PRZEGLĄD GEOFIZYCZNY

Rocznik LXVI 2021 Zeszyt 1-2

Bartłomiej MISZUK

INSTYTUT METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ – PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

WARUNKI TERMICZNE I BIOTERMICZNE NA DOLNYM ŚLĄSKU W 2019 ROKU

THERMAL AND BIO-THERMAL CONDITIONS IN LOWER SILESIA IN 2019

Wstęp

Według ostatnich raportów klimatycznych rok 2019 był jednym z najcieplejszych na świecie w historii pomiarów meteorologicznych. Znaczący wzrost temperatury powietrza względem ostatnich lat, zwłaszcza w porównaniu do okresu wieloletniego, znalazł odzwierciedlenie w opracowaniach przedstawionych m.in. przez WMO (2019) i NOAA (2019). Wyniki pomiarów przedstawione w raporcie WMO (2019) pokazały, że lata 2015-2018 były czterema najcieplejszymi w dotychczasowej historii pomiarów, a rok 2019 był pod względem termicznym z nimi porównywalny. Podkreślono również, że średnia temperatura z okresu 5-letniego 2015-2019 cechowała się jednymi z najwyższych wartości i była o 1,3°C wyższa w stosunku do epoki preindustrialnej i 0,3°C wyższa niż stwierdzona w latach 2011-2015. We wcześniejszym okresie, tj. od końca XIX wieku do lat 2006-2015, średnia temperatura powietrza na świecie wzrosła od 1,38°C do 1,68°C (IPCC 2019). W ostatnich latach szczególnie wysokimi wartościami temperatury powietrza, zarówno na świecie jak i w Polsce, cechowały się lata 2015 i 2018 (Krzyżewska i in. 2016; Sulikowska i in. 2016; Hoy i in. 2017; Urban i in. 2017; Wibig 2018; Kornhuber i in. 2019; Tomczyk, Bednorz 2020), co znalazło odzwierciedlenie m.in. w niekorzystnym oddziaływaniu nadmiernego stresu gorąca na organizm człowieka (Krzyżewska i in. 2016; Muthers i in. 2017; Urban i in. 2017, Krzyżewska i in. 2019; Miszuk 2019). Należy wspomnieć, że sytuacje pogodowe odznaczające się dużym natężeniem stresu gorąca przyczyniły się nawet do zwiększenia liczby zgonów w pierwszych latach obecnego stulecia (Kuchcik 2006, 2017; Błażejczyk, McGregor 2007; Twardosz 2009; Kossowska-Cezak 2010; Gabriel, Endlicher 2011; Twardosz, Kossowska-Cezak 2013; Idzikowska 2011; Kuchcik 2017; Urban i in. 2017; DiNapoli i in. 2018; Graczyk i in. 2019).

W roku 2019 znaczne anomalie zostały także przedstawione w raporcie NOAA (2019), w świetle którego rok ten był drugim najcieplejszym w 140-letniej historii po-

 DOI: 10.32045/PG-2021-020

miarów. W niektórych regionach Europy Środkowej średnia roczna temperatura w 2019 r. była najwyższa w historii pomiarów, a w szczytowych piętrach Alp odnotowano najwyższe absolutne wartości (van Oldenborgh i in. 2019).

Badania dotyczące zmian warunków termicznych i biometeorologicznych w okresie wieloletnim, przeprowadzone w ramach polsko-niemieckich projektów NEYMO, NEYMO-NW, KLAPS oraz TRANSGEA, pokazały, że w zachodniej części województwa dolnośląskiego w ciągu ostatnich kilku dekad znacznie wzrosła temperatura powietrza, co skutkowało również zwiększeniem frekwencji dni upalnych i gorących oraz mniejszą częstością dni mroźnych i przymrozkowych (Adynkiewicz-Piragas i in. 2014, 2016; Mehler i in. 2014). Wraz z rosnącą temperaturą powietrza, wzrosły również wartości wskaźników biotermicznych (Mehler i in. 2014; Miszuk i in. 2016). W konsekwencji zmieniła się również struktura częstości odczuć/obciążeń cieplnych, określana za pomocą tych wskaźników. W ciągu kilkudziesięciu lat wyraźnie wzrosła częstość dni z dużym natężeniem stresu gorąca, przy malejącej tendencji częstości sytuacji pogodowych ze stresem zimna. Tego rodzaju zmiany miały z kolei wpływ na kształtowanie się użyteczności pogody dla różnych form turystyki i rekreacji (Mehler i in. 2014; Miszuk i in. 2016). Podobne wyniki dotyczące warunków termicznych uzyskano w miastach wschodniej części województwa (Wrocław, Legnica, Wałbrzych), w ramach projektu dotyczącego Miejskich Planów Adaptacji do Zmian Klimatu w największych ośrodkach miejskich w Polsce (*Plan adaptacji Miast Legnica, Wrocław i Wałbrzych do zmian klimatu do roku 2030*). Należy również podkreślić, że w ramach wspomnianych projektów przeprowadzono analizy potencjalnych zmian klimatu w przyszłości w świetle różnych scenariuszy zmian klimatu (A1B, RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5), które pokazały, że według niektórych scenariuszy temperatura powietrza w połowie stulecia może wzrosnąć o ponad 1°C, a w 2100 r. nawet o ponad 3,5°C.

Uwzględniając doniesienia ostatnich raportów dotyczących warunków pogodowych, a także obserwowane trendy i prognozy, można stwierdzić, że ostatnie lata są wyjątkowe pod względem termicznym i potwierdzają fakt wzrostu temperatury powietrza prognozowany w scenariuszach zmian klimatu. Skutkiem wysokiej temperatury, zwłaszcza w okresie letnim, jest negatywne oddziaływanie warunków pogodowych na organizm człowieka z uwagi na duże natężenie stresu gorąca. Sytuacje takie są szczególnie niekorzystne w obszarach turystycznych, w których na terenie otwartym przebywa duża liczba osób. W województwie dolnośląskim ważnymi ośrodkami turystycznymi są Wrocław oraz powiaty kłodzki i jeleniogórski, które odznaczają się największą bazą noclegową w regionie. W 2017 r. Wrocław odwiedziło 1,2 mln turystów, a w ciągu roku największa ich liczba jest notowana w okresie od maja do września (Analizy statystyczne 2018). Roczna liczba osób odwiedzających Śnieżkę natomiast osiąga 650 tys. osób (Rogowski 2018).

W świetle klasyfikacji Wosia (1999) Wrocław jest zlokalizowany w obrębie regionu dolnośląskiego środkowego, natomiast Kłodzko i Śnieżka, zgodnie z klasyfikacją regionów klimatycznych Sudetów Schmucka (1969), reprezentują region kłodzki i jeleniogórski. Pod względem biometeorologicznym omawiane obszary należą do regionów centralnego i sudeckiego (Kozłowska-Szczęsna i in. 2002; Błażejczyk 2004).

Celem pracy było określenie rocznych i miesięcznych wartości elementów termicznych i biotermicznych w 2019 r. w wybranych obszarach Dolnego Śląska w odniesieniu do wartości wieloletnich. Uzyskane wyniki przyczynią się do poszerzenia wiedzy z zakresu zmian klimatu w regionie, a także mogą stanowić źródło informacji dla turystyki.

Materiały i metody opracowania

Podstawą opracowania były dane meteorologiczne pochodzące ze stacji Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB) we Wrocławiu, Kłodzku i na Śnieżce. Stacje te, zlokalizowane na wysokości 120 m, 356 m i 1603 m n.p.m., reprezentują część nizinną, niższe partie Sudetów oraz strefę szczytową Karkonoszy. Poddano analizie średnią dobową, minimalną i maksymalną temperaturę powietrza w latach 1971-2019. Na jej podstawie obliczono wartości średnie: miesięczne i roczne. Na podstawie temperatury maksymalnej i minimalnej obliczono częstość dni charakterystycznych, takich jak:

- dni upalne ($T_{max} > 30°C$);
- dni gorące ($25°C < T_{max} \leq 30°C$);
- dni przymrozkowe ($T_{min} < 0°C$ i $T_{max} > 0°C$);
- dni mroźne ($T_{max} < 0°C$).

Do oceny warunków biotermicznych wykorzystano dane z terminu obserwacyjnego 12.00 UTC obejmujące: temperaturę powietrza, ciśnienie pary wodnej, prędkość wiatru oraz zachmurzenie i wysokości słońca nad horyzontem w poszczególnych dniach roku. Obliczono wartości temperatury odczuwalnej *STI*, która jest określana na podstawie modelu wymiany ciepła między człowiekiem i atmosferą – MENEX (Błażejczyk 2004, 2006). *STI* jest wskaźnikiem opartym na wartościach temperatury radiacyjnej oraz saldzie wymiany ciepła. W zależności od jej wielkości sytuacje pogodowe są klasyfikowane w dziewięciu klasach odczuć cieplnych (tab. 1).

Obliczenia wskaźnika *STI* przeprowadzono za pomocą programu BioKlima2.6, autorstwa Błażejczyka i Błażejczyka (2010). Na podstawie uzyskanych obliczeń opracowano charakterystykę warunków termicznych i biotermicznych w 2019 r. na tle wielkości wieloletnich. Przeprowadzono również analizy dotyczące trendów rocznych wielkości wskaźników termicznych i częstości klas odczuć cieplnych w świetle *STI* w latach 1971-2019, z uwzględnieniem badania istotności statystycznej na poziomie 0,05, przy zastosowaniu analizy regresji liniowej.

