

Uwarunkowania przymrozków na przykładzie epizodu z lipca 1996 roku na Hali Izerskiej w Górach Izerskich w kontekście gospodarki leśnej

The effects of frost conditions on forest management
based on the example of the July 1996 period at Hala Izerska in the Izera Mountains

Grzegorz Urban

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział we Wrocławiu,
ul. Parkowa 30, 51–616 Wrocław

Tel. +48 71 32 00 161; e-mail: grzegorz.urban@imgw.pl, urbag@poczta.onet.pl

Abstract. This paper presents the characteristics of a frost period that occurred on July 20–23, 1996, in the center of the Izera Mountains in the context of forest management. The source data consisted of air temperature measurements from the author's own work as well as data obtained from archival databases of the Institute of Meteorology and Water Management, Voivodeship Inspectorate of Environmental Protection, the University of Wrocław and the Bureau of Forest Management and Geodesy in Brzeg. Due to the unusual time of frost and its intensity, the impact of this particular period was extreme. For the center of the mountain dale Hala Izerska, the estimated probability of frost temperatures of -5.5°C two meters above ground level is 2.4% for the month of July. Therefore, in this area such a sharp decline of T_{min} in the middle of the growing season is predicted to occur only once every 40–50 years. In the Izera Mountains, strong nocturnal decreases of T_{min} below 0°C during the growing season occur almost every year causing significant damage to silviculture. Represented here by the mountain dale Hala Izerska, the central Izera Mountains are one of the coldest or even the coldest site in Poland in terms of absolute minimums of air temperature during the growing season.

Knowledge on the impact of climate, such as thermal factors, on tree stands enables silvicultural work in mountain areas to be optimized, ultimately allowing funding to be rationalized. The distinct climatic conditions of mountain basins and valleys as well as slopes and plateaus of similar altitudes need to be taken into consideration.

Key words: frost, growing season, damage to forests, the Izera Mountains

1. Wstęp

Warunki klimatyczne wywierają wielostronny wpływ na stan ekosystemów leśnych. Do głównych czynników meteorologicznych powodujących szkody abiotyczne w lasach zalicza się: silny wiatr, intensywne opady śniegu, suszę, głębokie spadki temperatury powietrza, oblodzenie czy obciążenie szadzią.

Problematykę szkód w lasach od czynników atmosferycznych przedstawiono w wielu pracach (Zajączkowski 1984, 1991; Mikułowski 1998, 2002; Urban

2002; Urban et al. 2000, 2005, 2011; Zachara 2006; Gil i Zachara 2006; Zachara et al. 2007). W lasach, oprócz najczęstszych i najbardziej spektakularnych szkód od wiatru i śniegu, zdarzają się istotne szkody ekonomiczne powodowane także przez inne czynniki, np. spadek temperatury powietrza poniżej $0,0^{\circ}\text{C}$ w okresie wegetacyjnym.

Temperatury ekstremalne są ważnym czynnikiem wpływającym na warunki ekologiczne w ekosystemach górskich, szczególnie temperatury najniższe występujące w różnych porach roku. Uszkodzenia roślin, w tym

stosunkowo odpornych drzew świerkowych, spowodowane niską temperaturą powietrza, mogą powstawać w krótkim czasie – kilku godzin. Powstają one w układach wysokiego ciśnienia, podczas pogody warunkującej radiacyjne wychłodzenie podłoża i dolnych warstw atmosfery. Takie warunki pogodowe związane są z określonymi sytuacjami synoptycznymi i specyficzną morfologią terenu. Zostaną one opisane w dalszej części pracy.

W czasie prowadzenia pomiarów meteorologicznych, od 1995 r., w Górach Izerskich w okresie wegetacyjnym wystąpiły liczne epizody ze spadkiem temperatury powietrza poniżej 0°C na wysokości 2 m nad gruntem.

Jednym z najistotniejszych, ze względu na szkody powstałe w odnowieniach lasu w Górach Izerskich, letnich epizodów przymrozkowych, była sytuacja w dniach 20–23 lipca 1996 roku. Z uwagi na wyjątkowość (ekstremalność) pod względem głębokości spadku temperatury powietrza i czasu wystąpienia (środek sezonu wegetacyjnego) tego przymrozku konieczne wydaje się pełniejsze jego udokumentowanie i odniesienie do obszaru wykraczającego poza Góry Izerskie.

2. Obszar badań

Góry Izerskie stanowią skrajnie zachodnią część Sudetów Zachodnich i cechują się wyjątkowo dużym zasięgiem partii wierzchowinowych, wzniesionych ponad 800 m n.p.m. W przeciwieństwie do innych maszywów sudeckich wierzchowina Gór Izerskich nie jest rozcięta dolinami rzecznyymi, które są tu szerokie i płytkie i w wielu miejscach mają charakter rozległych, wysoko położonych, kotlin śródgórskich, czego przykładem jest rozległa Hala Izerska. Zajmuje ona powierzchnię ok. 400 ha i rozciąga się w strefie wysokościowej 820–880 m n.p.m. Charakter morfologii terenu, wraz z punktem pomiarowym Jagnięcy Potok na Hali Izerskiej, zobrazowano na fotografii 1.

Specyficzne cechy rzeźby Gór Izerskich (szerszy opis w dalszej części pracy) sprzyjają wyjątkowo silnym i częstym inwersjom termicznym, z którymi związane są intensywne przymrozki, szczególnie niebezpieczne dla drzewostanów w okresie wegetacyjnym.

