



Zmiany klimatu w regionie granicznym Polski i Saksonii

LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



Uniwersytet
Wrocławski



Europäische Union. Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung: Investition in Ihre Zukunft
Unia Europejska. Europejski Fundusz Rozwoju
Regionalnego: Inwestujemy w waszą przyszłość



Zmiany klimatu, zanieczyszczenia
powietrza i przekroczenia ładunków krytycznych
w regionie granicznym Polska – Saksonia





KLAPS – Zmiany klimatu, zanieczyszczenia powietrza i przekroczenia ładunków krytycznych w regionie granicznym Polska – Saksonia

Zmiany klimatu w regionie granicznym Polski i Saksonii



Autorzy

**Urząd Krajowy ds. Środowiska,
Rolnictwa i Geologii, Drezno**

Susann Mehler
we współpracy z Andreas Völlings i Ines Flügel

**Uniwersytet Wrocławski, Instytut Geografii i
Rozwoju Regionalnego**

Mariusz Szymanowski
Marek Błaś
Mieczysław Sobik
Krzysztof Migąła
Małgorzata Werner
Maciej Kryza

Recenzenci: Prof. dr hab. Marian Rojek,
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

**Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB,
Oddział Wrocław**

Bartłomiej Miszuk
Irena Otop
Agnieszka Kolanek
Marzenna Strońska

Recenzenci: Prof. dr hab. Zbigniew Szwejkowski,
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie



Spis treści

1 Obszar badań

Charakterystyka regionu	7
Użytkowanie terenu	8
Charakterystyka klimatologiczna	8

2 Dane i metody

Baza danych meteorologicznych	12
Wskaźniki klimatu	13
Podstawowe wskaźniki klimatologiczne	13
Wskaźniki agroklimatologiczne	14
Wskaźniki bioklimatyczne	16
Wskaźniki biotermiczne	16
Wskaźniki turystyczne	17
Ocena jakości danych klimatologicznych	18
Korekta i uzupełnienie danych	18
Testowanie homogeniczności	20
Analiza trendu	20
Analizy przestrzenne	21

3 Wyniki

Temperatura powietrza	24
Zmienność przestrzenna	24
Zmienność czasowa	29
Dni charakterystyczne	35
Występowanie dni charakterystycznych	37
Wskaźniki oparte na percentylach	39
Wskaźniki odnoszące się do wegetacji	40
Stopniodni okresu wegetacyjnego (Growing Degree Days – GDD)	40
Suma temperatury aktywnej	43
Wskaźnik hydrotermiczny Selianinowa (HTC)	45
Warunki bioklimatyczne	47
Wskaźniki biotermiczne	47
Wskaźniki turystyczne	52
Makrotypy cyrkulacji atmosferycznej	61
Częstość występowania makrotypów cyrkulacji atmosferycznej nad Środkową Europą w latach 1881–2010	61
Makrotypy cyrkulacji atmosferycznej w roku 1980 i 2006	66
Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (wskaźnik NAO)	67

4 Podsumowanie

Spis literatury	71
Spis rycin	74
Spis tabel	78





Wstęp

Klimat i bioklimat danego obszaru jest kształtowany przez globalne i regionalne czynniki radiacyjne oraz cyrkulacyjne, które ulegają znacznym modyfikacjom przez lokalne elementy środowiska geograficznego (np. rzeźbę terenu, szatę roślinną, rodzaj podłoża, urbanizację, zanieczyszczenia). Pogoda i klimat są zasobami naturalnymi wykorzystywanymi m.in. w rekreacji i turystyce. W świetle zachodzących zmian klimatu istotną staje się odpowiedź na pytanie, jak obserwowane zmiany mogą wpłynąć na środowisko i działalność gospodarczą. Warunkiem zrównoważonego rozwoju jest diagnoza obecnych i potencjalnych zagrożeń stanu środowiska przyrodniczego. Z punktu widzenia rolnictwa, turystyki i rekreacji istotne znaczenie mają warunki agroklimatologiczne, bioklimatyczne i aerosanitarne. Zanieczyszczenia powietrza są dla człowieka niekorzystnymi bodźcami chemicznymi.

Niniejsze opracowanie jest podsumowaniem pierwszej części projektu UE KLAPS: *Zmiany klimatu, zanieczyszczenia powietrza i przekroczenia ładunków krytycznych w regionie granicznym Polska – Saksonia*, realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Współpracy Transgranicznej Polska-Saksonia 2007–2013 przez Urząd Krajowy ds. Środowiska, Rolnictwa i Geologii w Dreźnie (lider projektu), Zakład Klimatologii i Ochrony Atmosfery Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego (partner projektu) oraz Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB oddział Wrocław (partner projektu). Głównym celem projektu KLAPS jest uwrażliwienie mieszkańców naszego regionu i dostarczenie im informacji w zakresie dostosowania się do zmian klimatu w regionie wsparcia Programu w aspekcie bioklimatu, agroklimatu oraz stężeń i depozycji zanieczyszczeń powietrza.