Wyniki

Wartości temperatury powietrza na terenie Wrocławia i Kłodzka w 2019 r. kształtowały się wyraźnie powyżej średniej wieloletniej. We Wrocławiu średnia roczna temperatura wyniosła 11,4°C i była wyższa od średniej w okresie 1971-2018 o 2,3°C. W Kłodz-

Tabela 1. Skala odczuć cieplnych na podstawie wskaźnika temperatury odczuwalnej *STI* (Błażejczyk, McGregor 2007)

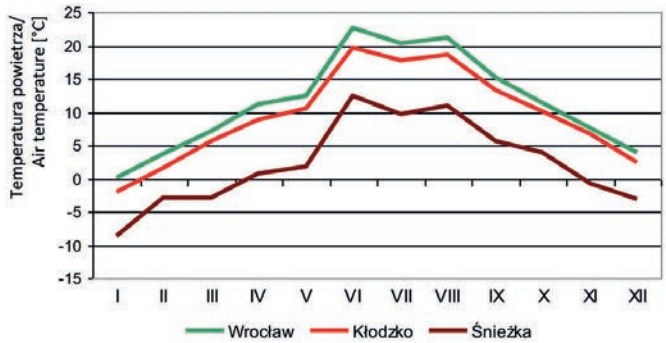
Table 1. Scale of thermal sensations based on the *STI* index (Błażejczyk, McGregor 2007)

STI [°]	Subiektywne odczucie cieplne Subjective thermal senses
< –38,0°C	mroźnie/extremely cold
od –38,0°C do –20,1°C	bardzo zimno/very cold
od –20,0°C do –0,5°C	zimno/cold
od –0,4°C do 22,5°C	chłodno/cool
od 22,6°C do 31,9°C	komfortowo/comfortable
od 32,0°C do 45,9°C	ciepło/warm
od 46,0°C do 54,9°C	gorąco/hot
od 55,0°C do 69,9°C	bardzo gorąco/very hot
≥ 70,0°C	upalnie/sweltering

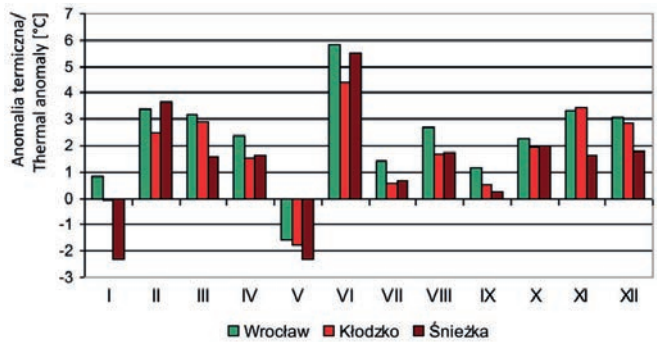
ku średnia wartość w 2019 r. osiągnęła 9,5°C, będąc o 1,7°C wyższa od normy. Na Śnieżce średnia roczna temperatura powietrza wyniosła 2,3°C, przekraczając normę o 1,3°C. Tym samym w świetle klasyfikacji termicznej H. Lorenc (1994) rok 2019 można zaliczyć do lat anomalnie ciepłych (Wrocław), bardzo ciepłych (Kłodzko) i ciepłych (Śnieżka). Średnia roczna wartość temperatury maksymalnej we Wrocławiu, Kłodzku i na Śnieżce wyniosła odpowiednio 16,5°C, 14,4°C oraz 5,2°C i była o 2,6°C, 2,1°C i 1,6°C wyższa niż przeciętnie w latach 1971-2018. W przypadku temperatury minimalnej, jej średnie wartości osiągnęły 6,4°C, 4,7°C i 0,0°C i były o 1,9°C, 1,2°C i 1,2°C wyższe od średniej wieloletniej.

W przebiegu rocznym najcieplejszym miesiącem na wszystkich stacjach był czerwiec, w którym temperatura powietrza była wyraźnie wyższa niż pozostałych miesiącach letnich i różnicowała się od 12,5°C na Śnieżce do 22,7°C we Wrocławiu. Najchłodniejszy był styczeń, ze średnią temperaturą 0,2°C we Wrocławiu, –2,0°C w Kłodzku i –8,5°C na Śnieżce (rys. 1). W przeważającej części roku temperatura powietrza była znacznie wyższa od stwierdzonej w latach 1971-2018 (rys. 2). Szczególnie duże odchylenia wystąpiły w czerwcu (4,3-5,7°C), a miesiącem charakteryzującym się wyraźnie niższą temperaturą powietrza od średniej wieloletniej był maj.

Anomalie termiczne w maju i czerwcu były uwarunkowane sytuacją synoptyczną. W maju, zwłaszcza w jego pierwszej połowie oraz pod koniec miesiąca, układy baryczne związane z niżem nad Skandynawią i północną Rosją oraz wyżem z centrum nad Morzem Północnym sprzyjały adwekcji chłodnych mas powietrza arktycznego z sektora północnego (rys. 3). W pozostałych dniach warunki pogodowe były najczęściej uwarunkowane działalnością niżów i związanych z nimi frontów atmosferycznych. Przyczyniły się one do stosunkowo niskiej temperatury powietrza, a także gorszych, w sensie biometeorologicznym, warunków wietrznych i solarnych. Szczególnie niską temperaturę stwierdzono w dniach 4-7 i 14-15 maja, gdy średnie dobowe wartości wyniosły 7-8°C we Wrocławiu, 5-7°C w Kłodzku i poniżej – 2°C na Śnieżce.



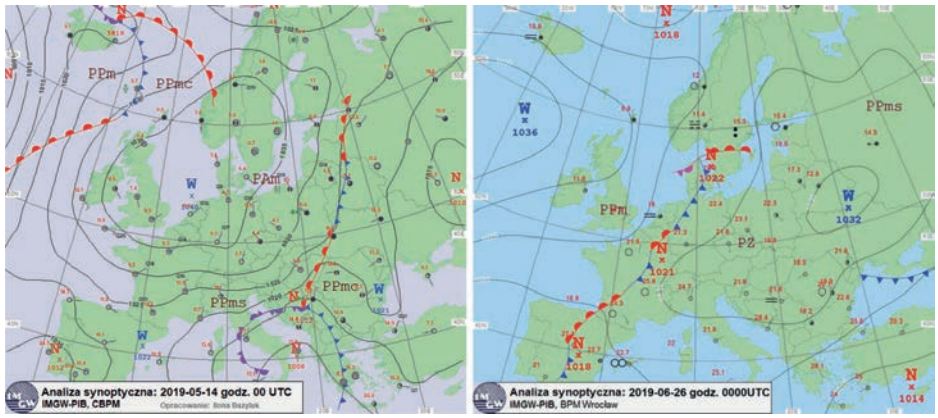
Rys. 1. Przebieg roczny temperatury powietrza we Wrocławiu, Kłodzku i na Śnieżce w 2019 roku
Fig. 1. Annual course of air temperature in Wrocław, Kłodzko and on Śnieżka in 2019



Rys. 2. Przebieg roczny miesięcznych anomalii termicznych
we Wrocławiu, Kłodzku i na Śnieżce w 2019 roku
Fig. 2. The annual course of monthly thermal anomalies
in Wrocław, Kłodzko and on Śnieżka in 2019

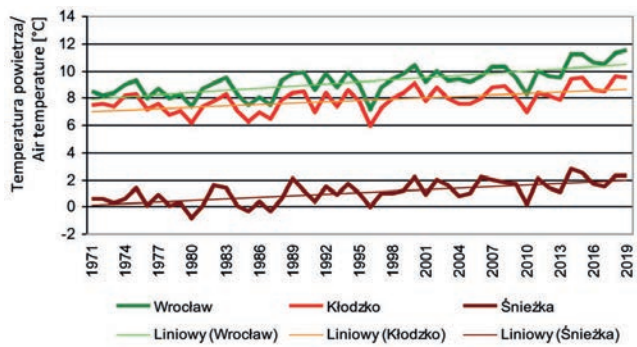
W czerwcu, warunki termiczne były w największym stopniu uzależnione od układów antycyklonalnych z centrum na wschodzie i południowym wschodzie Europy (rys. 3). Tego rodzaju sytuacja baryczna sprzyjała adwekcji gorących mas powietrza zwrotnikowego z południa, przyczyniając się do znacznego wzrostu temperatury i częstości stanów upalnych, zwłaszcza w drugiej i trzeciej dekadzie miesiąca. Wysokie wartości zaobserwowano zwłaszcza w dniach 26 i 30 czerwca, kiedy temperatura maksymalna osiągnęła 36,9°C we Wrocławiu, 31,9°C i 31,7°C w Kłodzku oraz 22,6°C i 22,5°C na Śnieżce, co w przypadku Wrocławia i Śnieżki stanowiło najwyższe wartości w 2019 roku.

Porównując wartości temperatury powietrza w 2019 r. do tych z poszczególnych lat okresu 1971-2019 można stwierdzić, że rok 2019 we Wrocławiu i Kłodzku był najcieplejszym w całym rozpatrywanym wieloleciu (rys. 4). W Kłodzku taka sama wartość temperatury wystąpiła również w 2018 roku. W przypadku Śnieżki omawiany rok był wraz z rokiem 2018 trzecim najcieplejszy w uwzględnionym wieloleciu, po latach 2014 i 2015. Na wszystkich stacjach przebieg średniej rocznej temperatury powietrza w latach



Rys. 3. Sytuacja synoptyczna w Europie w dniach 14 maja i 26 czerwca 2019 roku

Fig. 3. Synoptic situation in Europe on May 14 and June 26, 2019

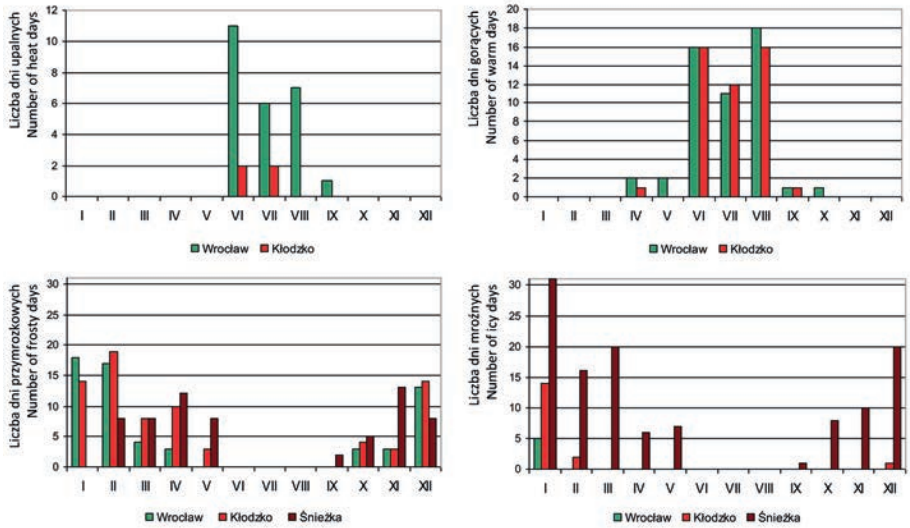


Rys. 4. Przebieg średnich rocznych wartości temperatury powietrza i ich tendencja zmian we Wrocławiu, Kłodzku i na Śnieżce w latach 1971-2019