Po przymrozkach z lipca 1996 r. w obrębach leśnych Świeradów i Szklarska Poręba powstały uszkodzenia upraw świerkowych obejmujące ponad 50% ich powierzchni, a w skrajnych przypadkach – w dnach kotlin śródgórskich – nawet do 90% (BULiGL 1998, 1999; fot. 2 i 3). Warstwa inwersyjna z bardzo niską temperaturą minimalną (T_{min}) powietrza była na tyle głęboka, że uszkodzenia pędu wierzchołkowego świerków wystąpiły nawet na wysokości 2 m n.p.g. Uszkodzenia objęły pędy w zewnętrznej części koron dorosłych (kil-



Fot. 1. Mgły radiacyjne na Hali Izerskiej, widoczne stanowisko pomiarowe Jagnięcy Potok (825 m n.p.m.), widok w kierunku NNW (fot. G. Urban; 4.VI.1999 r.)

Photograph 1. Radiation fog at the dale Hala Izerska, the Jagnięcy Potok measurement station (825 m), view towards NNW (photograph by G. Urban; June 4, 1999).



Fot. 2 i 3. Uszkodzenia świerka po epizodzie przymrozkowym w dniach 20–23.VII.1996 r., Hala Izerska w Górach Izerskich, okolice ujścia Jagnięcego Potoku (fot. M. Sobik, 01.08.1996 r.)

Photographs 2 and 3. Damage of spruce after the frost episode of July 20–23, 1996 at Hala Izerska in the Izera Mountains, near the estuary of stream Jagnięcy Potok (photograph by M. Sobik, August 1, 1996).

kudziesięcioletnich) świerków, które wskutek niemal corocznych uszkodzeń przymrozkowych przyjęły formę skarłowaciałą (krzacza).

Głębokie spadki temperatury minimalnej powietrza poniżej 0°C w środku lata są czynnikiem zakłócającym w sposób drastyczny funkcje życiowe ekosystemów leśnych. Uszkodzone i osłabione drzewostany stają się bardziej podatne na działanie czynników biotycznych, co w konsekwencji może doprowadzić do ich zupełnego zamarcia.

3. Dane źródłowe i metoda

Podstawę analizy stanowiły wyniki pomiarów temperatury powietrza zebrane przez autora w Górach Izerskich w ramach badań prowadzonych przez ówczesny Zakład Meteorologii i Klimatologii Uniwersytetu Wrocławskiego (ZMiK UW. 1995–2000). Dodatkowo wykorzystano dane meteorologiczne z lipca 1996 r. ze

stacji meteorologicznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) oraz z Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska (WIOŚ) w Jeleniej Górze zlokalizowanych w Górach Izerskich i ich sąsiedztwie. Dane z tych stacji stanowiły tło sytuacyjne oraz stwarzały możliwość weryfikacji i uzupełnienia własnych pomiarów. Rozmieszczenie przestrzenne stacji pomiarowych wykorzystanych w niniejszej pracy i ich charakterystykę obrazują tabela 1 i rycina 1.

Analiza sytuacji barycznej i warunków pogodowych nad Europą i Polską, ze szczególnym uwzględnieniem rejonu Gór Izerskich, została przeprowadzona na podstawie: map synoptycznych za okres 19–22.07.1996 r., codziennych biuletynów meteorologicznych IMGW za okres 19–23.07.1996 r., biuletynu Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej IMGW z lipca 1996 r., diagramów i danych z sondażu aerologicznego dla Wrocławia i Pragi oraz informacji z serwisów inter-

netowych: www.knmi.nl, www.imgw.pl, www.chmi.cz, www.weather.uwoyo.edu.

Niezbędne dane na temat rozmiarów szkód w drzewostanach uzyskano z Biura Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej w Brzegu (BULiGL 1998 i 1999).

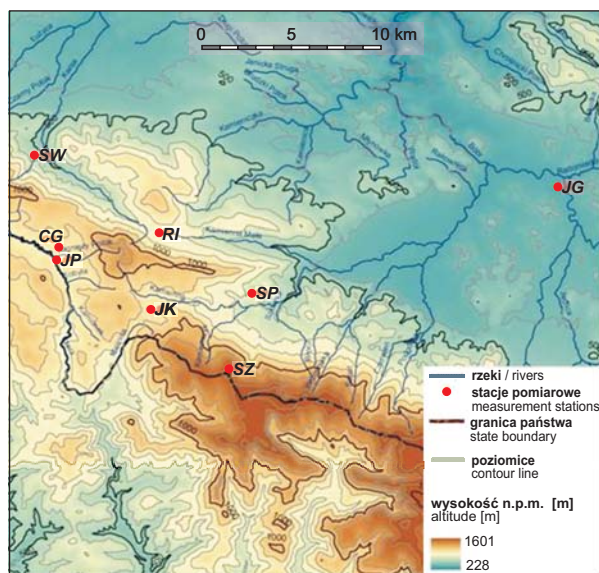
W pracy określono prawdopodobieństwo wystąpienia w lipcu na Hali Izerskiej T_{min} dobowej równej $-5,5^{\circ}\text{C}$, a więc najniższej zarejestrowanej podczas omawianego epizodu przymrozkowego. Prawdopodobieństwo obliczono na podstawie dostępnych danych T_{min} dobowych z lipca dla czterech lat: 1998, 1999, 2004 i 2006. Stwierdzono, że wielkość T_{min} podlega rozkładowi normalnemu z parametrami: średnią równą $6,68^{\circ}\text{C}$ oraz odchyleniem standardowym równym $3,842^{\circ}\text{C}$. Fakt ten ustalono za pomocą testu zgodności Chi-kwadrat. Obliczone prawdopodobieństwo wyniosło $2,4\%$, co oznacza powtarzalność zjawiska co 40–50 lat.