Celem pracy, podsumowanej w ramach pierwszego raportu, była charakterystyka wybranych elementów klimatu dla obszaru pogranicza Polski i Saksonii. W szczególności skupiono się na cechach termicznych klimatu dla okresu 1971–2010, w kontekście agroklimatologii i bioklimatologii. Charakterystyka warunków opadowych regionu, w kontekście warunków hydrologicznych, jest przedmiotem równolegle realizowanego projektu UE NEYMO: *Lausitzer Neiße/Nysa Łużycka – Modelowanie klimatyczne i hydrologiczne, Analiza i Prognoza*¹. Z tego względu nie została uwzględniona w niniejszym opracowaniu. Celem drugiego raportu, planowanego na lato 2014, będzie przedstawienie możliwych scenariuszy zmian klimatu do końca 21 wieku.

¹ <http://www.umwelt.sachsen.de/neymo>

1

Obszar badań

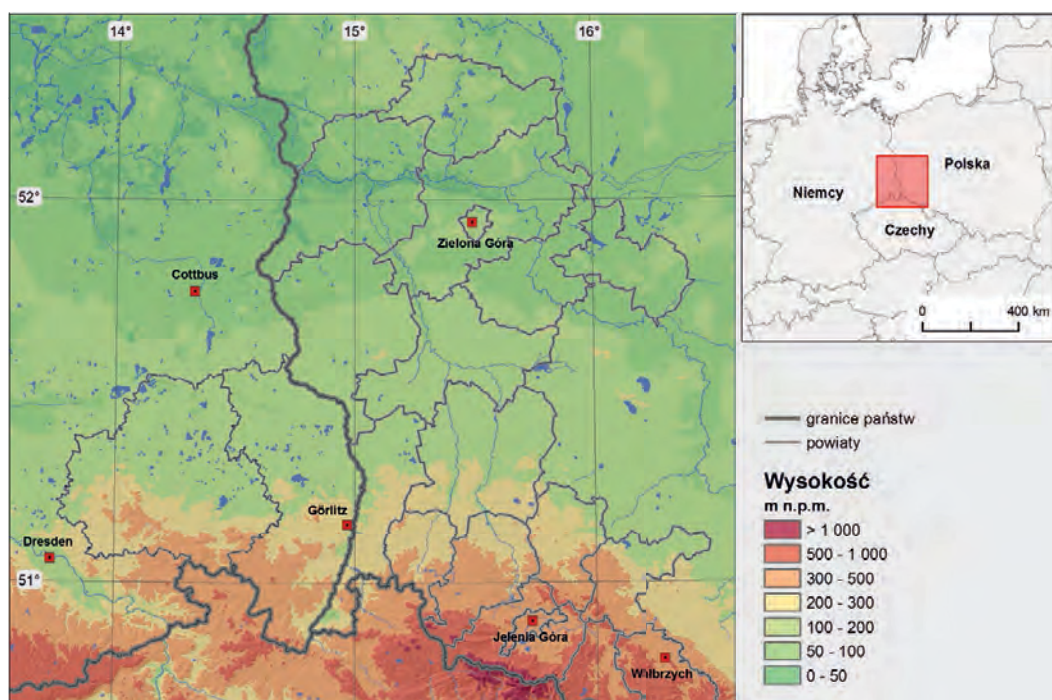




Charakterystyka regionu

Głównym czynnikiem determinującym zróżnicowanie klimatyczne regionu jest wysokość bezwzględna, która ma decydujące znaczenie zwłaszcza w przypadku obszarów górskich, położonych w jego południowej części: Rudaw, Gór Żytawskich, Gór Izerskich i Karkonoszy (Ryc. 1). Z tego względu w regionie obserwowane jest duże zróżnicowanie średniej rocznej temperatury powietrza pomiędzy terenami nizinnymi (np. Lindeberg 8,9°C) a górami (np. Śnieżka 0,7°C). Wartości temperatury powietrza maleją wraz ze wzrastającą wysokością n.p.m. Zachodnia część obszaru projektu cechuje się występowaniem większych sum opadów w porównaniu do części wschodniej. Spowodowane to jest przede wszystkim stopniowym słabnięciem aktywności frontalnej w kierunku wschodnim oraz transformacją mas powietrza polarno-morskiego napływającego głównie z sektora SW-W na NE-E. W przypadku opadów atmosferycznych, bardzo ważnym czynnikiem jest również położenie gór względem głównych kierunków wiatru. Po stronie dowietrznej gór obserwowany jest wzrost zachmurzenia oraz opadów atmosferycznych, podczas gdy na stronie zawietrznej często notowany jest tzw. cień opadowy, przejawiający się niższymi sumami opadów oraz mniejszym zachmurzeniem. W regionie badań tego typu efekty można zaob-