Fig. 4. The course of mean annual air temperature values and their change tendencies in Wrocław, Kłodzko and on Śnieżka in 1971-2019

1971-2019 cechował się trendem rosnącym, istotnym statystycznie. Tempo wzrostu temperatury w tym okresie wyniosło ponad 0,5°C na dekadę we Wrocławiu, ponad 0,3°C na dekadę w Kłodzku i nieco poniżej 0,4°C na dekadę na Śnieżce (tab. 2). W przebiegu wieloletnim uwagę zwracają również wysokie wartości temperatury nie tylko w 2019 r., ale i w kilku ostatnich latach. Średnia temperatura powietrza w latach 2014-2019 we Wrocławiu, Kłodzku i na Śnieżce była wyższa o 2,1°C, 1,4°C i 1,2°C od średniej wartości w pozostałych latach wielolecia.

Wysoka temperatura powietrza w 2019 r. przyczyniła się do wzrostu liczby dni upalnych i gorących, w czasie których występują warunki pogodowe w znacznym stopniu obciążające organizm człowieka. Dni upalne na terenie Wrocławia i Kłodzka w latach 1971-2018 występowały średnio niespełna 9 i 4 razy w roku. W 2019 roku ich liczba we Wrocławiu (25 dni) znacznie przewyższyła wartość wieloletnią, a w Kłodzku była jej rów-



Rys. 5. Liczba dni upalnych (T_{max} > 30°C), gorących (25°C < T_{max} ≤ 30°C), przymrozkowych (T_{min} < 0°C i T_{max} > 0°C) i mroźnych (T_{max} < 0°C) we Wrocławiu i Kłodzku w 2019 roku

Fig. 5. Number of heat (T_{max} > 30°C), warm (25°C < T_{max} ≤ 30°C), frosty (T_{min} < 0°C i T_{max} > 0°C) and icy (T_{max} < 0°C) days in Wrocław and Kłodzko in 2019

na (rys. 5). We Wrocławiu zdecydowanie najwięcej dni upalnych stwierdzono w czerwcu, kiedy było ich 11, przy średnio 1-2 przypadkach w okresie 1971-2018. W lipcu i sierpniu stwierdzona częstość (6 i 7 dni) była o ponad 2 i 3 dni wyższa niż w latach 1971-2018.

Dni gorące we Wrocławiu i Kłodzku w 2019 r. występowały znacznie częściej niż przeciętnie w latach 1971-2018. Ich łączna częstość we Wrocławiu (51 dni) przewyższała wartość wieloletnią o 23 dni, a w Kłodzku (46 dni) o 21. Miesiącem o największej liczbie dni gorących był czerwiec, kiedy to we Wrocławiu i Kłodzku było ich więcej niż średnio o ponad 8 i 11 dni. Znaczne odchylenia od wartości wieloletnich stwierdzono również w sierpniu, kiedy dni gorących było na obydwu stacjach o 7 więcej niż w latach 1971-2018. Na Śnieżce w okresie 1971-2019 dni upalnych i gorących nie odnotowano.

Łączna liczba dni przymrozkowych w 2019 r. we Wrocławiu, Kłodzku i na Śnieżce wyniosła 61, 75 i 64 i była równa średniej (Kłodzko) lub od niej mniejsza o 16 i 7 dni (Wrocław i Śnieżka). Największe różnice na niżej położonych stacjach zaobserwowano w marcu i listopadzie, kiedy liczba dni przymrozkowych była we Wrocławiu o 10 i 8 dni, a w Kłodzku o 7 dni mniejsza od wartości wieloletniej. Na Śnieżce największe odchylenia ujemne odnotowano w styczniu, z uwagi na fakt, że wszystkie dni w miesiącu zostały sklasyfikowane jako mroźne (z T_{max} < 0°C).

Liczba dni mroźnych (T_{max} < 0°C) w omawianym roku kształtowała się również znacznie poniżej średniej. W porównaniu do okresu wieloletniego, ich częstość w 2019 r. we Wrocławiu była czterokrotnie, a w Kłodzku dwukrotnie mniejsza. Na Śnieżce ich łączna liczba była o 5 dni mniejsza w porównaniu do normy.

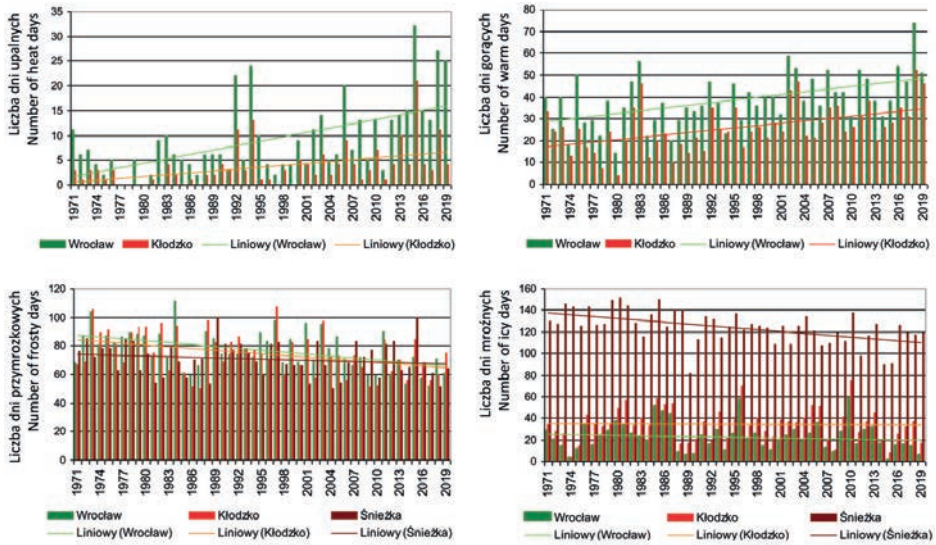
W przebiegu wieloletnim rocznej liczby dni upalnych i gorących, podobnie jak w przypadku temperatury powietrza, obserwowany był trend rosnący. Analogicznie do temperatury powietrza, trend przebiegu częstości dni upalnych cechował się istotnością statystyczną w przypadku obydwu stacji i większym tempem wzrostu we Wrocławiu. W latach 1971-2019 wzrost wyniósł 3 dni na dekadę, a w Kłodzku ponad 1 dzień na dekadę (tab. 2). Zdecydowanie największa liczba dni upalnych w omawianym okresie wystąpiła podczas licznych fal upałów w 2015 r., kiedy we Wrocławiu temperaturę powyżej 30°C stwierdzono w czasie 32 dni, a w Kłodzku 21 dni. Szczególnie dużą liczbą dni upalnych, zwłaszcza we Wrocławiu, cechowały się lata 2012-2019, kiedy ich roczna liczba wynosiła co najmniej 13. W pozostałych latach okresu wieloletniego, tj. 1971-2011, taka liczba została osiągnięta jedynie sześciokrotnie. W przypadku dni gorących istotność statystyczna wystąpiła na obydwu stacjach. We Wrocławiu ich roczna liczba wzrastała w tempie 4 dni na dekadę, a w Kłodzku ponad 3 dni na dekadę. Na obydwu stacjach największą liczbę dni gorących stwierdzono w 2018 r., kiedy w Kłodzku było ich 52, a we Wrocławiu 74 (rys. 6).

Dni przymrozkowe w latach 1971-2019 we Wrocławiu i Kłodzku cechował wyraźny, istotny statystycznie spadek częstości, który wyniósł około 4 dni na dekadę. Na Śnieżce nie stwierdzono istotności statystycznej. Liczbę dni mroźnych cechował również trend malejący, jednak istotność statystyczną stwierdzono jedynie na Śnieżce, gdzie roczna liczba dni mroźnych malała w tempie niespełna 6 dni na dekadę (tab. 2). W przypadku zarówno dni przymrozkowych, jak i mroźnych cechą charakterystyczną była wyraźnie mniejsza częstość w latach 2014-2019. W tym okresie średnia roczna liczba dni przymrozkowych we Wrocławiu, Kłodzku i na Śnieżce była o 18, 9 i 3 dni mniejsza niż w latach1971-2013. Natomiast średnia frekwencja dni mroźnych w ostatnich sześciu latach była w przypadku niżej położonych stacji o 12 dni mniejsza, a na Śnieżce o 16 dni od wartości stwierdzonej w pozostałych latach wielolecia.