Tabela 1. Stacje pomiarowe w Górach Izerskich i okolicy

Table 1. Measurement stations in the Izera Mountains and surrounding area

Stanowisko pomiarowe Measurement station	Skrót Abbreviation	Wysokość [m n.p.m.] Altitude [m a.s.l.]	Przyjna leżność* Operator*	Forma terenu Type of terrain
Jelenia Góra	JG	341	IMGW	wklęsła, dno Kotliny Jeleniogórskiej concave landform, Jelenia Góra Basin floor
Świeradów Zdrój	ŚW	543	IMGW	wypukła, stok o ekspozycji NE, ok. 80 m nad dnem doliny Kwisy convex landform, hilltop with a NE exposure, about 80 m above the Kwisa river valley floor
Szklarska Poręba	SP	650	IMGW	wklęsła, dolna część N stoku Szrenicy, prawa strona doliny Kamieńczyka ok. 20 m ponad korytem Kamieńczyka concave landform, lower N portion of Szrenica slope, right side of the Kamieńczyk river valley, about 20 m above the Kamieńczyk stream bed
Rozdroże Izerskie	RI	770	WIOŚ	wypukła, stok tuż nad szeroką otwartą przełęczą łączącą Wysoki Grzbiet z Grzbietem Kamienickim convex landform, slope just above a broad open mountain pass connecting Wysoki Grzbiet and Kamienicki Grzbiet
Jagnięcy Potok	JP	825	ZMiK UW r	wklęsła, terasa zalewowa na Hali Izerskiej, lewy brzeg Izery i lewy brzeg Jagnięcego Potoku w odległości ok. 100 m od tych cieków; ok. 3–4 m nad lustrem wody w Izerze, teren otwarty trawiasty concave landform, flood plain at mountain dale Hala Izerska, left bank of the Izera and left bank of the Jagnięcy Potok, about 100 m from these watercourses, about 3–4 m above the water level of the Izera river, open, grassy area
Chatka Górzystów na Hali Izerskiej	CG	840	ZMiK UW r	wklęsła, dolna część zboczy doliny Izery, teren otwarty trawiasty / concave landform, lower part of the slope of the Izera river valley, open and grassy
Jakuszyce	JK	860	IMGW	obniżenie w obrębie rozległej przełęczy, prawy brzeg Kamiennej, terasa nadzalewowa concave landform, in the vicinity of a broad mountain pass, right bank of the Kamienna river, flood plain
Szrenica	SZ	1332	ZMiK UW r	wypukła, górna część stoku WSW convex landform, upper part of the slope WSW

* IMGW – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, WIOŚ – Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, ZMiK UW r – Zakład Meteorologii i Klimatologii Uniwersytetu Wrocławskiego



Rycina 1. Rozmieszczenie stacji pomiarowych na tle rzeźby terenu. Objasnienia skrótów w tabeli 1
Figure 1. Location of measurement stations. Key to abbreviations is presented in Table 1

4. Wyniki i dyskusja

4.1. Meteorologiczno-morfologiczne uwarunkowania epizodu pogodowego w dniach 20–23.07.1996 r.

W dniach 20–23.07.1996 r. Polska znajdowała się pod wpływem wału wysokiego ciśnienia o osi NE-SW. Związana z tym układem barycznym (o bardzo słabym poziomym gradiencie ciśnienia atmosferycznego) masa powietrza arktycznego starego (PAs), cechująca się małą wilgotnością względną i dużą przezroczystością, sprzyjała intensywnemu wypromieniowaniu ciepła z gruntu, a w konsekwencji powstaniu bardzo głębokiego przymrozku radiacyjnego.

Charakter masy powietrza dobrze oddają dane z sondażu atmosfery wykonanego w dniu 21 lipca 1996 r. nad Wrocławiem (tab. 2). Z materiałów tych wynika, że dla ciśnienia 925 hPa na poziomie 875 m n.p.m., a więc na wysokości odpowiadającej Hali Izerskiej, masa powietrza była stosunkowo sucha (wilgotność względna 57%, wyznaczony z tablic psychrometrycznych niedosyt wilgotności wynosił 5,03 hPa), prędkość wiatru z kierunku N wynosiła ok. 4 m/s (tab. 2).

Wykonano również pionowy sondaż atmosfery nad Pragą (położoną na wysokości 305 m n.p.m. po drugiej stronie Gór Izerskich). Wskazał on, że parametry wilgotności masy powietrza przy ciśnieniu 925 hPa były

Tabela 2. Dane z sondażu aerologicznego nad Wrocławiem z dnia 21.VII.1996 r. z godz. 00 UTC [źródło: www.weather.uwoyo.edu/upperair/sounding.html]
Table 2. Data from a weather balloon above Wrocław on July 21, 1996 at the hour of 00:00 UTC [source: www.weather.uwoyo.edu/upperair/sounding.html]

<i>P</i>	<i>H</i>	<i>T</i>	<i>Td</i>	<i>U</i>	<i>Mixr</i>	<i>V</i>	<i>L</i>
hPa	m	°C	°C	%	g/kg	m/s	0–360°
1012,0	119	12,2	6,2	67	5,91	0	0
1001,0	211	11,8	6,8	71	6,23	5	10
996,0	253	12,8	6,8	67	6,26	7	15
991,0	296	13,8	6,8	63	6,29	8	40
985,0	347	13,4	6,3	62	6,12	8	60
925,0	875	9,4	1,4	57	4,60	4	5
903,0	1073	7,7	0,7	61	4,48	3	40
850,0	1572	3,4	-1,0	73	4,20	5	355
811,0	1947	0,6	-2,8	78	3,85	5	25
792,0	2136	-0,8	-3,7	81	3,69	5	10
750,0	2570	-4,1	-5,8	88	3,32	6	40
723,0	2862	-6,3	-7,2	93	3,09	5,5	26
719,0	2960	-6,7	-11,6	68	2,20	5,5	24
707,0	3038	-4,5	-25,5	18	0,68	5	17
703,0	3082	-4,6	-25,6	18	0,68	5	15
700,0	3116	-4,7	-25,7	18	0,68	6	5