erwować na przykładzie wschodniej części Rudaw, która charakteryzuje się stosunkowo niskimi sumami opadów w porównaniu do położonych na podobnej szerokości geograficznej Gór Izerskich i Karkonoszy. W okresie zimy, podczas sytuacji pogodowych z napływem mas powietrza z kierunków S-SW, po północnej stronie gór obserwowane są zjawiska fenowe (KWIATKOWSKI i HOŁDYS, 1985). Ich częste występowanie skutkuje wzrostem średniej temperatury powietrza półrocza chłodnego na północnych stokach, co sprawia, że odznaczają się one wyższą temperaturą powietrza niż stoki południowe. Przykładem zjawiska fenowego może być sytuacja pogodowa odnotowana 16.11.2006 r., kiedy na stacji Cottbus temperatura powietrza osiągnęła 20 °C (SMUL 2008). Konsekwencją tego typu rozkładu termicznego jest wyższa i dłużej zalegająca pokrywa śnieżna w czeskich partiach Rudaw i Sudetów w porównaniu do części niemieckiej i polskiej. Wpływ topografii terenu jest również widoczny w mniejszej skali, m.in. w postaci zastoisk chłodu czy lokalnych inwersji termicznych, obserwowanych w dolinnych formach terenu, co ma duże znaczenie dla rolnictwa oraz długookresowej stagnacji zanieczyszczeń powietrza. Dobrym przykładem takiego oddziaływania warunków lokalnych jest położona na dnie kotliny stacja Jelenia Góra

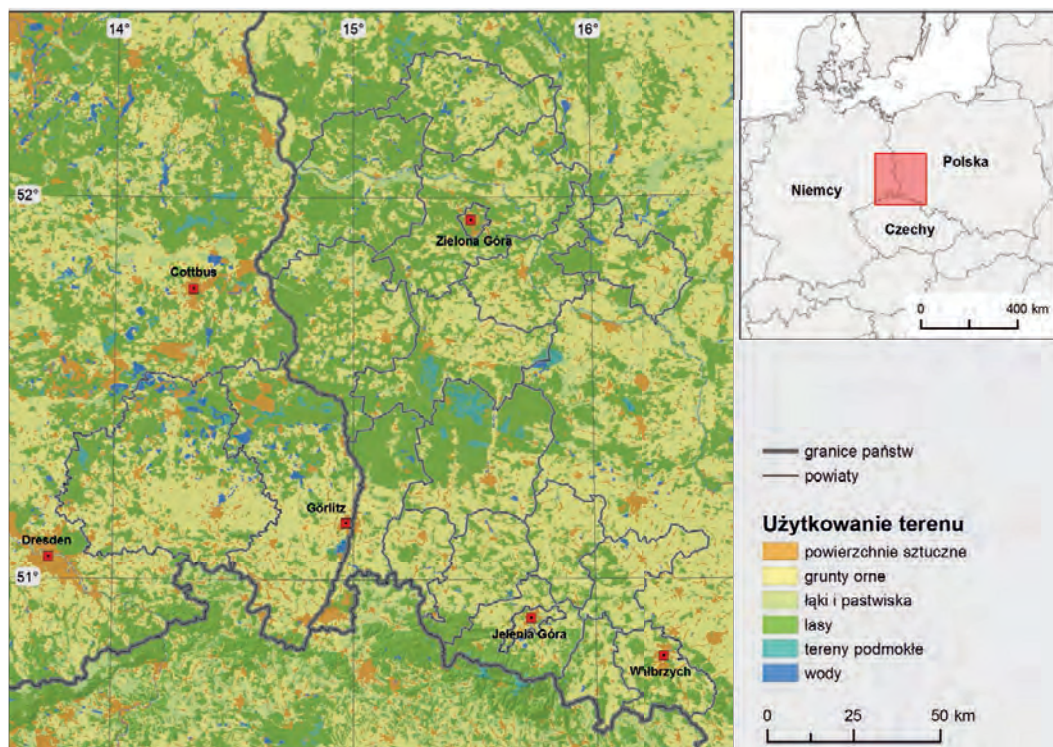


Ryc. 1

Obszar badań projektu KLAPS

(baza danych: SRTM4, ESRI Data and Maps 9.3, Baza Danych Ogólnogeograficznych)

Ryc. 2
 Użytkowanie terenu
 w regionie badań
 projektu KLAPS
 (na podstawie: CORINE
 Land Cover 2006)



(342 m n.p.m.), gdzie średnia temperatura minimalna powietrza (2.3°C) dla okresu referencyjnego 1971–2000 jest niższa w porównaniu do obserwowanej dla stacji Görlitz (238 m n.p.m.; 4.8°C).

Średnia prędkość wiatru jest przede wszystkim uwarunkowana wysokością bezwzględną, ale także formą terenu. Na wierzchołkach zwykle notowana jest większa prędkość wiatru, podczas gdy w obrębie dolin jego prędkość maleje.

Cechą charakterystyczną regionu jest występowanie w półroczu chłodnym wiatru typu bora (np. bohemian wind, SMUL 2008). Wiatr ten odznacza się dużą prędkością i obserwowany jest głównie w chłodnej części roku. Jest on związany z napływem chłodnych mas powietrza z południowo-wschodniej Europy, gdzie w regionie południowo-wschodniej Europy rozciąga się obszar wysokiego ciśnienia, zaś w części północno-zachodniej obserwowany jest niż. Wiatr ten przynosi ochłodzenie w dolinach Nysy, Łaby, jak również wzdłuż Bramy Lubawskiej oraz w regionie Kotliny Kamiennogórskiej. Skutkuje to m.in. dłużej zalegającą pokrywą śnieżną na tych terenach.