Tabela 2. Tempo zmian na dekadę (*D*) oraz istotność statystyczna (*p*) trendu zmian średniej rocznej temperatury powietrza (*T*) i rocznej liczby dni charakterystycznych we Wrocławiu, Kłodzku i na Śnieżce w latach 1971-2019

Table 2. Rate of change per decade (*D*) and statistical significance (*p*) of the trend regarding changes in mean annual air temperature (*T*) and the annual number of characteristic days in Wrocław, Kłodzko and on Śnieżka in 1971-2019

Stacja/Station		*T* [°C]	$T_{max} > 30$°C	25°C< $T_{max} \leq 30$°C	$T_{min} < 0$°C i $T_{max} > 0$°C	$T_{max} < 0$°C
Wrocław	*D*	0,50	2,9	4,0	–4,5	–1,1
	p	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,414
Kłodzko	*D*	0,34	1,2	3,5	–4,0	–0,2
	p	<0,001	0,001	<0,001	0,006	0,912
Śnieżka	*D*	0,37	-	-	–1,3	–5,7
	p	<0,001	-	-	0,269	<0,001

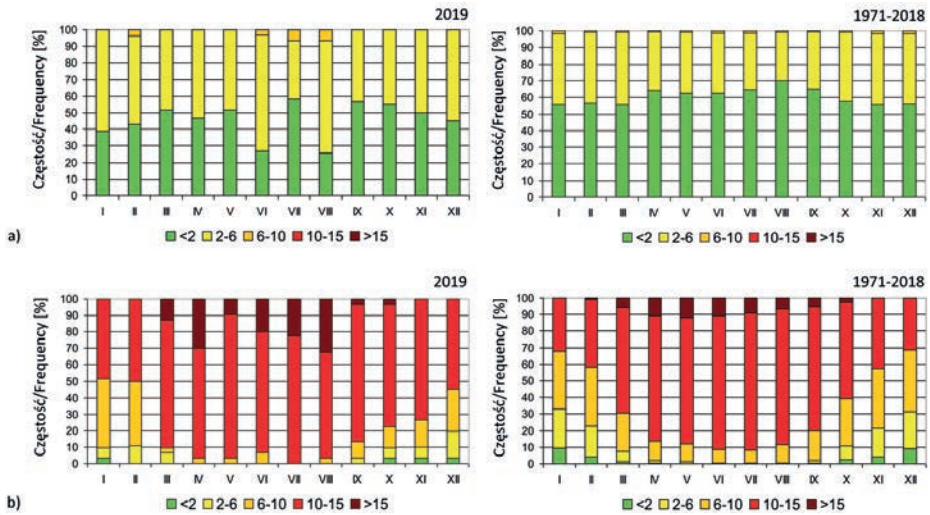


Rys. 6. Przebieg rocznej liczby dni upalnych (T_{max} > 30°C), gorących (25°C < T_{max} ≤ 30°C), przymrozkowych (T_{min} < 0°C i T_{max} > 0°C) i mroźnych (T_{max} < 0°C) we Wrocławiu, Kłodzku i na Śnieżce w latach 1971-2019

Fig. 6. The course of the annual number of heat (T_{max} > 30°C), warm (25°C < T_{max} ≤ 30°C), frosty (T_{min} < 0°C i T_{max} > 0°C) and icy (T_{max} < 0°C) days in Wrocław, Kłodzko and on Śnieżka in 1971-2019

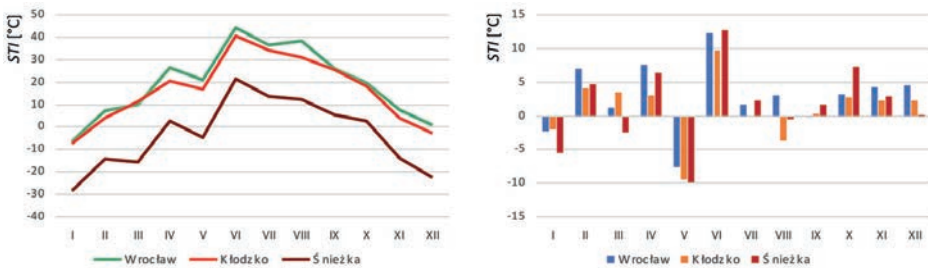
Z punktu widzenia oddziaływania oddziaływania warunków pogodowych na organizm człowieka duże znaczenie ma ich zmienność. Ruch turystyczny na Dolnym Śląsku najczęściej odbywa się między częścią nizinną a Sudetami, co sprawia, że podróżujący w góry turyści często narażeni są na znaczne zmiany temperatury powietrza w dość krótkim czasie. W związku z tym, poniżej przedstawiono charakterystykę zmian temperatury między Wrocławiem i Kłodzkiem oraz Wrocławiem i Śnieżką (rys. 7). W analizie porównano wartości z terminu 12.00 UTC, wykorzystując skalę zmian temperatury powietrza między poszczególnymi terminami obserwacyjnymi (Błażejczyk 2004).

W przypadku kontrastowości warunków termicznych między Wrocławiem i Kłodzkiem w latach 1971-2018 zdecydowanie przeważały dni z nieodczuwalnymi (do 2°C) i słabo odczuwalnymi (od ponad 2 do 6°C) bodźcami termicznymi, przy rzadko pojawiających się bodźcach umiarkowanych (od ponad 6 do 10°C). Natomiast różnice termiczne między Wrocławiem a Śnieżką charakteryzowały się przewagą bodźców silnych (od ponad 10 do 15°C), ze znacznym udziałem bodźców ostrych (powyżej 15°C). W 2019 roku zwłaszcza w miesiącach letnich, częstość bodźców słabo odczuwalnych i umiarkowanych (Wrocław-Kłodzko) oraz ostrych (Wrocław-Śnieżka) była większa niż w wieloleciu. Wynikało to przede wszystkim z częstego występowania w 2019 r. sytuacji upalnych, które silniej zaznaczyły się na nizinach niż w obszarach górskich. Znaczna częstość ostrych bodźców termicznych między Wrocławiem i Śnieżką w okresie lata (20-30%) świadczy o tym, w se-



Rys. 7. Różnice w wartościach temperatury powietrza [°C] w terminie obserwacyjnym 12.00 UTC między Wrocławiem i Kłodzkiem (a) oraz Wrocławiem i Śnieżką (b) w 2019 r. i latach 1971-2019

Fig. 7. Differences in air temperature values [°C] during the 12.00 UTC observation period between Wrocław and Kłodzko (a) and Wrocław and Śnieżka (b) in 2019 and 1971-2019

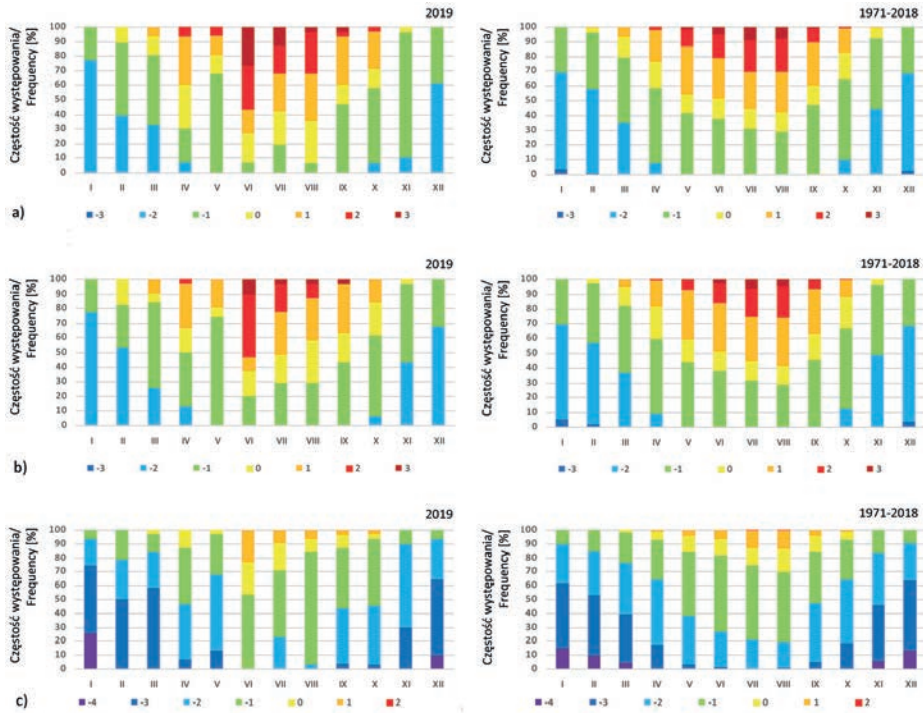


Rys. 8. Przebieg średnich wartości temperatury odczuwalnej *STI* oraz miesięczne anomalie *STI* we Wrocławiu, Kłodzku i Śnieżce w 2019 roku

Fig. 8. The course of mean values of the *STI* and monthly *STI* anomalies in Wrocław, Kłodzko and on Śnieżka in 2019

zonie turystycznym osoby przemierzające drogę z nizin w najwyższe piętra Karkonoszy mogą być narażone nie tylko na wpływ niekorzystnych sytuacji pogodowych charakterystycznych dla nizin i gór, ale również na oddziaływanie nagłych zmian termicznych.

Cechy warunków termicznych w 2019 r. znalazły odzwierciedlenie w wartościach temperatury odczuwalnej STI. Średnia roczna wartość STI we Wrocławiu, Kłodzku i na Śnieżce wyniosła 19,1°C, 16,1°C oraz –3,6°C i w świetle klasyfikacji odczuć cieplnych odpowiadała odczuciom z klas „chłodno" i „zimno". Przebieg roczny STI przez większość miesięcy cechował się wyższymi wartościami niż w wieloleciu, z największymi dodatnimi odchyleniami w czerwcu i wyraźnymi ujemnymi anomaliami w maju (rys. 8).