Objasnienia: *P* – ciśnienie atmosferyczne, *H* – wysokość bezwzględna, *T* – temperatura powietrza, *Td* – temperatura punktu rosy, *U* – wilgotność względna powietrza, *Mixr* – stosunek zmieszania pary wodnej, *V* – prędkość wiatru, *L* – kierunek wiatru
Key: *P* – atmospheric pressure, *H* – altitude, *T* – air temperature, *Td* – dew point temperature, *U* – humidity, *Mixr* – the mixing ratio of water vapor, *V* – wind velocity, *L* – wind direction

podobne jak nad Wrocławiem (niedosyt wilgotności wyznaczony z tablic psychrometrycznych osiągnął 6,2 hPa). Masa była więc stosunkowo sucha, co sprzyjało wypromieniowaniu ciepła z gruntu.

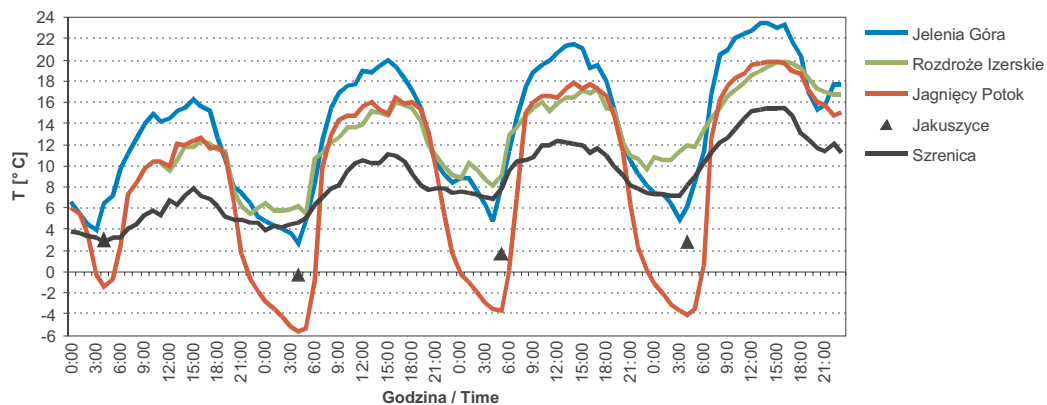
W dniu 21 lipca, a więc w środku sezonu wegetacyjnego, w punkcie pomiarowym Jagnięcy Potok (JP) na wysokości 2 m nad powierzchnią gruntu zanotowano temperaturę powietrza: $-5,5^{\circ}\text{C}$, a w kolejnych czterech dniach temperaturę poniżej 0°C . W tych samych dniach w stacjach, w których były warunki sprzyjające do powstawania mrozowisk, takich jak Jakuszyce (JK) czy Jelenia Góra (JG), temperatury minimalne były o kilka $^{\circ}\text{C}$ wyższe. Przy czym tylko w Jakuszczykach T_{\min} w dniu 21 lipca spadła poniżej 0°C i wynosiła: $-0,3^{\circ}\text{C}$ (ryc. 2).

Podczas trwania tego epizodu pogodowego zaszła się całonocna radiacyjna inwersja termiczna, wyraźnie widoczna w kolejnych czterech nocach, pomiędzy stacjami JP i SZ. Inwersja wystąpiła również pomiędzy stanowiskami JG i SZ, lecz zaznaczona nieco krócej i słabiej, gdyż trwała tylko przez kilka godzin podczas trzech ostatnich nocy – odpowiednio przez 5, 2 i 4 godziny. Inwersja termiczna zanikała w godzinach

przedpołudniowych, a spadek temperatury powietrza wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza był zbliżony do gradientu suchoadiabatycznego, tzn. ok. $1,0^{\circ}\text{C}$ na 100 m przyrostu wysokości (ryc. 2).

Na uwagę zasługuje fakt, że na Rozdrożu Izerskim (RI), położonym także we wnętrzu Gór Izerskich i zaledwie o ok. 50 m niżej niż punkt Jagnięcy Potok (JP), temperatura minimalna ani razu nie spadła poniżej $+5,0^{\circ}\text{C}$. W dniu 21 lipca osiągnęła wartość $+5,4^{\circ}\text{C}$. Wyraźnie zaznaczył się tutaj wpływ formy terenu na rozkład minimalnej temperatury powietrza. W przypadku JP płaskodenna kotlina śródgórska sprzyjała tworzeniu się zastoisk zimnego powietrza, a w przypadku RI przełęcz dawała możliwość odpływu zimnego powietrza w dół doliny.

Na podstawie związku temperatury minimalnej powietrza na wysokości 2 m i 0,05 m n.p.g. przy antycykonalnym typie cyrkulacji w punkcie CG na Hali Izerskiej stwierdzić można, że dnia 21 lipca 1996 r. T_{min} przy gruncie mogła osiągnąć lokalnie wielkość nawet $-10,0^{\circ}\text{C}$ (Urban 2002). Wielkości temperatury minimalnej powietrza, zarejestrowane w dniach 20–23.07.1996 r. na innych stacjach pomiarowych IMGW w Polsce, nigdzie nie osiągnęły tak niskich wartości jak w centrum Hali Izerskiej na stanowisku Jagnięcy Potok (tab. 3). Nawet w dnie Kotliny Jeleniogórskiej, w stacji Jelenia Góra, gdzie w klatce meteorologicznej zmierzono absolutne minimum temperatury powietrza w Polsce po II wojnie światowej, wynoszące: $-36,9^{\circ}\text{C}$ (Kuziemska 1983), tego dnia T_{min} wyniosła $+3,0^{\circ}\text{C}$ (tab. 3).



