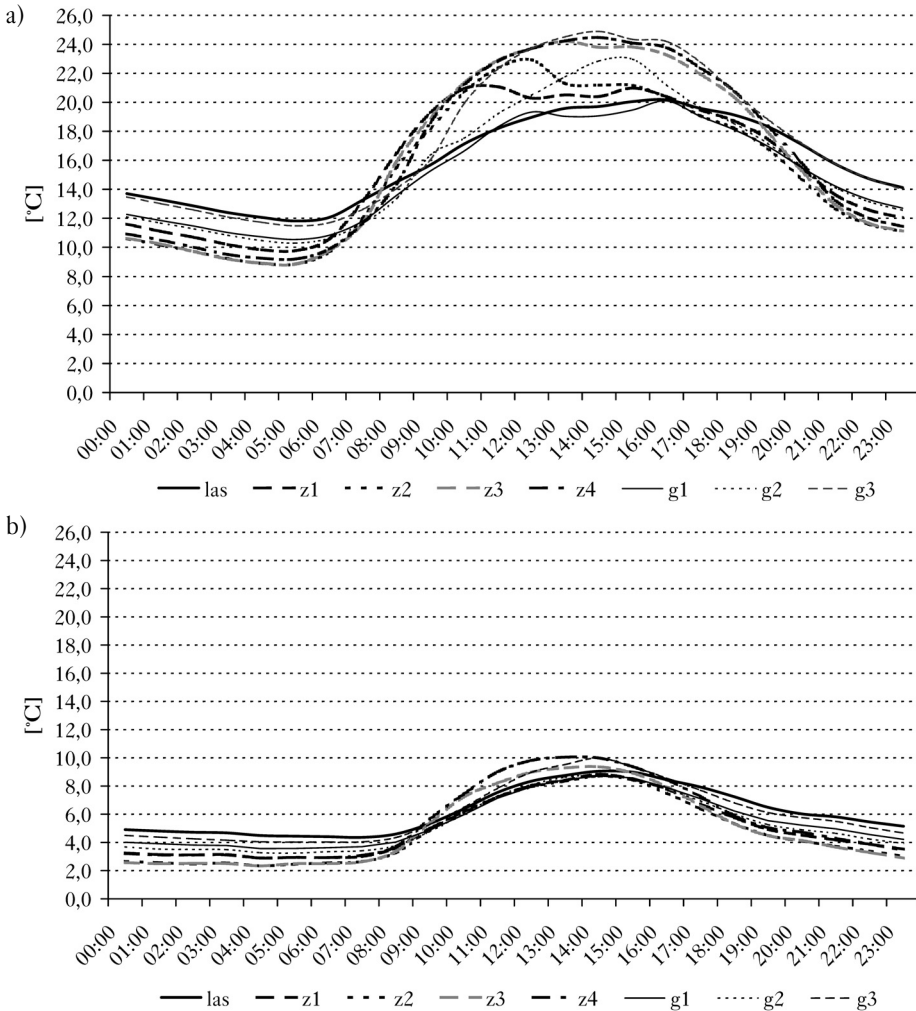
upałów trwały dłużej (maksymalnie o 3 doby), natomiast na stanowiskach zacienionych (z1, g1) krócej (o 2 doby). W lesie dni upalne zdarzały się sporadycznie (3 doby, które nie tworzyły fali). Najwięcej terminów pomiarowych z  $t_{\max} > 30,0^{\circ}\text{C}$  było charakterystycznych dla nasłonecznionej części gniazda (g3). Przyjmując częstość odnotowania  $t_{\max} > 30,0^{\circ}\text{C}$  na tym stanowisku jako 100%, zauważyć można wyraźne zmniejszanie się tej częstości na gnieździe (g2 – 40,8%, g1 – 8,8%), natomiast wolniejsze na zrębie (z4 – 87,9%, z3 – 87,7%, z2 – 47,5%, z1 – 42,6%, las – 8,5%).