W przypadku warunków bioklimatycznych, zgodnie z klasyfikacją dla obszaru Polski, zaproponowaną przez Błażejczyka (2004), obszar projektu położ-

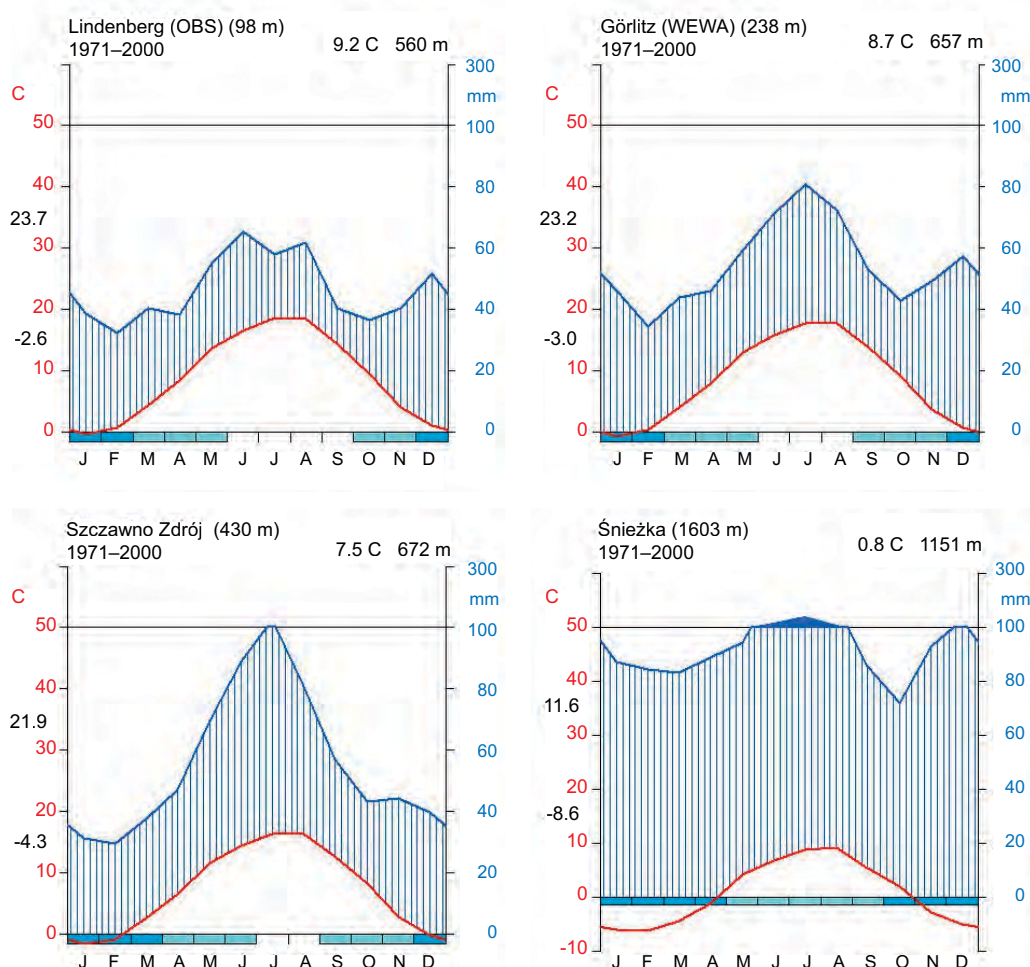
ony jest w obrębie dwóch regionów bioklimatycznych: Centralnego oraz Sudeckiego. Region Centralny charakteryzuje się występowaniem z reguły łagodnych bodźców z uwagi na korzystne warunki termiczne, wietrzne, solarne i opadowe. Region Sudecki odznacza się występowaniem bardziej surowych warunków klimatycznych, zwłaszcza w okresie półroczu chłodnego.

Użytkowanie terenu

W regionie badań projektu głównymi klasami użytkowania terenu (wg bazy danych Corine Land Cover; Ryc. 2) są użytki rolne (42%) oraz lasy (42%). Znacznie mniejszy obszar zajmują tereny zurbanizowane (6%) oraz obszary wodne (8%). Rodzaj podłoża, z uwagi na zróżnicowane albedo, ma również duże znaczenie dla warunków radiacyjnych. Ważną rolę odgrywa pokrywa roślinna, która silnie oddziałuje na kształtowanie się wartości temperatury maksymalnej i minimalnej powietrza.

Charakterystyka klimatologiczna

Obszar badań projektu położony jest w strefie klimatu przejściowego między klimatem morskim Europy Zachodniej i kontynentalnym Europy Wschodniej, w strefie cyrkulacji zachodniej (klasyfikacja klimatu wg FLOHN 1954). W układzie W-E zauważalny jest rosnący wpływ kontynentalizmu,