Rycina 2. Przebieg dobowy temperatury powietrza w wybranych stanowiskach pomiarowych w dniach 20–23.07.1996 r. Objasnienia skrótów legendy w tabeli 1.

Figure 2. Diurnal course of air temperature at selected measurement stations for July 20–23, 1996. Key to abbreviations is presented in Table 1.

Tabela 3. Temperatura minimalna powietrza na wysokości 2 m (T_{min}) i 0,05 m (T_{min+5}) nad powierzchnią gruntu w wybranych stacjach synoptycznych IMGW w Polsce w dniach 20–23.07.1996 r. [$^{\circ}\text{C}$] (Źródło: Codzienny Biuletyn Meteorologiczny IMGW)

Table 3. Minimal air temperature at a height of 2 m (T_{min}) and 0.05 m (T_{min+5}) above ground level at selected IMWM synoptic stations in Poland for July 20–23, 1996 [$^{\circ}\text{C}$] (Source: Codzienny Biuletyn Meteorologiczny IMGW)

Stacja pomiarowa Synoptic station	20.07.1996	21.07.1996	22.07.1996	23.07.1996
	T_{min} / T_{min+5}	T_{min} / T_{min+5}	T_{min} / T_{min+5}	T_{min} / T_{min+5}
Białystok	10 / 9	7 / 6	8 / 6	8 / 3
Jelenia Góra	4 / 1	3 / 1	5 / 2	5 / 2
Kasprowy Wierch	0 / ×	-1 / ×	4 / ×	1 / ×
Kłodzko	6 / 3	4 / 2	6 / 4	6 / 3
Lębork	13 / 13	12 / 10	4 / 1	7 / 4
Przemyśl	10 / 9	9 / 8	8 / 7	9 / 7
Resko	5 / 1	6 / 3	6 / 3	8 / 6
Siedlce	10 / 10	6 / 5	6 / 4	5 / 3
Suwałki	10 / 9	6 / 4	7 / 5	8 / 2
Śnieżka	1 / ×	2 / ×	5 / ×	6 / ×
Wrocław	8 / 6	6 / 3	9 / 5	7 / 4
Zakopane	7 / 7	4 / 3	4 / 4	4 / 2

× – pomiaru nie dokonuje się / measurements not made

Główne cechy rzeźby Gór Izerskich, a więc progi orograficzne od zachodu i północy o dużych wysokościach względnych, a w obrębie centralnej części gór obecność rozległych płaskodennych obniżień terenowych, o małym spadku podłużnym, w wielu miejscach mających charakter rozległych kotlin śródgórskich, powodują powstanie warunków klimatycznych odmiennych niż w innych pasmach sudeckich. Zamknięte obniżenia terenu na wysokości ponad 750 m n.p.m. są unikatowym elementem rzeźby terenu w skali Sudetów (Migoń 1998).

Nieckowate zagłębienia w strefie wierzchowinowej gór stanowią miejsca, w których w warunkach antycyklonalnej pogody radiacyjnej gromadzi się zimne powietrze spływające z otaczających stoków, tworząc zastoiska chłodnego powietrza. Zastoiska (mrozowiska, zmrozowiska) te odgrywają istotną rolę w kształtowaniu się warunków egzystencji zbiorowisk roślinnych. Dodatkowym czynnikiem sprzyjającym tworzeniu się intensywnych inwersji radiacyjnych było silne wylesienie wierzchoin i stoków górskich, będące skutkiem klęski ekologicznej, co ułatwiało grawitacyjne spływanie zimnego powietrza w doliny. Zapewne istotny jest również brak we wnętrzu Gór Izerskich osadnictwa, które w innych obszarach – poprzez emisję z palenisk domowych – przyczynia się do zmniejszenia ucieczki ciepła drogą nocnego wypromieniowania w paśmie dalekiej podczerwieni (Sobik 1998).

Powyższe czynniki powodują częste i intensywne inwersje termiczne, które w ciepłej części roku ograniczają się do nocnej pory doby i dotyczą przede wszystkim temperatury minimalnej T_{min} . W chłodnej części roku inwersje temperatury powietrza są znacznie częstsze, silniejsze i trwające dłużej; obejmujące poza T_{min} także temperaturę średnią dobową T_s , a nawet średnią miesięczną minimalną temperaturę i średnią miesięczną, a sporadycznie również temperaturę maksymalną T_{max} (Sobik, Urban 2000; Urban 2002). Z uwagi na stosunkowo niewielkie rozmiary horyzontalne obniżień śródgórskich, do których zalicza się Hala Izerska, temperatura powietrza jest dodatkowo obniżona wskutek braku ocieplającego wpływu fenu, który ma istotne znaczenie w kształtowaniu się warunków termicznych na północnych stokach Karkonoszy i Gór Izerskich oraz w rozległej, sąsiedniej Kotlinie Jeleniogórskiej.