W okresie wiosenno-letnim najwyższe wartości temperatury powietrza w godzinach okołopołudniowych były charakterystyczne dla północno-wschodniej części gniazda (g3). Jednakże największe średnie dobowe wahania temperatury powietrza (dochodzące do  $15,4^{\circ}\text{C}$ ) występowały w środkowej (z3) i północno-wschodniej (z4) części zrębu (ryc. 1a). W lesie średnie dobowe wahania temperatury powietrza były prawie o połowę mniejsze ( $8,4^{\circ}\text{C}$ ). W przebiegu dobowym temperatury powietrza w południowo-zachodniej części zrębu zaznacza się przesunięcie maksimum dobowego na godziny przedpołudniowe (ryc. 1a), odpowiednio do pojawiania się cienia sąsiadującego drzewostanu. W południowo-zachodniej części gniazda w ciągu dnia temperatura była zbliżona do temperatury powietrza w lesie, natomiast w nocy i nad ranem była od niej niższa (ryc. 1a). W okresie jesiennym zręb również cechował się większą dobową zmiennością temperatury powietrza niż gniazdo (ryc. 1b). Największe średnie amplitudy dobowe występowały w północno-wschodniej części zrębu. Jednakże w przeciwieństwie do pory wiosenno-letniej zróżnicowanie termiczne na badanych powierzchniach było większe w godzinach nocnych niż w ciągu dnia (ryc. 1b).

W okresie wiosenno-letnim warunki termiczne w środkowej i północno-wschodniej części zrębu (z3 i z4) oraz w północno-wschodniej części gniazda (g3) były podobne do siebie i zarazem cechowały się pewną odrębnością w stosunku do termiki lasu (ryc. 2a). Najbardziej zbliżonymi do lasu warunkami termicznymi cechowała się południowo-zachodnia i środkowa część gniazda (g1 i g2). Z kolei w okresie jesiennym zróżnicowanie warunków termicznych na powierzchni zrębu i na gnieździe, jak również pomiędzy powierzchniami i lasem było niewielkie (ryc. 2b).

## Dyskusja

Warunki termiczne na zrębach i gniazdach zależą przede wszystkim od elementów bilansu radiacyjnego, różnie kształtujących się w poszczególnych częściach zrębu i gniazda [Tomanek 1974; Chantal i in. 2003]. Istotnym czynnikiem jest dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego lub jego ograniczenie, zmieniające się w poszczególnych porach roku [Carlson, Groot 1995]. Z badań Tomanka [1974] wynika, że usłonecznienie w południowej i zachodniej części gniazda o średnicy 60 m późną jesienią może wynosić nawet poniżej 1% usłonecznienia w tere-

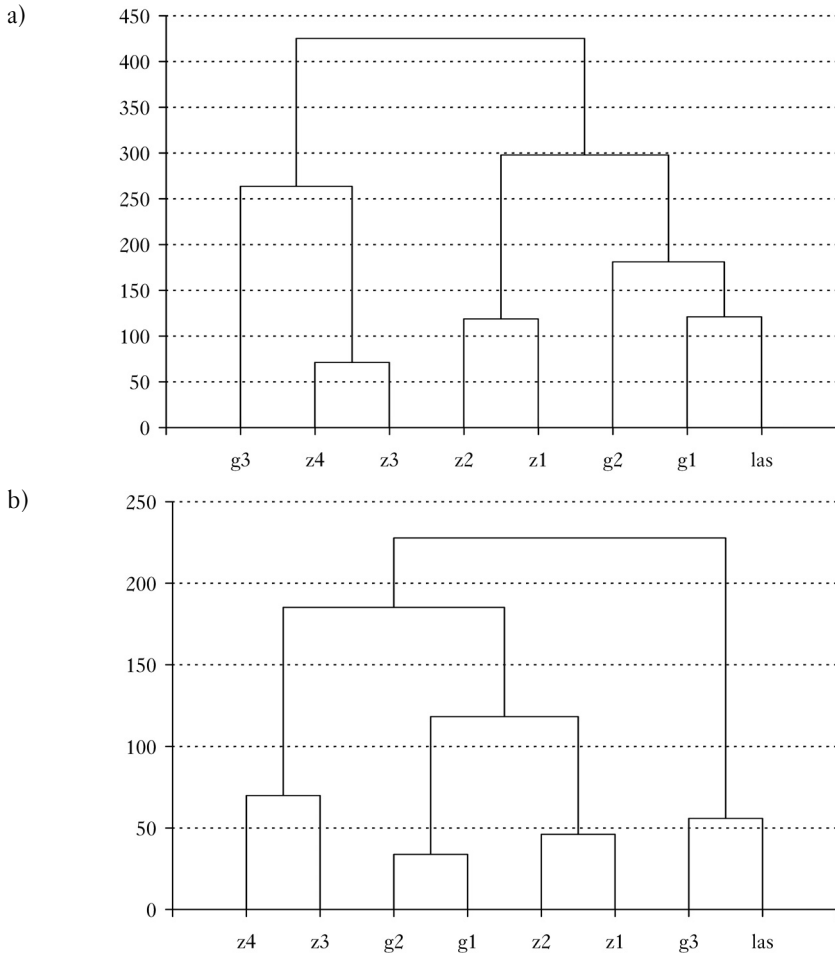


Ryc. 1.