Ryc. 3

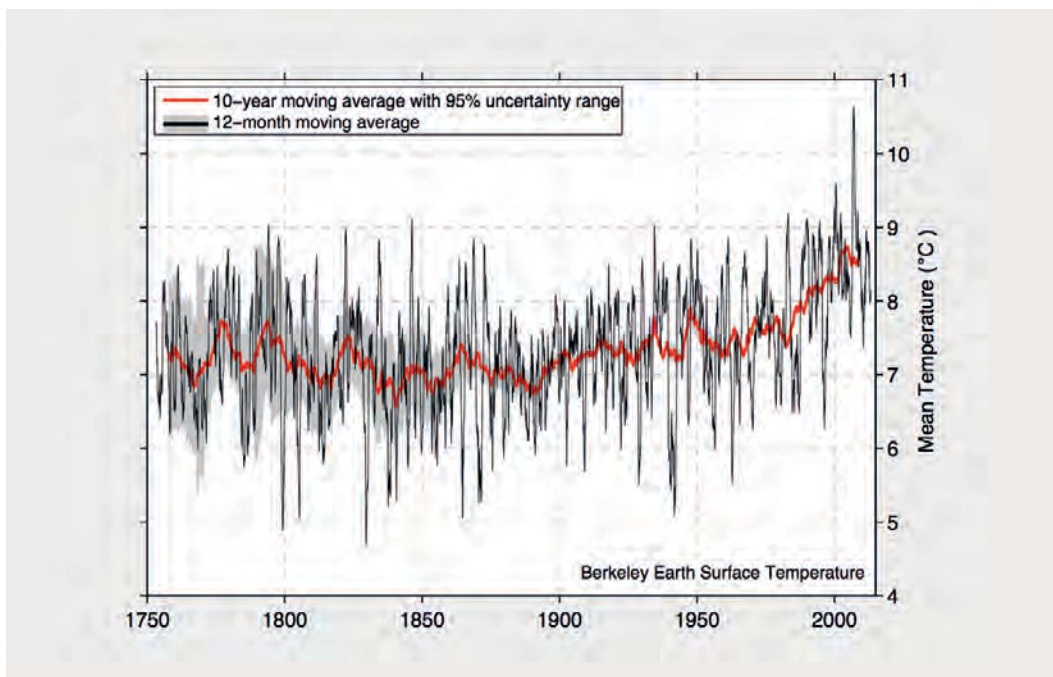
Diagramy klimatyczne wg WALTER/LIETH dla wielolecia 1971–2000

(z lewej: średnia miesięczna temperatura powietrza (na czerwono); z lewej strony wartości: średniej miesięcznej temperatury maksymalnej najcieplejszego miesiąca (na górze), średniej miesięcznej temperatury minimalnej najchłodniejszego miesiąca (dół); z prawej strony wartości: średnich miesięcznych sum opadów atmosferycznych (na niebiesko); na dole: miesiące z przymrozkami (na ciemnoniebiesko) oraz z możliwymi przymrozkami (na jasnoniebiesko))

czego przejawem są zwiększające się roczne amplitudy temperatury powietrza i niższe sumy roczne opadów. Kompensacyjny wpływ północnoatlantyckiego Prądu Zatokowego (Golfstromu) powoduje, że średnia roczna temperatura powietrza np. w Görlitz wynosi 8.6 °C i jest znacząco wyższa niż w innych regionach położonych na tej samej szerokości geograficznej (Saratow, Rosja 4.9 °C²). Diagramy klimatologiczne dla wybranych stacji położonych na różnych wysokościach przedstawiono na Ryc. 3.

2 <http://www.klimadiagramme.de/Europa/saratow.html>

Ryc. 4
Wieloletni trend
temperatury powietrza w
zachodniej części Polski
(50.63 N, 16.48 E)
w okresie 1750–2012
(Berkeley Earth Project,
95% przedział ufności
zaznaczono kolorem
szarym)



Ryc. 4 przedstawia wieloletni trend średniej temperatury w zachodniej części Polski (50.63 N, 16.48 E) na podstawie miesięcznych wartości z okresu 1750–2012. Analizy te zostały przeprowadzone przez Berkeley Earth Project³, w projekcie KLAPS zostały wykorzystane do oceny wybranej 40-letniej serii z lat 1971–2010.

Naturalna zmienność klimatu została przedstawiona dla całej serii czasowej. Większe jej wahania zostały wyrównane 10-letnim filtrem dolnoprzepustowym. Czarna linia przedstawia 12-miesięczną średnią ruchomą temperaturę powietrza. Niepewność związana z określeniem wielkości temperatury (szum statystyczny i mała gęstość stacji) została zaznaczona kolorem szarym i jest szczególnie duża w okresie 1750 a 1880. W okresie między

rokiem 1880 a 1930 obserwowany był słaby rosnący trend temperatury. Interesujący jest fakt, że średnia temperatura w tym okresie była znacząco niższa w porównaniu do okresu referencyjnego 1971–2000. Ekstremalnie ciepłe lata przed rokiem 1900 były przeciętne pod względem termicznym lub nawet chłodniejsze niż teraz. Rok 1934 był najcieplejszy w serii pomiarowej przed rokiem 2000 (i 2007), kiedy to temperatura roczna osiągnęła nowy rekord. Po bardzo zmiennym okresie między rokiem 1935 i 1980, temperatura wykazuje silny trend rosnący od lat 80-tych do chwili obecnej, najwyższy od początku serii w roku 1750. W ostatnich latach wzrost temperatury jest mniejszy z uwagi na naturalne efekty kompensacyjne, takie jak magazynowanie ciepła w oceanie czy minimum w 11-letnim cyklu plam słonecznym (IPCC 5AR).