W celu sprawdzenia częstości i intensywności występowania spadków T_{min} powietrza poniżej $0,0^{\circ}\text{C}$ w środku sezonu wegetacyjnego przeanalizowano dostępne dane pomiarowe dotyczące centrum Gór Izerskich (Deutsches Meteorologisches Jahrbuch 1934–1938; IMGW; UW r). Na tym obszarze spadki T_{min} poniżej $0,0^{\circ}\text{C}$ na wysokości 2 m nad poziomem gruntu występowały stale, jednak nie były one aż tak głębokie jak w 1996 r. Najniższa zmierzona T_{min} powietrza w lipcu na

Hali Izerskiej w latach 1934–1938 wyniosła: $-1,5^{\circ}\text{C}$ w 1935 r., na stacji meteorologicznej IMGW w Jakuszycach w latach 1972–2013, $-0,7^{\circ}\text{C}$ w 1976 r., a w stanowiskach pomiarowych UW r funkcjonujących od 1995 r. (Jagnięcy Potok, Chatka Górzystów na Hali Izerskiej): $-5,5^{\circ}\text{C}$ w 1996 r. w Jagnięcym Potoku.

Najdłużej, nieprzerwanie od 1972 r., pomiary temperatury powietrza są prowadzone w stacji meteorologicznej IMGW w Jakuszycach, reprezentującej warunki zbliżone do tych panujących w centrum Gór Izerskich. Średnia roczna temperatura powietrza w obu lokalizacjach wynosi ok. $4,0^{\circ}\text{C}$. Natomiast średnie minimum roczne jest niższe, a średnie minima miesięczne są niemal w każdym miesiącu niższe w centrum Hali Izerskiej, reprezentowanej przez stanowisko w Jagnięcym Potoku (JP) czy w Chatce Górzystów (CG), niż w Jakuszycach (JK). Największe różnice średniej miesięcznej minimalnej temperatury powietrza pomiędzy JP czy CG a JK w cieplej porze roku wynoszą około $1,0^{\circ}\text{C}$, z maksimum w sierpniu i we wrześniu wynoszącym odpowiednio $1,4^{\circ}\text{C}$ i $1,3^{\circ}\text{C}$ (Urban 2002). Jednak w porze cieplej, w antycyklonalnym typie pogody (podczas której różnice są największe), dobowa T_{min} powietrza w centrum Hali Izerskiej jest zwykle wyraźnie niższa niż w Jakuszycach – średnio o ok. $2,0^{\circ}\text{C} \div 2,5^{\circ}\text{C}$. W przypadku stanowiska w Jagnięcym Potoku T_{min} jest niższa niż w Jakuszycach nawet do $2,7^{\circ}\text{C}$. Maksymalne różnice T_{min} pomiędzy wnętrzem Hali Izerskiej a Jakuzycami osiągają wielkość nawet $10,0^{\circ}\text{C} \div 11,0^{\circ}\text{C}$ (Urban 2002).

Do chwili obecnej w Jakuszycach T_{min} w lipcu spadała poniżej $0,0^{\circ}\text{C}$ tylko 5 razy w latach: 1972, 1976, 1989, 1990, 1996. W analizowanym epizodzie przymrozkowym w lipcu 1996 r. zmierzona wartość temperatury wyniosła $-0,3^{\circ}\text{C}$. W rozdziale 3 wspomniano, że obliczone prawdopodobieństwo wystąpienia przymrozku w centrum Hali Izerskiej o wartości $-5,5^{\circ}\text{C}$ w lipcu wynosi 2,4%. Zatem można stwierdzić, że tak głębokie spadki temperatury powietrza w środku sezonu wegetacyjnego zdarzają się tam średnio raz na ok. 40–50 lat.

4.2. Ranga lipcowego przymrozku w Górach Izerskich

Pomiary analogiczne do prowadzonych w Górach Izerskich wykonali w Szwecji Lindkvist i in. (2000). Prowadzili oni pomiary topoklimatyczne w górach południowej Szwecji, na wysokości pomiędzy 500 a 1200 m n.p.m., w okresie lipiec–sierpień 1996 r., w zbliżonych warunkach terenowych i klimatycznych. Podczas gdy na Hali Izerskiej zanotowano w lipcu 1996 roku temperaturę $-5,5^{\circ}\text{C}$, w Szwecji ani w dolinach V-kształtnych ani też w U-kształtnych, na wysokości ok. 650–800 m n.p.m., T_{min} nie spadła poniżej $-4,0^{\circ}\text{C}$ (Lindkvist et al. 2000). Fakt ten, przy uwzględnieniu adwekcji arktycznej

masy z północy, może tylko podkreślić głębokość spadku T_{min} w lipcu 1996 r. na Hali Izerskiej i siłę tego zjawiska, uwarunkowanego specyficzną morfologią Gór Izerskich.

W południowej Szwecji, w okresie czerwiec–wrzesień 1994 r. i 1995 r., najniższa temperatura powietrza na wysokości 1,5 m nad gruntem była zanotowana w lipcu $-3,2^{\circ}\text{C}$ i w sierpniu $-9,2^{\circ}\text{C}$ (w dniu kotłiny śródgórskiej), mimo że okresem o najniższej temperaturze minimalnej (od -10°C do -15°C) związanej z radiacyjnym przymrozkiem w tym regionie jest zazwyczaj koniec września, czyli schyłek okresu wegetacyjnego (Lindkvist, Lindqvist 1997). Radiacyjne przymrozki opisane przez Lindkvista trwały przeciętnie po kilka godzin.

Należy zdawać sobie sprawę z faktu, że aby nastąpiło silne uszkodzenie i odwodnienie tkanek drzew (*Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Betula* sp.) stanowiących główny składnik lasów górskich, wystarczy w środku sezonu wegetacyjnego lekki przymrozek (od -2 do -3°C) trwający około 3–4 godziny (Lindkvist, Lindqvist 1997; Weiser 1970). W dniach 21–23 lipca 1996 r. przymrozek na Hali Izerskiej trwał odpowiednio 6, 3 i 5 godzin.