Średni dobowy przebieg temperatury powietrza na stanowiskach pomiarowych w okresie wiosenno-letnim (a) i jesiennym (b)

Diurnal course of air temperature on research plots in spring-summer (a) and in autumn (b)

nie otwartym. Ograniczenie dopływu promieniowania całkowitego w tym okresie nie jest aż tak znaczne, jednak ze względu na ogólnie niskie wartości promieniowania zróżnicowanie termiczne na gnieździe jest niewielkie [Tomanek 1974]. W okresie wiosny i lata usłonecznienie na gnieździe badanym przez Tomanka [1974] było bardziej zróżnicowane i stanowiło w stosunku do terenu otwartego od zaledwie kilku procent w południowej jego części do ponad 50% w części północnej. Przekładało się to na większe zróżnicowanie warunków termicznych. Podobne prawidłowości stwierdzono w niniejszych badaniach: średnie wartości temperatury powietrza na gnieździe w okresie wiosenno-letnim różniły się w poszczególnych jego częściach o 2,2°C, podczas gdy na zrębie o 1,0°C. W okresie jesiennym, a więc przy ograniczonym dopływie promieniowania bezpośredniego do powierzchni badawczych, zróżnicowanie termiczne na obu powierzchniach było podobne (średnio 0,8°C).



Ryc. 2.

Podobieństwo stanowisk pomiarowych pod względem temperatury powietrza w okresie wiosenno-letnim (a) i jesiennym (b) (metoda Warda, odległość euklidesowa)

Similarity of the study plots in terms of air temperature in the spring-summer (a) and autumn (b) period (Ward agglomeration, Euclidean distance)

Zróźnicowanie termiczne w obrębie powierzchni badawczych szczególnie zaznaczyło się w przypadku skrajnych wartości temperatury powietrza. Wartości temperatury minimalnej były bardziej zróźnicowane na zrębie, natomiast wartości temperatury maksymalnej na gnieździe.

Stwierdzone w niniejszej pracy prawidłowości, zwłaszcza dotyczące temperatury maksymalnej, są zbieżne z wynikami badań innych autorów. Na znaczenie temperatury maksymalnej w zróźnicowaniu warunków termicznych gniazda wskazywali wcześniej Mierzejewski i Niedźwiecki [1954], Tomanek [1958], Strong i in. [1997], Gray i in. [2002] oraz Radler i in. [2010]. Brakuje jednak w literaturze badań dotyczących zróźnicowania przestrzennego wartości temperatury minimalnej na zrębie i na gnieździe w warunkach klimatu umiarkowanego przejściowego, jak również badań porównujących warunki termiczne na gnieździe i zrębie. Stąd wyniki dotyczące tych charakterystyk uzyskane w niniejszej pracy można potraktować jako wstępne, stanowiące przyczynek do dalszych badań.



Czynnikiem decydującym o zróżnicowaniu termicznym na zrębie i na gnieździe było położenie stanowisk w stosunku do stron świata. Na ten fakt w kontekście gniazda zwracali uwagę m.in. Mierzejewski i Niedźwiecki [1954], Tomanek [1958, 1974], Strong i in. [1997], Gray [2002] oraz Radler i in. [2010]. W niniejszym badaniu wyraźnie zarysowała się prawidłowość występowania niekorzystnych warunków termicznych w północno-wschodniej części obu badanych powierzchni. Rosnące tutaj rośliny były w większym stopniu narażone na stres wysokotemperaturowy, a w przypadku zrębu również ze strony przymrozków. Brak przymrozków lub przymrozki mniej intensywne oraz mniejsze narażenie na bardzo wysokie wartości temperatury powietrza (mniej dni upalnych) w południowo-zachodniej części gniazda i zrębu potwierdzają wnioski Andrzejczyka i in. [2014b] o znaczeniu osłony bocznej drzewostanu w kształtowaniu warunków wzrostu upraw. Stwierdzone w opracowaniu zróżnicowanie przebiegu dobowego temperatury powietrza na zrębie i gnieździe, zaznaczające się przede wszystkim w okresie wiosenno-letnim, koresponduje z przebiegiem natężenia napromieniowania krótkofalowego podawanym przez Radlera i in. [2010]. Dobowe zmiany temperatury powietrza w środkowych częściach zrębu i gniazda w okresie wiosenno-letnim charakteryzowały się występowaniem minimum około godz. 6, a maksimum około godz. 14. W sąsiedztwie ściany lasu przebieg ten był modyfikowany zależnie od zmieniającego się w ciągu dnia ocienienia przez sąsiadujący drzewostan. Dobowa zmienność w tym okresie była podobna do opisywanej przez Chena i in. [1993] zmienności termiki w rejonie ściany lasu. Na stanowiskach nasłonecznionych stwierdzono, podobnie jak Zheng i in. [2000], dwugodzinne przyspieszenie wystąpienia maksymalnej temperatury dobowej w porównaniu z warunkami pod okapem drzewostanu. Jesienią dobowy rytm temperatury powietrza był podobny na każdym stanowisku pomiarowym. W lesie i w pobliżu ściany drzewostanu zaznaczało się wówczas niewielkie opóźnienie występowanie dobowego maksimum temperatury.