Rys. 9. Częstość poszczególnych klas odczuć cieplnych we Wrocławiu (a), Kłodzku (b) i na Śnieżce (c) w 2019 r. i w latach 1971-2018, wg skali *STI*: mroźnie (-4), bardzo zimno (-3), zimno (-2), chłodno (-1), komfortowo (0), ciepło (1), gorąco (2), bardzo gorąco (3)

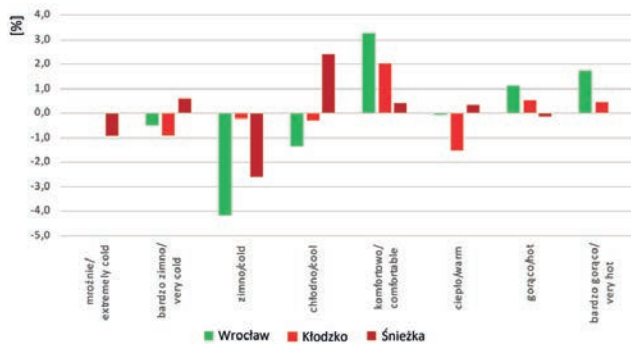
Fig. 9. The frequency of individual classes of thermal sensations in Wrocław (a), Kłodzko (b) and Śnieżka (c) in 2019 and in the years 1971-2018, according to the *STI* scale: frosty (-4), very cold (-3), cold (-2), cool (-1), comfortable (0), warm (1), hot (2), very hot (3)

Spośród poszczególnych klas odczuć cieplnych w 2019 r. na nizinach i w niższych piętrach gór najczęściej notowane były warunki „chłodne", które pojawiały się podczas 39-40% dni (rys. 9). Szczególnie dużą ich liczbą, z uwagi na gorsze warunki solarne, wietrzne i wilgotnościowe, odznaczało się półrocze chłodne, a także maj. W okresie zimowym wzrastał udział odczuć cieplnych z klasy „zimno" (ponad 60%). W półroczu ciepłym natomiast, zwłaszcza w kwietniu oraz od lipca do września, wyraźnie większy był udzial dni z warunkami pogodowymi „komfortowymi" i „ciepłymi". W czerwcu zdecydownie wzrosła liczba dni ze stresem gorąca. Zarówno we Wrocławiu, jak i w Kłodzku ponad 50% dni w tym miesiącu odznaczało się odczuciami cieplnymi z klasy „gorąco" lub „bardzo gorąco". Przyczyniły się do tego wysoka temperatura powietrza i dobre warunki solarne. Dość wysoka liczba dni ze stresem gorąca pojawiłą się również w lipcu i sierpniu, choć ich częstość była wówczas znacznie mniejsza niż w czerwcu. W 2019 roku we Wrocławiu i Kłodzku nie stwierdzono odczuć cieplnych z klas „mroźnie"„bardzo zimno" ani upalnie".

W przypadku Śnieżki struktura odczuć cieplnych w 2019 r. w świetle *STI* zdecydowanie różniła się od tej w niższych piętrach wysokościowych. Przez całe półrocze chłodne dominowały dni z odczuciami cieplnymi z klasy „mroźnie", „bardzo zimno" i „zimno", których największa częstość przypadła na okres od listopada do marca. W półroczu ciepłym przeważały dni z odczuciami z klasy „chłodno", a w sezonie letnim większa była również częstość sytuacji pogodowych z odczuciami „komfortowo" i „ciepło". W czerwcu pojawiały się one łącznie przez blisko połowę dni, a w lipcu podczas 30% dni. Na Śnieżce w 2019 r. nie zanotowano natomiast stresu gorąca, tj. odczuć z klas „gorąco", „bardzo gorąco" i „upalnie".

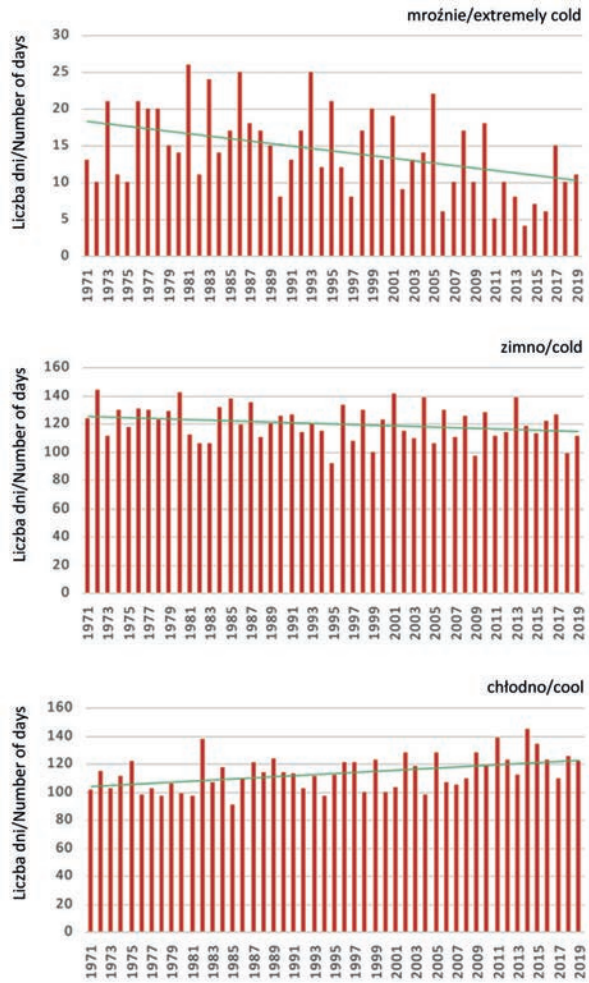
Ze względu na fakt, że wartości temperatury powietrza w 2019 r. z reguły wyraźnie przekraczały średnie wieloletnie, zmianie uległa również struktura odczuć cieplnych (rys. 10). W skali roku cechą charakterystyczną był spadek liczby dni ze stresem zimna na rzecz sytuacji pogodowych o charakterze termoneutralnym lub odznaczających się stresem gorąca. We Wrocławiu i Kłodzku, reprezentującymi część nizinną i niższe piętra gór, mniejsza była częstość odczuć z klasy „bardzo zimno", „zimno" i chłodno" przy jednocześnie zwiększonej frekwencji dni z komfortem termicznym. Mniejsza niż w wieloleciu była częstość odczuć cieplnych z klasy „ciepło", wzrósł natomiast udział dni ze stresem gorąca. Na Śnieżce zmalała liczba dni z odczuciami z klasy „mroźnie" na rzecz nieznacznego wzrostu liczby dni z odczuciami „zimno". Znacząco natomiast spadła frekwencja sytuacji pogodowych określanych jako „zimno", przy zwiększonej częstości dni z warunkami „chłodnymi" i komfortem termicznym. W 2019 roku na Śnieżce nie stwierdzono dni z odczuciami z klasy „gorąco", które sporadycznie pojawiały się w okresie 1971-2018. Natomiast w okresie wieloletnim nie występowały sytuacje pogodowe z klas „bardzo gorąco" i „upalnie".

Częstość występowania poszczególnych klas odczuć cieplnych w okresie wieloletnim charakteryzowała się dużą zmiennością i w większości przypadków jej trend nie



Rys. 10. Różnice częstości występowania poszczególnych klas odczuć cieplnych w świetle *STI* między 2019 r. a średnią w latach 1971-2018 we Wrocławiu, Kłodzku i na Śnieżce

Fig. 10. Differences in the frequency of occurrence of individual classes of thermal sensations according to *STI* between 2019 and the average in the years 1971-2018 in Wrocław, Kłodzko and on Śnieżka



Rys. 11. Częstość występowania i tendencja zmian odczuć cieplnych z klasy „mroźnie", „zimno" i „chłodno" na Śnieżce w latach 1971-2019

Fig. 11. The frequency of occurrence and the tendency of changes in thermal sensations in the "extremely cold", "cold" and "cool" classes on Śnieżka in 1971-2019

wykazywał cech istotności statystycznej. Jedynie na Śnieżce trendy istotne statystycznie na poziomie 0,05 dotyczyły częstości typów pogody z odczuciami „mroźnie" i „chłodno", natomiast w przypadku odczuć z klasy „zimno" trend był istotny na poziomie 0,1. W latach 1971-2019 malejącą tendencję wykazały klasy „mroźnie" i „zimno" (rys. 11). W przypadku pierwszej z wymienionych klas częstość zmniejszała się w tempie 1 dnia na 6 lat, a częstość dni z warunkami „zimnymi" malała ok. 2 dni na dekadę. Tendencję wzrostową natomiast stwierdzono w przypadku odczuć cieplnych z klasy „chłodno". Ich roczna liczba w latach 1971-2019 wzrastała w tempie 4 dni na dekadę (tab. 3).

Tabela 3. Tempo zmian na dekadę (*D*) oraz istotność statystyczna (*p*) trendu rocznej liczby dni z odczuciami cieplnymi z klas „mroźnie", „zimno" i „chłodno" na Śnieżce w latach 1971-2019

Table 3. Rate of change per decade (*D*) and statistical significance (*p*) of the trend regarding the annual number of days with thermal sensations in the „extremely cold", „cold" and „cool" classes on Śnieżka in 1971-2019

	Mroźnie/Extremely cold	Zimno/Cold	Chłodno/Cool
D	–1,7	–2,2	3,9
p	0,002	0,078	0,001

Dyskusja i wnioski

Przedstawione cechy warunków termicznych Wrocławia i Kłodzka pokazują, że 2019 r. był najcieplejszy w okresie ostatnich pięciu dekad, a na Śnieżce trzecim najcieplejszym. Można zatem stwierdzić, że rok ten był pod względem termicznym wyjątkowy, niezależnie od wysokości nad poziomem morza i regionu geograficznego. Wartości średniej rocznej temperatury powietrza na uwzględnionych stacjach potwierdzają zatem fakt termicznej wyjątkowości 2019 r., przedstawionej w raportach NOAA (2019) i WMO (2019). Podobieństwa do wyników zaprezentowanych we wspomnianych raportach zaobserwowano również w kilku ostatnich latach, kiedy to na stacjach zlokalizowanych na Dolnym Śląsku również wystąpiły wyraźnie wyższe wartości temperatury w całym okresie wieloletnim.

Wysokie wartości temperatury w ostatnich latach w niżej położonych obszarach były w dużej części spowodowane wysoką temperaturą w okresie letnim, co z kolei miało wpływ na częste występowanie sytuacji pogodowych o dużym natężeniu stresu gorąca. Tego typu warunki pojawiały się zwłaszcza w czerwcu, który cechował się dużymi anomaliami zarówno w zakresie wartości temperatury, jak i liczby dni upalnych i gorących. Podobne warunki w tym miesiącu zaobserwowano także na obszarze zachodniej i środkowej Europy. W Austrii i Holandii czerwiec 2019 r. był najcieplejszy w historii pomiarów (van Oldenborgh i in. 2019).

Liczba dni upalnych i gorących we Wrocławiu w półroczu ciepłym w 2019 r. stanowiła ponad połowę dni w tym okresie i była większa niż we wszystkich regionach Polski w okresie wieloletnim (Koźmiński, Michalska 2011). Częstość dni upalnych była również większa od maksymalnej rocznej ich liczby na większości większości obszaru kraju we wcześniejszych okresach (Cebulak, Limanówka 2007; Kossowska-Cezak 2010; Koźmiński, Michalska 2010; Kossowska-Cezak 2014; Sulikowska i in. 2016; Tomczyk 2019).