Świerk występujący w Sudetach wykazuje dużą odporność na mrozy zimowe. W okresie zimowego spoczynku może wytrzymać temperaturę powietrza do -40°C , lecz w okresie wzrostu jego mrozoodporność spada i sięga od -3°C do -7°C (Mikułowski 1997a, 1998). Późne przymrozki wiosenne powodują więcej strat niż wczesne jesienne (Giertych 1977). Jednoroczne i dwuletnie igły świerka są najbardziej wrażliwe na przymrozki w czerwcu. Gatunek ten w pierwszych latach życia rośnie stosunkowo wolno, w wieku 5 lat dorasta do 0,5 m, a wieku około 10 lat osiąga wysokość 1–2 m (Mikułowski 1997a). Do tego czasu jest on szczególnie narażony na przygruntowe przymrozki.

Według Modrzyńskiego (1989) i Mikułowskiego (1997b) skutek działania mrozu i innych czynników abiotycznych, już w stadium uprawy następuje prawie całkowita eliminacja ekotypów świerka przeniesionych z drastycznie innego środowiska.

Analiza warunków topoklimatycznych w górach wskazuje, iż często w niższych położeniach n.p.m. występują warunki niekorzystne dla wzrostu drzew, m.in. z uwagi na inwersje temperatury we wklęsłych formach terenu, prowadzące do powstawania zmrozowisk. Ze względu na wyższą średnią roczną temperaturę powietrza w niższych położeniach hipsometrycznych posadzone tam drzewka rozpoczynają wzrost wcześniej niż w położeniach wyższych, przez co są bardziej wrażliwe na szokowe oddziaływanie temperatury powietrza, zwłaszcza w obszarach, w których występują zmrozowiska (mrozowiska), niż drzewka rosnące w wyższych położeniach n.p.m. (Mikułowski 1995ab).

5. Podsumowanie

Scharakteryzowany epizod przymrozkowy w dniach 20–23 lipca 1996 r. uwarunkowany był specyficzną morfologią terenu centralnej części Gór Izerskich (nieckowate, wysoko położone, wylesione plateau, o minimalnym spadku podłużnym) oraz fizycznymi właściwościami masy powietrza (sucha, arktyczna, o dużej przezroczystości).

Wielogodzinne, głębokie spadki T_{min} na wysokości 2 m n.p.g. poniżej 0°C w centrum Gór Izerskich, w kolejnych czterech dobach (z minimum w dn. 21.07.1996 r. wynoszącym $-5,5^{\circ}\text{C}$), w pełni sezonu wegetacyjnego, spowodowały ogromne straty w gospodarce leśnej. Po tym przymrozku uszkodzenia drzewostanów we wnętrzu Gór Izerskich oszacowano nawet do 90% ich powierzchni. Przytoczona wartość temperatury minimalnej powietrza z klatki meteorologicznej wynosząca $-5,5^{\circ}\text{C}$ jest jak do tej pory najniższą zmierzoną wartością na tym obszarze w środku lata.

Obliczone prawdopodobieństwo wystąpienia przymrozku w centrum Hali Izerskiej o wartości $-5,5^{\circ}\text{C}$ w lipcu wynosi 2,4%. Zatem można stwierdzić, że tak głębokie spadki temperatury powietrza w pełni sezonu wegetacyjnego (środek lata) zdarzają się tam średnio raz na 40–50 lat lub rzadziej.

Wnętrze Gór Izerskich, reprezentowane przez Halę Izerską wraz z bocznymi dolinami takimi jak dolina Jągnięcego Potoku, jest jednym z najzimniejszych lub nawet najzimniejszym miejscem w Polsce pod względem absolutnych minimów temperatury powietrza w okresie wegetacyjnym.

Reasumując, można przypuszczać, że opisany w pracy epizod przymrozkowy w Górach Izerskich z lipca 1996 r. pod względem czasu wystąpienia i intensywności miał skrajnie ekstremalny charakter. Głębokie, nocne spadki T_{min} poniżej 0°C w okresie wegetacyjnym zdarzają się we wnętrzu Gór Izerskich niemal corocznie, powodując istotne szkody w uprawie i hodowli lasu.

Jak wynika z przedstawionego przeglądu zagadnień klimatycznych, botanicznych i leśnych Gór Izerskich, zbadanie warunków termicznych, szczególnie na obszarach zmrozowiskowych, może mieć znaczenie nie tylko poznawcze i wzbogacać naszą wiedzę o klimacie Sudetów i Polski, ale także praktyczne.

W warunkach górskich znajomość oddziaływania klimatu na drzewostany m.in. poprzez czynniki termiczne powinna pozwolić na optymalizowanie działań z zakresu hodowli lasu, a w efekcie końcowym na racjonalizację nakładów finansowych. Działania te mogą polegać między innymi na dostosowaniu składu gatunkowego i struktury przestrzennej odnowień, doborze właściwego rodzaju materiału sadzeniowego, a – na zmrozowiskach, tj. w strefach o najczęstszych i naj-

głębszych przymrozkach, nawet na zaniechaniu odnowień (zalesień). Ponadto należy uwzględnić odrębność klimatyczną kotlin śródgórskich i dolin, stoków oraz wierzchołków leżących na zbliżonych wysokościach nad poziomem morza.

Podziękowania

Na wykonanie badań nie otrzymano żadnego dofinansowania.