## Wnioski

- ✦ Zróżnicowanie warunków termicznych na zrębie i gnieździe kształtowało się zależnie od pory roku. W dniach, gdy wysokość słońca podczas jego górowania jest większa (późna wiosna-lato), zróżnicowanie to jest duże, natomiast przy niższych położeniach słońca mniejsze.
- ✦ Warunki termiczne na zrębie były mniej zróżnicowane przestrzennie niż na gnieździe, co było widoczne zarówno w przypadku średnich, jak i maksymalnych wartości temperatury powietrza. Występowało tutaj jednak większe zagrożenie późnymi przymrozkami radiacyjnymi, stwierdzono też większą dobową zmienność temperatury powietrza.
- ✦ Na każdej powierzchni badawczej największe zróżnicowanie występowało w przypadku maksymalnej temperatury powietrza, co wynikało z różnic w warunkach radiacyjnych w poszczególnych częściach każdej powierzchni.
- ✦ Na stres cieplny związany z ekstremalnie wysokimi wartościami temperatury powietrza w największym i równym stopniu były narażone stanowiska nasłonecznione na zrębie i na gnieździe. Fale upałów ( $t_{\max} > 30,0^{\circ}\text{C}$ ) na nasłonecznionych stanowiskach zrębu i gniazda występowały częściej niż w terenie otwartym. Sytuacje takie rzadziej zdarzały się w ocienionej części gniazda niż zrębu, a sporadycznie pod okapem drzewostanu.
- ✦ Najmniej korzystnymi warunkami termicznymi dla wzrostu roślin odznaczała się północno-wschodnia część zrębu, co może stanowić wskazówkę do podejmowania odpowiednich praktyk hodowlanych.

## Literatura

- Allen C. D., Macalady A. K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Cobb N. 2010. A global overview of drought and heat induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259: 660-684.