Tempo wzrostu średniej rocznej temperatury powietrza w latach 1971-2019, wynoszące od 0,3°C w Kłodzku do 0,4°C na Śnieżce i 0,5°C we Wrocławiu, było porównywalne do stwierdzonego wcześniej w zachodniej i środkowej Europie oraz Polsce (Jones i in. 2002; Marosz i in. 2008; Brazdil i in. 2009; Glaser, Riemann 2009; Twardosz 2009; Cubasch, Kadow 2011; Bielec-Bąkowska, Piotrowicz 2013; Ilnicki i in. 2015). Tendencje zmian na Śnieżce potwierdziły wyniki wcześniejszych badań dotyczących przebiegu

wieloletniego warunków termicznych (Głowicki 2000; Dubicka, Głowicki 2000; Otop, Miszuk 2011; Migała i in. 2016), a stwierdzone tempo zmian było większe w porównaniu do lat 1951-2015, kiedy wyniosło ono 0,22°C na dekadę (Błażejczyk 2019). Było również większe niż na Kasprowym Wierchu, gdzie w latach 1951-2015 średnia roczna temperatura powietrza wzrastała o 0,20°C na dekadę (Błażejczyk 2019). Tempo wzrostu temperatury powietrza w Kłodzku natomiast było nieco mniejsze w porównaniu z położoną na podobnej wysokości Jelenią Górą (Błażejczyk 2019). We Wrocławiu tempo zmian było z kolei wyraźnie większe niż stwierdzone w XX wieku (Bryś, Bryś 2010).

Rosnący i istotny statystycznie trend liczby dni upalnych i gorących w latach 1971-2019 potwierdził wcześniejsze badania dotyczące tendencji tego wskaźnika w innych obszarach Polski i sąsiadujących regionach zagranicznych (Cebulak, Limanówka 2007; Michalska, Mąkosza 2007; Overcenco, Potopova 2010; Cubasch, Kadow 2011; Koźmiński, Michalska 2011; Kuchcik 2017; Vanickova i in. 2017; Tomczyk, Bednorz 2019). W Kłodzku, to znaczy na niżej położonych obszarach górskich, wzrost liczby dni gorących, w uwzględnionym wieloleciu był porównywalny do średniego tempa zmian w całym obszarze Sudetów (Głowicki 2008). Liczba dni przymrozkowych i mroźnych wykazało trend malejący, w części przypadków istotny statystycznie, co w aspekcie warunków biotermicznych oznacza mniejszą frekwencję sytuacji pogodowych z niekorzystnym oddziaływaniem stresu zimna.

W zakresie warunków biotermicznych zróżnicowanie między nizinami i niskimi piętrami Sudetów a strefą szczytową Karkonoszy znajduje odzwierciedlenie również w kształtowaniu się struktury odczuć cieplnych w ciągu roku. We Wrocławiu i Kłodzku niekorzystne jest przede wszystkim dość częste występowanie dni z sytuacjami pogodowymi powodującymi stres gorąca, których liczba w 2019 r. była większa niż w latach 1971-2018. Jest to szczególnie istotne z uwagi na fakt, że tego typu sytuacje pojawiają się w półroczu ciepłym, a więc w okresie o wzmożonym ruchu turystycznym. Od czerwca do sierpnia łączna częstość sytuacji pogodowych z odczuciami z klas „gorąco" i bardzo gorąco" była większa niż średnio w wieloleciu. W skali roku dni z tego rodzaju odczuciami występowały z częstością 8-12% i odznaczały się częstością o 1-3% większą niż w wieloleciu. Ich liczba była również porównywalna lub wyższa względem średnich wieloletnich stwierdzonych w północno-wschodniej Polsce i Wielkopolsce (Chabior, Michalska 2009; Mąkosza 2009; Radzka, Dragańska 2015) oraz w regionach reprezentujących niżej położone obszary oraz niższe piętra gór Polski Południowo-Wschodniej (Wereski i in. 2010). We Wrocławiu zakres wartości *STI*, zarówno w 2019 r. jak i całym wieloleciu, był zbliżony m.in. do stwierdzonego w Warszawie (Błażejczyk, Kunert 2003) oraz innych obszarach Niziny Śląskiej (Sobolewski 2018). Wyraźnie zwiększona częstość dni ze stresem gorąca w okresie letnim na obszarach nizinnych Polski jest również zauważalna w świetle innych wskaźników biotermicznych, jak np. *PET* czy *UTCI* (Mehler i in. 2014; Bryś, Ojrzyńska 2016; Koźmiński, Michalska 2019; Tomczyk, Owczarek 2020).

Na terenie Wrocławia i Kłodzka w całym okresie półrocza ciepłego 2019 r. przeważały odczucia cieplne z klasy „chłodno", „komfortowo" i „ciepło". Łączna częstość wymienionych wyżej klas w 2019 r. we Wrocławiu i Kłodzku wyniosła 69 i 68% (przy

67 i 68% w okresie 1971-2018) i była nieco większa niż w Polsce Północno-Wschodniej, gdzie kształtuje się w zakresie od 61 do 65% (Radzka, Dragańska 2015). Półrocze chłodne natomiast cechowało się przewagą odczuć cieplnych definiowanych jako „zimno", których częstość we Wrocławiu i Kłodzku, zarówno w 2019 r. jak i wieloleciu, była mniejsza niż we wschodnich regionach Polski (Wereski i in. 2010; Chabior, Michalska 2009; Radzka, Dragańska 2015) oraz mniejsza lub porównywalna z niektórymi obszarami Wielkopolski, Ziemi Lubuskiej i Kujaw (Mąkosza 2009).

Na znacznie wyżej położonej Śnieżce częstość odczuć cieplnych w ciągu roku kształtuje się inaczej niż w niższych piętrach. Przez cały 2019 r., podobnie jak w całym wieloleciu, dominowały dni z oddziaływaniem stresu zimna, przy braku sytuacji pogodowych z odczuciami gorąca. Tego typu roczna struktura warunków biotermicznych jest typowa dla najwyższych partii gór w Polsce i została stwierdzona również w opracowaniach dotyczących wyższych pięter Tatr (Błażejczyk, Kunert 2010; Błażejczyk i in. 2013; Pełech 2013). Podobnie jak na Kasprowym Wierchu, sytuacje pogodowe ze stresem zimna pojawiają się nawet w sezonie letnim. Natomiast częstość odczuć z klasy „ciepło" w miesiącach letnich 2019 r. wyniosła na Śnieżce 13% i była większa niż średnia wieloletnia – głównie z uwagi na znaczne anomalie w czerwcu. W lipcu i sierpniu było ich 10 i 7%. Dla porównania – na Kasprowym Wierchu częstość dni „ciepłych" w lipcu i sierpniu wynosi średnio 14% (Pełech 2013), co jest wartością o 1-2% wyższą od średniej wieloletniej na Śnieżce. W porównaniach kształtowania się odczuć cieplnych w 2019 r. względem okresu wieloletniego uwagę zwraca mniejsza częstość sytuacji pogodowych z silnym stresem zimna, przy większej frekwencji dni z warunkami z klasy „chłodno", „komfortowo" i „ciepło", odznaczających się mniejszym stopniem uciążliwości w aspekcie oddziaływania na organizm człowieka. W przebiegu wieloletnim liczba dni z odczuciami z klasy „zimno" malała w tempie 2 dni na dekadę, a odczuć z klasy „chłodno" wzrastała 4 dni na dekadę. Tym samym stwierdzone tempo zmian było odpowiednio dwukrotnie mniejsze i dwa razy większe od tendencji obserwowanej w obszarach nadmorskich (Owczarek 2007).

Wyniki badań dotyczących warunków biotermicznych w świetle wskaźnika *STI* w latach 1971-2019 pokazały, że wraz ze znacząco wyższymi wartościami temperatury powietrza zmianie ulega również struktura odczuć cieplnych. W konsekwencji, na nizinach i w niższych piętrach gór wzrasta częstość typów pogody ze stresem gorąca, a w najwyższych partiach gór warunków termoneutralnych i typów pogody o niewielkim natężeniu stresu zimna. Należy jednak podkreślić, że pomimo jednej z najwyższych średnich rocznych wartości temperatury powietrza w wieloleciu, w strefie szczytowej w 2019 r. dni o silnym natężeniu stresu zimna wciąż cechowały się dużą frekwencją.

Literatura

Adynkiewicz-Piragas M., Otop I., Miszuk B., Pluntke T., Schwarzak S., Kuhn K., Lunich K., 2016, Climate analysis as a basis for a sustainable water management at the Lusatian Neisse, Meteorology Hydrology and Water Management, 4 (1), 3-11, DOI: 10.26491/mhwm/61735

Adynkiewicz-Piragas M., Zdralewicz I., Otop I., Miszuk B., Kryza J., Lejcuś I., Strońska M., Lunich K., Pluntke T., Niemand C., 2014, Nysa Łużycka – klimat i charakterystyka regionu, Saksoński Urząd ds. Środowiska, Rolnictwa i Geologii, IMGW-PIB, projekt NEYMO

Analizy statystyczne, 2018, Turystyka w województwie dolnośląskim w latach 2015-2017, Urząd Statystyczny we Wrocławiu, Dolnośląski Ośrodek Badań Regionalnych

Bielec-Bąkowska Z., Piotrowicz K., 2013, Temperatury ekstremalne w Polsce w latach 1951-2006, Prace Geograficzne, 132, 59-98, DOI 10.4467/20833113PG.13.004.1094

Błażejczyk K., 2004, Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce, Prace Geograficzne, 192, 291 s.