3 <http://berkeleyearth.lbl.gov/locations/50.63N-16.48E>

2

Dane i metody



Baza danych meteorologicznych

Bazę danych stanowiły dobowe serie czasowe elementów meteorologicznych z sieci stacji z obszaru Niemiec (DWD), Republiki Czeskiej (CHMI) i Polski (IMGW).

Pozyskane dane klimatologiczne pochodziły z 26 stacji (Tabela 1, Ryc. 5). Z punktu widzenia dostępności danych, z wielolecia 1971–2010 wyodrębniony został okres referencyjny 1971–2000, w celu przedstawienia średnich charakterystyk oraz rozkładów przestrzennych temperatury powietrza. Cały okres 40-letni stanowi zaś podstawę do analizy trendu.

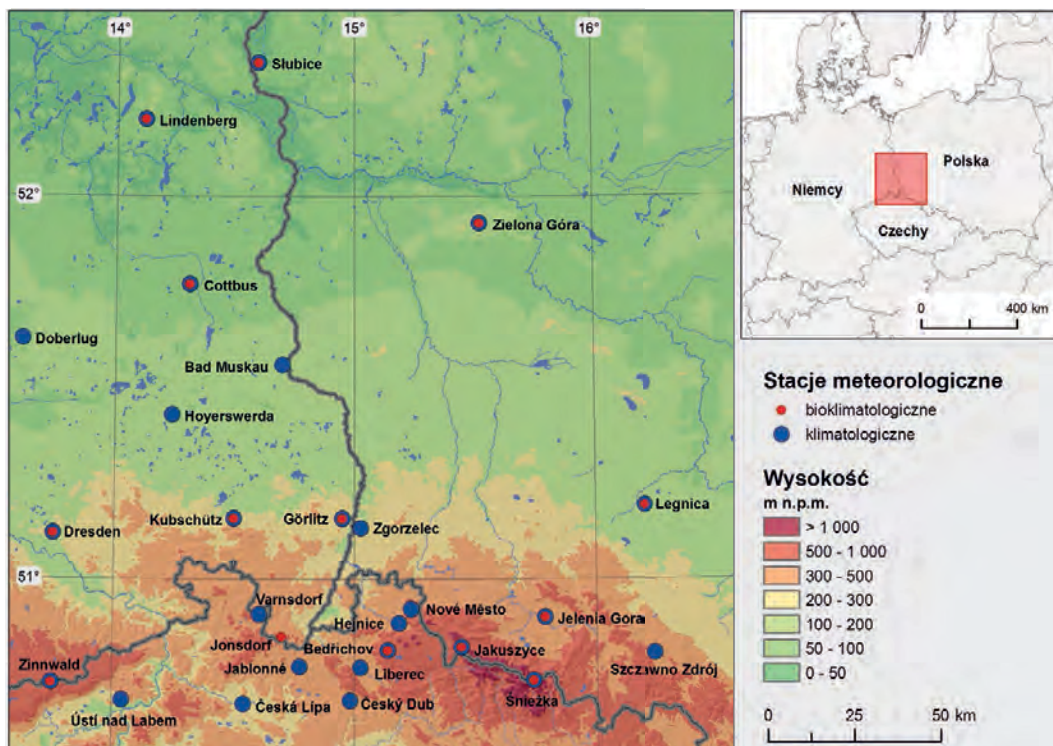
W przypadku warunków bioklimatycznych podstawą dla obliczeń wskaźników biotermicznych i turystycznych były dane meteorologiczne z lat 1971–2010. W analizie uwzględniono dane z

terminu obserwacyjnego 12 UTC (Coordinated Universal Time), z uwagi na fakt, że największa aktywność człowieka w cyklu dobowym obserwowana jest zwykle w godzinach południowych i popołudniowych. Dane zawierały informacje o: temperaturze powietrza (TT), wilgotności względnej powietrza (RF), ciśnieniu pary wodnej (DD), prędkości wiatru (FF), promieniowaniu słonecznym (SD), zachmurzeniu (NN). Ponadto wykorzystano również dane dobowe dotyczące opadu atmosferycznego (RR) i pokrywy śnieżnej (SN), a w kontekście oceny wpływu promieniowania słonecznego, uwzględniono również informacje na temat wysokości słońca nad horyzontem w poszczególnych dniach roku.

Tabela 1
Dostępność wybranych danych klimatologicznych z dobową rozdzielczością czasową

(TX – temperatura maksymalna powietrza, TM – średnia dobową temperatura powietrza, TN – temperatura minimalna powietrza, RR – opad atmosferyczny, RF – wilgotność względna powietrza, PP – ciśnienie atmosferyczne, DD – ciśnienie pary wodnej, SD – usłonecznienie, NN – zachmurzenie, FF – prędkość wiatru)