- Andrzejczyk T., Bolibok L., Buraczyk W., Drozdowski S., Szeliowski H. 2014a. Wpływ warunków siedliskowych na zróżnicowanie wysokości dębu na gniazdach. *Sylvan* 158 (6): 404-413. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2013098>.
- Andrzejczyk T., Dzwonkowski M., Pawłowski M., Działak R. 2014b. Wpływ osłony bocznej drzewostanu na wzrost dębu bezszypułkowego (*Quercus petraea*) i grabu pospolitego (*Carpinus betulus*) w fazie uprawy. *Sylvan* 158 (10): 723-732. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2014004>.
- Bolibok L. 2009. Regulacja warunków wzrostu odnowień na gniazdach – wpływ parametrów gniazd na oddziaływanie czynników biotycznych. *Sylvan* 153 (11): 733-744. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2009029>.
- Bolibok L., Andrzejczyk T. 2008. Analiza zagęszczenia samosiewów brzozy i sosny na gniazdach na podstawie modelu promieniowania słonecznego. *Sylvan* 152 (2): 10-19. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2006017>.
- Carlson D. W., Groot A. 1995. Microclimate of clear-cut, forest interior and small openings in trembling aspen forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 87: 313-329.
- Chantal M., Leinonen K., Kuuluvainen T., Cescatti A. 2003. Early response of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings to an experimental canopy gap in a boreal spruce forest. *Forest Ecology and Management* 173: 321-336.
- Chen J., Franklin J. F. 1997. Growing-season microclimate variability within an old-growth Douglas-fir forest. *Clim. Res.* 8: 21-34.
- Chen J., Franklin J. F., Spies T. A. 1993. Contrasting microclimates among clearcut, edge, and interior of old-growth Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 63: 219-237.
- Chen J., Franklin J. F., Spies T. A. 1995. Growing-season microclimate gradients from clearcut edges into old-growth Douglas-fir forests. *Ecological Applications* 5 (1): 74-86.
- Chojnacka-Ożga L., Ożga W. 1999. Warunki termiczne w strefie przejściowej między lasem i terenem otwartym. *Sylvan* 143 (6): 11-17.
- van Dam O. 2001. Forest filled with gaps. Effects of gap size on water and nutrient cycling in tropical rain forest. A Study in Guyana. *Tropenbos-Guyana Series* 10.
- Davies-Colley R. J., Payne G. W., van Elswijk M. 2000. Microclimate gradients across a forest edge. *New Zealand Journal of Ecology* 24 (2): 111-121.
- Gray A. N., Spies T. A., Easter M. J. 2002. Microclimatic and soil moisture responses to gap formation in coastal Douglas-fir forests. *Can. J. For. Res.* 32: 332-343.
- Kalaivani S., Kumar K. S. 2018. Cluster analysis-temperature data. *International Journal of Pure and Applied Mathematics* 119 (7): 779-785.
- Kern C. C., D'Amato A. W., Strong T. F. 2013. Diversifying the composition and structure of managed, late-successional forests with harvest gaps: What is the optimal gap size? *Forest Ecology and Management* 304: 110-120.
- Krzyżewska A., Wereski S. 2011. Fale upałów i mrozów w wybranych stacjach Polski na tle regionów bioklimatycznych (2000-2010). *Prz. Geof.* 56 (1-2): 99-109.
- Magnuski K. 1975. Wzrost upraw jodłowych w warunkach rębni zupełnej, częściowej i gniazdowej. *Sylvan* 119 (10): 16-26.
- Mercer J. A. 2006. Some effects of growing season soil moisture and microclimate on redwood seedlings in a forest edge and gap. Humboldt State University.
- Mierzejewski W., Niedźwiedzki P. 1954. Z badań nad przebiegiem odnowienia w rębni gniazdowej. *Sylvan* 98 (1): 51-58.
- Muscolo A., Sidari M., Mercurio R. 2007. Influence of gap size on organic matter decomposition, microbial biomass and nutrient cycle in Calabrian pine (*Pinus laricio* Poir.) stands. *Forest Ecology and Management* 242: 412-418.
- Niedźwiedzki T. [red.]. 2003. Słownik meteorologiczny. PTGeof., Warszawa.
- Obmiński Z. 1964. Metodologiczne podstawy ekoklimatologii. *Sylvan* 108 (3): 1-8.
- Ożga W. 2001. Warunki termiczne i anemometryczne w strefie granicznej między łąką i lasem. *Prz. Nauk. Wydz. IiKŚ* 21: 105-106.
- Puchalski T. 2000. Rębnie w gospodarstwie leśnym. Poradnik leśniczego. PWRiL, Warszawa.
- Radler K., Oltchev A., Panferov O., Klinck U., Gravenhorst G. 2010. Radiation and temperature responses to a small clear-cut in a Spruce Forest. *The Open Geography Journal* 3: 103-114.
- Strong T. F., Teclaw R. M., Zasada J. C. 1997. Monitoring the effects of partial cutting and gap size on microclimate and vegetation responses in northern hardwood forests in Wisconsin. W: *Proceedings of the National Silviculture Workshop*. USDA Forest Service, Warren, PA. 42-47.
- Summary for Policymakers. 2018. W: Masson-Delmotte V., Zhai P., Pörtner H. O., Roberts D., Skea J., Shukla P. R., Pirani A., Moufouma-Okia W., Péan C., Pidcock R., Connors S., Matthews J. B. R., Chen Y., Zhou X., Gomis M. I., Lonnoy E., Maycock T., Tignor M., Waterfield T. [red.]. *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. World Meteorological Organization, Geneva.
- Teskey R., Wertin T., Bauweraerts I., Ameye M., McGuire M. A., Steppe K. 2015. Responses of tree species to heat waves and extreme heat events. *Plant Cell Environ* 38: 1699-1712.

**Tomanek J. 1958.** Badania nad przebiegiem temperatury, parowania i opadu w rębni gniazdowej. Sylwan 102 (3): 13-31.

**Tomanek J. 1974.** Badania nad mikroklimatem zrębu gniazdowego zupełnego. Sylwan 118 (11): 16-42.

**Zheng D., Chen J., Song B., Xu M., Sneed P., Jensen R. 2000.** Effects of silvicultural treatments on summer forest microclimate in southeastern Missouri Ozarks. Clim Res Vol. 15: 45-59.