Błażejczyk K., 2006, MENEX_2005 – the updated version of Man-Environment Heat Exchange Model, dostępne online: https://www.igipz.pan.pl/tl_files/igipz/ZGiK/opracowania/indywidualne/blazejczyk/MENEX_2005.pdf (21.10.2020)

Błażejczyk K., 2019, Sezonowa i wieloletnia zmienność niektórych elementów klimatu w Tatrach i Karkonoszach w latach 1951-2015, Przegląd Geograficzny, 1, 41-62, DOI: 10.7163/PrzG.2019.1.2

Błażejczyk K., Baranowski J., Błażejczyk A., Szmyd J., 2013, Klimat i bioklimat Hali Gąsienicowej, [w:] Dolina Suchej Wody w Tatrach. Środowisko i jego współczesne przemiany, Z. Rączkowska, A. Kotarba (red.), Prace Geograficzne, 239, 67-95

Błażejczyk K., Kunert A., 2003, Bio-thermal conditions in Warsaw, [w:] Fifth International Conference on Urban Climate, 1-5 września 2003, Łódź, dostępne online: http://meteo.geo.uni.lodz.pl/icuc5/text/P_1_8.pdf (21.10.2020)

Błażejczyk K., Błażejczyk M., 2010, Bioklima2.6, dostępne online: https://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html (21.10.2020)

Błażejczyk K., Kunert A., 2010, Obciążenie cieplne organizmu człowieka podczas letnich i zimowych wędrówek po Tatrach, [w:] Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem, Tom III: Człowiek i środowisko, Z. Krzan (red.), Tatrzański Park Narodowy, Zakopane, 61-68

Błażejczyk K., McGregor G., 2007, Warunki biotermiczne a umieralność w wybranych aglomeracjach europejskich, Przegląd Geograficzny, 79 (3-4), 627-649

Brazdil R., Chroma K., Dobrovolny P., Tolasz R., 2009, Climate fluctuations in the Czech Republic during the period 1961-2005, International Journal of Climatology, 29 (2), 223-242, DOI: 10.1002/joc.1718

Bryś K., Bryś T., 2010, Reconstruction of the 217-year (1791-2007) Wrocław air temperature and precipitation series, Bulletin of Geography. Physical Geography Series, 3 (1), 121-171, DOI: 10.2478/bgeo-2010-0007

Bryś K., Ojrzyńska H., 2016, Bodźcowość warunków biometeorologicznych we Wrocławiu, Acta Geographica Lodziensia, 104, 193-200

Cebulak E., Limanówka D., 2007, Dni z ekstremalnymi temperaturami powietrza, [w:] Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych, K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, UJ, Kraków, 185-194

Chabior M., Michalska B., 2009, Variability of Sensible Temperature (STI) in North-East Poland, Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, 12 (4), #22

Cubasch U., Kadow C., 2011, Global climate change and aspects of regional climate change in the Berlin-Brandenburg region, Die Erde, 142 (1-2), 3-20

Di Napoli C., Pappenberger F., Cloke H.L., 2018, Assessing heat-related health risk in Europe via the Universal Thermal Climate Index (UTCI), International Journal of Biometeorology, 62 (7), 1155-1165, DOI: 10.1007/s00484-018-1518-2

Dubicka M., Głowicki B., 2000, Air temperature and cloudiness at Śnieżka between 1901 and 1998, Prace Geograficzne, 107, 205-212

Gabriel K., Endlicher W., 2011, Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany, Environmental Pollution, 159 (8-9), 2044-2050, DOI: 10.1016/j.envpol.2011.01.016

Głowicki B., 2000, 20th-century variability to daily maxima and minima of air temperature in the Sudetic Mountains, Geographia Polonica, 73 (2), 111-116

Głowicki B., 2008, Ekstremalne zjawiska termiczne w Sudetach w okresie współczesnych zmian klimatu, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 8, 29-40

Graczyk D., Kundzewicz Z.W., Choryński A., Førland E.J., Pińskwar I., Szwed M., 2019, Heat related mortality during hot summers in Polish cities, Theoretical and Applied Climatology, 136 (3-4), 1259-1273, DOI: 10.1007/s00704-018-2554-x

Hoy A., Hänsel S., Skalak P., Ustrnul Z., Bochnicek O., 2017, The extreme European summer of 2015 in a long-term perspective, International Journal of Climatology, 37 (2), 943-962, DOI: 10.1002/joc.4751

Idzikowska D., 2011, Związek między umieralnością a UTCI w Paryżu, Rzymie, Warszawie i Budapeszcie, Prace i Studia Geograficzne, 47, 311-318

Glaser R., Riemann D., 2009, A thousand-year record of temperature variations for Germany and Central Europe based on documentary data, Journal of Quaternary Science, 24 (5), 437-449, DOI: 10.1002/jqs.1302

Jones P.D., Briffa K.R., Osborn T.J., Moberg A., Bergström H., 2002, Relations between circulation strength and the variability of growing-season and cold-season climate in northern and central Europe, The Holocene, 12 (6), 643-656, DOI: 10.1191/0959683602hl577rp

Ilnicki P., Farat R., Górecki K., Lewandowski P., 2015, Long-term air temperature and precipitation variability in the Warta River catchment area, Journal of Water and Land Development, 27, 3-13, DOI: 10.1515/jwld-2015-0019

IPCC, 2019, Climate Change and Land. An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems, International Panel on Climate Change, dostępne online: https://www.ipcc.ch/srccl/ (23.10.2020)

Kornhuber K., Ospray S., Coumou D., Petri S., Petoukhov V., Rahmstorf S., Gray L., 2019, Extreme weather events in early summer 2018 connected by a recurrent hemispheric wave-7 pattern, Environmental Research Letters, 14 (5), DOI: 10.1088/1748-9326/ab13bf

Kossowska-Cezak U., 2010, Występowanie pogody gorącej w Warszawie (1951-2009), Przegląd Geofizyczny, LV (1-2), 61-75

Kossowska-Cezak U., 2014, Zmiany wieloletnie liczby termicznych dni charakterystycznych w Warszawie (1951-2010), Prace Geograficzne, 136, 9-30, DOI: 10.4467/20833113PG.14.001.1639

Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., Limanówka D., 2002, Bioklimat uzdrowisk polskich i możliwości jego wykorzystania w lecznictwie, Monografie IGiPZ PAN, 3, 611 s.

Koźmiński C., Michalska B., 2010, Zmienność liczby dni gorących i upalnych oraz odczucia cieplne w strefie Polskiego wybrzeża Bałtyku. Acta Agrophysica, 2010, 15(2), s. 347-357,

Koźmiński C., Michalska B., 2011, Zmienność liczby dni zimnych, chłodnych, ciepłych, gorących i upalnych w Polsce w okresie kwiecień-wrzesień, Przegląd Geograficzny, 83 (1), 91-107

Koźmiński C., Michalska B., 2019, Ocena bioklimatycznych warunków rekreacji i turystyki w strefie polskiego Wybrzeża Bałtyku na podstawie wskaźnika UTCI, Przegląd Geograficzny, 2, 113-126, DOI: 10.7163/PrzG.2019.2.7

Krzyżewska A., Bartoszek K., Wereski S., 2016, Warunki meteorologiczne w Lublinie podczas wyjątkowo uciążliwej fali upałów z sierpnia 2015 r., Przegląd Geofizyczny, LXI (3-4), 239-249

Krzyżewska A., Wereski S., Demczuk P., 2019, Biometeorological conditions during an extreme heatwave event in Poland in August 2015, Weather, 75 (6), 183-189, DOI: 10.1002/wea.3497

Kuchcik M., 2006, Fale upałów w Polsce w latach 1993-2002, Przegląd Geograficzny, 78 (3), 397-412

Kuchcik M., 2017, Warunki termiczne w Polsce na przełomie XX i XXI wieku i ich wpływ na umieralność, Prace Geograficzne, 263, 279 s.

Lorenc H., 1994, Ocena zmienności temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie 1901-1993 na podstawie obserwacji z wybranych stacji meteorologicznych w Polsce, Wiadomości IMGW, 38, 43-59

Marosz M., Wójcik R., Biernacik D., Jakusik E., Pilarski M., Owczarek M., Miętus M., 2011, Zmienność klimatu Polski od połowy XX wieku. Rezultaty projektu KLIMAT, Prace i Studia Geograficzne, 47, 51-66

Mąkosza A., 2009, Warunki bioklimatyczne Pojezierza Wielkopolskiego dla potrzeb rekreacji, turystyki i agroturystyki, praca doktorska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Katedra Meteorologii i Klimatologii

Mehler S., Völlings A., Flügel I., Szymanowski M., Błaś M., Sobik M., Migała K., Werner M., Kryza M., Kryza M., Miszuk B., Otop I, Kolanek A., Strońska M., 2014, Zmiany klimatu w regionie granicznym Polski i Saksonii, Urząd Krajowy ds. Środowiska, Rolnictwa i Geologii w Dreźnie, Uniwersytet Wrocławski, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, IMGW-PIB, projekt KLAPS

Michalska B., Mąkosza A., 2007, Warunki biotermiczne na Nizinie Szczecińskiej podczas lata w roku 2006 na tle sezonów letnich 1961-1990 i 2001-2005, Balneologia Polska, 3 (109), 186-194

Migała K., Urban G., Tomczyński K., 2016, Long-term air temperature variation in the Karkonosze mountains according to atmospheric circulation, Theoretical and Applied Climatology, 125, 337-351, DOI: 10.1007/s00704-015-1468-0

Miszuk B., 2019, Intensity of heat load during selected weather events in 2015-2018 period in particular regions of the south-west Poland, International Conference UTCI – 10 years of Application, Warszawa, 22-23 maja 2019

Miszuk B., Otop I., Strońska M., Schwarzak S., Surke M., 2016, Tourism-climate conditions and their future development in the Polish-Saxon area, Meteorologische Zeitschrift, 25 (4), 421-434, DOI: 10.1127/metz/2016/0700

Muthers S., Laschewski G., Matzarakis A., 2017, The summers 2003 and 2015 in South-West Germany: Heat waves and heat-related mortality in the context of climate change, Atmosphere, 8 (11), 224, DOI: 10.3390/atmos8110224