Literatura

- Biuletyn Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej IMGW-PIB. Nr 7/1996.
- BULiGL 1999. Plan Urządzenia Gospodarstwa Leśnego Nadleśnictwa Szklarska Poręba na okres od 1.I.1999 r. do 31.XII.2008 r., stan na 1.I.1999 r. Brzeg, Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej Oddział w Brzegu.
- BULiGL 1998. Plan Urządzenia Gospodarstwa Leśnego Nadleśnictwa Świeradów na okres od 1.I.1998 r. do 31.XII.2007 r., stan na 1.I.1998 r. Brzeg, Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej Oddział w Brzegu.
- Codzienny Biuletyn Meteorologiczny. 19–23.07.1996. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Deutsches Meteorologisches Jahrbuch. Teil II: Monats und Jahresergebnisse 1934–1938. Deutsches Reich. Reichsamt für Wetterdienst. Berlin.
- Giertych M. 1977. Genetyka, w: Świerk pospolity *Picea abies* (L.) Karst. Warszawa–Poznań, PWN, s. 287–331.
- Gil W., Zachara T. 2006. Analiza szkód od wiatru w wybranych drzewostanach świerkowych i sosnowych. *Leśne Prace Badawcze* 4: 77–99.
- Kuziemska D., 1983. O zakresie zmienności temperatury powietrza w Polsce. *Przegląd Geofizyczny* 28, 3–4: 329–343.
- Lindkvist L., Lindkvist S. 1997. Spatial and temporal variability of nocturnal summer frost in elevated complex terrain. *Agricultural and Forest Meteorology* 87: 139–153.
- Lindkvist L., Gustavsson T., Bogren J. 2000. A frost assessment method for mountainous areas. *Agricultural and Forest Meteorology* 102: 51–67.
- Migoń P. 1998. Rzeźba Gór Izerskich jako podłoże topoklimatycznego i ekologicznego różnicowania obszaru, w: K. Migąła, M. Sobik (red.) *Problemy klimatyczno-botaniczne Gór Izerskich*, 21–23.IX.1998, Świeradów Zdrój, s. 17.
- Mikułowski M. 1995a. Koncepcja nowych form odnawiania lasu na obszarze kleśki ekologicznej w Sudetach (II). *Las Polski*, 19: 4–6.
- Mikułowski M. 1995b. Produkcja sadzonek na różnych wysokościach nad poziomem morza. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, B, 25: 173–195.
- Mikułowski M., 1997a. Klimatyczne uwarunkowania zamierania i restytucji lasu w Sudetach Zachodnich. *Biuletyn Informacyjny Polskiego Towarzystwa Geofizycznego* 2: 3–8.
- Mikułowski M. 1997b. Problem występowania niesprzyjających warunków atmosferycznych w hodowli lasu. Biblioteczka Leśniczego, 84, Warszawa, Wyd. Świat, s. 1–16.
- Mikułowski M. 1998. Zagrożenie upraw spowodowane niską temperaturą. *Las Polski* 20: 8–9.
- Mikułowski M. 2002. Śnieg – sprawca leśnych szkód. *Głos Lasu* 2: 10–12.
- Modrzyński J., 1989. Środowiskowe przystosowania i pochodzenie świerka pospolitego (*Picea abies* (L) Karst.) w Karkonoskim Parku Narodowym. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu* 192: 5–98.
- Sobik M. 1998. Specyficzne cechy klimatu Gór Izerskich [w:] K. Migąła, M. Sobik (red.) *Problemy klimatyczno-botaniczne Gór Izerskich*, 21–23.IX.1998, Świeradów Zdrój, s. 29.
- Sobik M., Urban G., 2000: Warunki termiczne zlewni Kaminionka w Górach Izerskich. *Acta Universitatis Wratislaviensis, Studia Geographica* 2269, 74: 143–157.
- Urban G., Bańkowski J., Sobik M. 2000. Wpływ warunków termicznych na wzrost świerka w Górach Izerskich. *Opera Corcontica* 37, 2: 532–535.
- Urban G. 2002. Warunki termiczne obszarów mrozowiskowych Gór Izerskich i ich wpływ na wzrost lasu. Praca doktorska. Zakład Meteorologii i Klimatologii. Instytut Geograficzny. Uniwersytet Wrocławski, s. 165.
- Urban G., Sobik M., Błaś M. 2005. Pośrednie i bezpośrednie znaczenie klimatu w funkcjonowaniu ekosystemów leśnych Gór Izerskich, w: Kostrzewski A. i Kolander R. (red.) *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie geosystemów Polski w warunkach zmian klimatu i różnokierunkowej antropopresji*. Poznań, Wydawnictwo Naukowe „Bogucki”: 575–586.
- Urban G., Gil W., Zachara T. 2011. Szkody wyrządzone przez goleńdz i śnieg na przykładzie Nadleśnictwa Herby, na tle panujących warunków pogodowych w styczniu 2010 roku. *Leśne Prace Badawcze* 3: 289–295. doi: 10.2478/v10111-011-0029-2.
- Weiser C. J. 1970. Cold resistance and injury in woody plants. *Science* 169: 1269–1278.
- Zachara T. 2006. Problem szkód w lasach powodowanych przez śnieg i wiatr oraz sposoby przeciwdziałania im. *Sylvan* 10: 56–64.
- Zachara T., Urban G., Gil W. 2007. Śniegołomy na terenie RDLP w Olsztynie – analiza zjawiska na przykładzie epizodu w dniach 01–07.11.2006 r. *Leśne Prace Badawcze*, 4: 133–142.
- Zajączkowski J. 1984. Postępowanie hodowlane a odporność drzewostanów sosnowych na szkody powodowane przez śnieg. *Sylvan*, 9: 19–27.
- Zajączkowski J. 1991. Odporność lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu. Warszawa, Wyd. Świat, s. 224.
- ZMiK UWr. 1995–2000. Temat badawczy „Warunki klimatyczne obszarów zurbanizowanych i górskich Polski Południowo-Zachodniej (na przykładzie Wrocławia, Karkonoszy, Masywu Śnieżnika i Gór Izerskich)”. Zakład Meteorologii i Klimatologii Instytutu Geograficznego Uniwersytetu Wrocławskiego.