Stacja	Wysokość [m n.p.m.]	TX [°C]	TM [°C]	TN [°C]	RR [mm]	RF [%]	PP [hPa]	DD [hPa]	SD [h]	NN [oktanty]	FF [m/s]
Bad Muskau	125				X						
Bedřichov	777	X	X	X	X	X	X	X			X
Cottbus	69	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Česká Lípa	246		X		X	X	X	X	X		X
Český Dub	355	X	X	X	X	X	X	X			X
Doberlug-Kirchhain	97	X	X	X	X	X	X	X			X
Dresden-Klotzsche	227	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Görlitz	238	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Hoyerswerda	135				X						
Hejnice	396		X		X		X		X		
Jablonné	320		X		X	X	X	X			X
Jakuszyce	860	X	X		X		X				
Jelenia Góra	342	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Kubschütz	232	X	X	X	X	X	X	X		X	
Lindenberg	98	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Legnica	122	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Liberec	398		X		X	X	X	X	X		X
Nové Město pod Smrkem	473	X	X	X	X	X	X	X			X
Ślubice	22	X	X	X	X	X	X	X		X	X
Śnieżka	1602	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Szczawno Zdrój	430	X	X	X	X	X	X	X		X	
Ústí nad Labem	375		X		X		X		X		
Varnsdorf	365		X		X	X	X	X			X
Zinnwald-Georgenfeld	877	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zgorzelec	203	X	X	X	X	X	X	X		X	X
Zielona Góra	192	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X



Ryc. 5

Lokalizacja wybranych stacji meteorologicznych do analiz klimatu i bioklimatu w obszarze badań projektu

Wskaźniki klimatu

Podstawowe wskaźniki klimatologiczne

Aby ocenić współczesny stan i zmiany klimatu wyznaczono szereg charakterystycznych wielkości i wskaźników klimatologicznych, które dobrze opisują warunki termiczne. Wielkości, które zastosowano objaśniono poniżej.

Dni charakterystyczne termicznie wyznaczono na podstawie progowych wartości określonych przez ekstremalne dobowe temperatury powietrza i obliczono według algorytmów zdefiniowanych w dokumencie European Climate Assessment & Data (ECA&D 2012, [Tabela 2](#)).

Wskaźnik	akronim	definicja	jednostka	źródło
Dni gorące	SU25	Liczba dni z TX > 25 °C	dni	ECA&D
Dni upalne	HD30	Liczba dni z TX > 30 °C	dni	ECA&D
Noce gorące	TN20	Liczba dni z TN > 20 °C	dni	ECA&D
Dni przymrozkowe	FD	Liczba dni z TN < 0 °C	dni	ECA&D
Dni mroźne	ID	Liczba dni z TX < 0 °C	dni	ECA&D

Tabela 2

Opis dni charakterystycznych termicznie według wartości progowych wyznaczonych na podstawie dobowej temperatury maksymalnej TX i minimalnej TN

Suma chłodu	Klasyfikacja zimy	jednostki
< 100	umiarkowanie ciepła	°C
100 – 200	normalna	°C
201 – 300	umiarkowanie chłodna	°C
301 – 400	chłodna	°C
> 400	bardzo chłodna	°C

Tabela 3

Klasyfikacja surowości zim według „sum chłodu” tj. sum ujemnych wartości średniej dobowej temperatury powietrza (SMUL 2008)

Surowość zim wyrażono sumą ujemnych wartości średniej dobowej temperatury powietrza i określono jako „sumy chłodu” dla okresu listopad – marzec, wg równania:

$$KS = \sum_{i=1}^n |T_{m,i}| \quad \text{for } T_{m,i} < 0^{\circ}\text{C}$$

Ze względu na istotną zależność temperatury od wysokości nad poziom morza uznano, że wskaźniki statystyczne oparte na wartościach percentyli są porównywalne i dobrze charakteryzują ciepłe dni i noce (Tabela 4).

Dni ciepłe: TX_{ij} oznacza maksymalną dobową temperaturę powietrza dnia i w okresie czasu j oraz $TX_{in\ 90}$ oznacza wartość 90-go percentyla w kalendarzowym dniu liczonym dla okresu 1971–2000 według średniej ruchomej o kroku równym 5 dni; ilość dni ciepłych określona jest wtedy, gdy:

$$TX_{ij} > TX_{in\ 90}$$

Noce ciepłe: TN_{ij} oznacza minimalną dobową temperaturę powietrza dnia i w okresie czasu j oraz $TN_{in\ 90}$ oznacza wartość 90-go percentyla w kalendarzowym dniu liczonym dla okresu 1971–

2000 według średniej ruchomej o kroku równym 5 dni; ilość nocy ciepłych określona jest wtedy, gdy:

$$TN_{ij} > TN_{in\ 90}$$

Należy dodać, że istotna jest nie tylko częstość występowania dni charakterystycznych pod względem termicznym, ale również długotrwałość takich okresów. W Tabeli 5 zdefiniowano warunki progowe dla ciągów dni charakterystycznych. Wskaźniki zaprezentowano w formie map trendu i wykresów.