NOAA, 2019, Global Climate Report – Annual 2019. National Oceanic and Atmosheric Administration, dostępne online: https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201901 (23.10.2020)

van Oldenborgh G., Sjoukje P., Sarah K., Vautard R., Boucher O., Otto F., Haustein K., Soubeyroux J.-M., Ribes A., Robin Y., Seneviratne S.I., Vogel M.M., Stott P., van Aalst M., 2019, Human contribution to the record-breaking June 2019 heat wave in France, dostępne online: https://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/WWA-Science_France_heat_June_2019.pdf (23.10.2020)

Otop I., Miszuk B., 2011, Cechy klimatu Śnieżki, [w:] 130 lat obserwacji na Śnieżce, J. Gierczak (red.), Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa, 23-54

Overcenco A., Potopova V., 2010, Summer heat episodes in Central and Eastern Europe: Czech Republic and Republic of Moldova case, International Conference, Prague, September 7-9, 2010

Owczarek M., 2007, Zmienność warunków biotermicznych w Gdyni (1951-2005), [w:] Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych, K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), IGiPZ UJ, Kraków, 297-304

Pełech S., 2013, Biothermal conditions in the Polish Tatra Mountains, Prace Geograficzne, 133, 7-19

Plan adaptacji Miasta Legnica do zmian klimatu do roku 2030, 2019, dostępne online: http://um.bip.legnica.eu/uml/rozwoj-miasta/programy-strategie-pla/ (23.10.2020)

Plan adaptacji Miasta Wrocław do zmian klimatu do roku 2030, 2019, dostępne online: https://bip.um.wroc.pl/artykul/528/36151/plan-adaptacji-miasta-wroclaw-do-zmian-klimatu-do-roku-2030 (12.10.2020)

Plan adaptacji Miasta Wałbrzych do zmian klimatu do roku 2030, 2019, dostępne online: http://bip.um.walbrzych.pl/attachments/download/25360 (23.10.2020)

Radzka U., Dragańska E., 2015, Bioklimatyczne warunki turystyki i rekreacji w województwie warmińsko-mazurskim, Wydawnictwo UWM, Olsztyn, 190 s.

Rogowski M., 2018, Czasoprzestrzenny rozkład ruchu turystycznego na szczycie Śnieżki w 2015 roku, Prace Geograficzne, 154, 107-125, DOI: 10.4467/20833113PG.18.011.9443

Schmuck A., 1969, Klimat Sudetów, Problemy Zagospodarowania Ziem Górskich, 5 (18), 93-154

Sobolewski R.K., 2018, Assessment of air quality in Legnica (Poland, Lower Silesian Voivodeship) based on selected gaseous pollutants and subjective temperature index, Acta Scientarum Polonorum. Formatio Circumiectus, 17 (1), 165-174

Sulikowska A., Wypych A., Woszczek I., 2016, Fale upałów latem 2015 roku i ich uwarunkowania cyrkulacyjne, Badania Fizjograficzne, VII, Seria A. Geografia Fizyczna, (A67), 205-223, DOI: 10.14746/bfg.2016.7.16

Tomczyk A.M., 2019, Fale upałów w Polsce latem 2018 roku, [w:] Zmienność klimatu Polski i Europy oraz jej cyrkulacyjne uwarunkowania, L. Kolendowicz, E. Bednorz, A.M. Tomczyk (red.), Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 223-232

Tomczyk A.M., Bednorz E., 2019, Heat waves in Central Europe and tropospheric anomalies of temperature and geopotential heights, International Journal of Climatology, 39 (11), 4189-4205, DOI: 10.1002/joc.6067

Tomczyk A.M., Bednorz E., 2020, The extreme year – analysis of thermal conditions in Poland in 2018, Theoretical and Applied Climatology, 139 (1-2), 251-260, DOI: 10.1007/s00704-019-02968-9

Tomczyk A.M., Owczarek M., 2020, Occurrence of strong and very strong heat stress in Poland and

its circulation conditions, Theoretical and Applied Climatology, 139, 893-905, DOI: 10.1007/s00704-019-02998-3

Twardosz R., 2009, Fale niezwykłych upałów w Europie na początku XXI wieku, Przegląd Geofizyczny, LIV (3-4), 193-203

Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2013, Exceptionally hot summers in Central and Eastern Europe (1951-2010), Theoretical and Applied Climatology, 112, 617-628, DOI: 10.1007/s00704-012-0757-0

Urban A., Hanzlikova H., Kysely J., Plavcova E., 2017, Impacts of the 2015 heat waves on mortality in the Czech Republic - a comparison with previous heat waves, International Journal of Environmental Research and Public Health, 14 (12), 1562, DOI: 10.3390/ijerph14121562

Vanickova M., Stehnova E., Stredova H., 2017, Long-term development and prediction of climate extremity and heat waves occurrence: case study for agricultural land, Contributions to Geophysics and Geodesy, 47 (3), 247-260, DOI: 10.1515/congeo-2017-0013

Wereski S., Dobek M., Wereski S., 2010, Częstość występowania poszczególnych odczuć cieplnych w Lublinie i w Lesku na podstawie temperatury odczuwalnej (STI) w latach 1991-2005, Problemy Ekologii Krajobrazu, 27, 371-377

Wibig J., 2018, Heat waves in Poland in the period 1951-2015: trends, patterns and driving factors, Meteorology Hydrology and Water Management, 6 (1), 37-45, DOI: 10.26491/mhwm/78420

WMO, 2019, The Global Climate 2015-2019, World Meteorological Organization, dostępne online: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9936 (23.10.2020)

Woś A., 1999, Klimat Polski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 301 s.

S t r e s z c z e n i e

Najnowsze światowe raporty klimatyczne pokazały, że rok 2019 był jednym z najcieplejszych w historii pomiarów. Celem opracowania było określenie cech warunków termicznych i biotermicznych wybranych regionów Dolnego Śląska w 2019 r. oraz odniesienie ich do wartości w okresie wieloletnim 1971-2019. W analizach wykorzystano dane meteorologiczne z trzech stacji IMGW-PIB (Wrocław, Kłodzko, Śnieżka), które reprezentowały różne piętra wysokościowe. Do oceny warunków biotermicznych wykorzystano wskaźnik temperatury odczuwalnej *STI*. Wyniki badań pokazały, że 2019 r. był najcieplejszym lub jednym z najcieplejszych w uwzględnionym wieloleciu. Jednocześnie wykazano, że w okresie 1971-2019 znacząco wzrosła temperatura powietrza oraz częstość dni upalnych i gorących, przy malejącej liczbie dni przymrozkowych i mroźnych. W zakresie warunków biotermicznych zarówno w 2019 r., jak i wieloleciu widać wyraźną różnicę pod względem kształtowania się odczuć cieplnych między stacjami niżej położonymi (Wrocław i Kłodzko) a szczytową strefą Karkonoszy (Śnieżka). Stacje położone niżej cechuje znaczna częstość dni ze stresem gorąca w okresie letnim, w szczytowej strefie Karkonoszy natomiast przez cały rok dominują odczucia z zakresu silnego stresu zimna. W 2019 roku, w porównaniu do okresu wieloletniego, byłą większa częstość dni ze stresem gorąca i warunków pogodowych o charakterze termoneutralnym. Uzyskane wyniki badań będą mogły zostać wykorzystane w ocenie potencjału rekreacyjnego regionu Dolnego Śląska.

Słowa kluczowe: klimat, Dolny Śląsk, *STI*, warunki termiczne, bioklimat.

Summary

The results of the latest WMO and NOAA reports on climate show that 2019 was one of the warmest years in the history of meteorological measurements. Therefore, the aim of the paper was to evaluate thermal conditions in 2019 in the selected regions of the Lower Silesia, Poland, and compare the results to the multiannual period of 1971-2019. Additionally, analysis on bio-thermal conditions were carried out in order to examine how changes in thermal conditions affects biometeorological issues. The analysis was carried out on the basis of meteorological data for 1971-2019 from IMGW-PIB stations representing various altitude. Wrocław (120 m a.s.l.) represented the lowlands, Kłodzko (356 m a.s.l.) the lower mountain parts, while Śnieżka (1603 m a.s.l.) represented the summit zone of the Giant Mts. In case of bio-thermal conditions evaluation, subjective temperature index *STI*, developed on the basis of MENEX model, was used.

The results showed that 2019 at the considered stations was characterized as the warmest (Wrocław, Kłodzko) or one of the warmest years (Śnieżka) in the 1971-2019 period. Furthermore, for 1971-2019, increasing and statistically important trend was noticed for mean annual air temperature and the number of heat and warm days. The rate of increase in mean air temperature was equal to 0,5°C/decade in Wrocław, 0,3°C/decade in Kłodzko and 0,4°C/decade on Śnieżka. On the other hand, decreasing tendency was observed for annual frequency of frosty and icy days. In terms of bio-thermal conditions, 'cool' thermal senses were prevailing throughout the year in the lower located regions. During the summer season, higher frequency of heat stress was noticed for both 2019 and 1971-2019. In case of Śnieżka, intensive cold stress ('extremely cold', 'very cold' and 'cold') dominates during the cold season. In the warm season, 'cool', 'comfortable' and 'warm' conditions are also observed with no weather types considered as heat stress. Comparing bio-thermal conditions in 2019 to 1971-2019, lower frequency of cold stress occurred in 2019 at each station. In the lower located regions, higher number of days with heat stress and 'comfortable' conditions was noticed. On Śnieżka, frequency of 'cool', 'comfortable' and 'warm' conditions increased if compared to 1971-2019. Therefore, in case of further increase in air temperature and frequency of heat and warm days, additional increase in heat stress frequency can be expected in the lower located regions. On the other hand, improvement in bio-thermal conditions can be noticed in the summit zone of the mountains because of increase in thermoneutral conditions frequency. Nevertheless, it should be emphasized that in spite of increase in air temperature, 'very cold' 'cold' and 'cool' thermal senses should still be predominant throughout the year in the summit zone. As bio-thermal indices are often considered in evaluations of weather conditions for tourism, the results of the analysis can be used for assessment of recreational potential of the Lower Silesia.

Key words: climate, Lower Silesia, *STI*, thermal conditions, bioclimate.