Wskaźniki agroklimatologiczne

W raporcie zaprezentowano analizę trzech wskaźników agroklimatologicznych dla wszystkich stacji meteorologicznych w obrębie domeny projektu KLAPS, dla których dysponowano odpowiednim materiałem obserwacyjnym. Aby przedstawić ich rozkład przestrzenny zastosowano interpolację zgodnie z metodyką zaprezentowaną w kolejnym rozdziale. Dwa wskaźniki bazują jedynie na temperaturze powietrza (suma temperatur aktywnych oraz stopniodni okresu wegetacyjnego). Trzeci wskaźnik, poza temperaturą powietrza, uwzględnia także sumę opadu atmosferycznego, która

Tabela 4
Opis wskaźników klimatologicznych opartych o klasyfikację według percentyli

wskaźnik	akronim	definicja	jednostka	źródło
Dni ciepłe	TX90	Dni z $TX > 90$ percentyla dobowej temperatury maksymalnej	dni	ECA&D
Noce ciepłe	TN90	Dni z $TN > 90$ percentyla dobowej temperatury minimalnej	dni	ECA&D

Tabela 5
Opis okresów charakterystycznych

wskaźnik	akronim	definicja	jednostka	źródło
Fala ciepła	HSDI	liczba przynajmniej 6 kolejnych dni z $TX > 90$ percentyla w latach 1971–2000	dni	ECA&D
Fala chłodu	CSDI	liczba przynajmniej 6 kolejnych dni z $TN < 10$ percentyla w latach 1971–2000	dni	ECA&D
Seria dni ciepłych	CTX90	następujące po sobie kolejne dni, gdzie $TX > 90$ percentyla liczona jest dla każdego dnia kalendarzowego (1971–2000)	dni	ECA&D
Seria nocy ciepłych	CTN90	następujące po sobie kolejne dni, gdzie $TN > 90$ percentyla liczona jest dla każdego dnia kalendarzowego (1971–2000)	dni	ECA&D
Okres przymrozkowy	FP	liczba kolejnych dni z przymrozkiem ($TN < 0^{\circ}\text{C}$)	dni	ECA&D
Okres bezprzymrozkowy	FFP	długość okresu pomiędzy pierwszym i ostatnim dniem bez przymrozków ($TN \geq 0^{\circ}\text{C}$)	dni	Easterling & Kunkel



decyduje o zakwalifikowaniu danego obszaru do suchego lub wilgotnego (hydro-termalny wskaźnik Selyaninova). W raporcie zaprezentowano rozkłady przestrzenne wybranych wskaźników dla warunków przeciętnych z wielolecia 1971–2010 oraz wybranych lat ekstremalnych (rok najchłodniejszy i najcieplejszy oraz najbardziej suchy i wilgotny).

Suma temperatur aktywnych (Sum of Active Temperatures – SAT) jest uznawana jako jeden z najważniejszych wskaźników termicznych w agroklimatologii. Jest to suma średnich dobowych temperatur (T_d) z okresu od 1 IV do 31 X, które są równe lub przekraczają wartość progową 10°C (JONES i DAVIS, 2000). Oszacowano, że prowadzenie winnicy jest możliwe o ile wielkość SAT osiągnie lub przekroczy 2500 (MYŚLIWIEC 2003). Sposób liczenia SAT obrazuje poniższe równanie:

$$SAT = \sum_{1.04}^{31.10} \frac{T_X + T_N}{2} \text{ dla } T_d = \frac{T_X + T_N}{2} \geq 10^{\circ}\text{C}$$

Ostateczna postać równania może być modyfikowana w zależności od sposobu liczenia średniej temperatury dobowej (T_d). Wartości wskaźnika SAT mogą być m.in. wykorzystane w klasyfikowaniu przydatności danego obszaru w uprawach różnych odmian winogron (Tabela 6).

Wskaźnik stopniodni okresu wegetacyjnego (GDD) opisuje strumień energii cieplnej, który w danym czasie jest niezbędny do wzrostu określonych upraw (SENSHAN i in., 1995). GDD liczy się wg następującego równania:

$$GDD = \sum_{1.04}^{31.10} \frac{T_X + T_N}{2} - 10^{\circ}\text{C} (T_{Basis})$$

Szczegółową analizę wskaźnika GDD przeprowadzili GILMORE i ROGERS (1958), ARNOLD (1960), WANG (1960), PRUESS (1983), McMASTER i WILHELM (1997), BONHOMME (2000). Istnieje wiele modyfikacji równania dla GDD, które zostały opisane w literaturze i

wiążą się z:

- zmianą temperatury progowej (McMASTER i SMIKA, 1988);
- włączeniem temperatury minimalnej i maksymalnej wyznaczonej dla całej doby lub jej części (MASLE i in., 1989); zastosowaniem różnych terminów wyznaczania dobowych maksimum (DEGAETANO i KNAPP, 1993);
- zastosowaniem uproszczonych wersji równania – w zależności od sposobu obliczania średniej temperatury dobowej, np. $[(T_X + T_N)/2]$ (CROSS i ZUBER, 1972).

Należy także wspomnieć, że są dwie metody interpretowania powyższego równania: (1) jeśli średnia dobową temperatura powietrza jest niższa od temperatury odniesienia (10°C), wtedy ustala się ją na poziomie temperatury odniesienia, (2) jeśli T_X lub T_N są poniżej temperatury odniesienia wtedy wynik równania także jest sprowadzany do temperatury odniesienia (McMASTER i WILHELM, 1997). Różnica pojawia się najczęściej w sytuacji, kiedy T_N jest mniejsze od temperatury odniesienia, z tego powodu pierwsza modyfikacja prowadzi do uzyskiwania mniejszych wielkości GDD niż druga. Poza tym niezależnie od zastosowanej metody, która zmienia się w zależności od rodzaju uprawy, uzyskiwane wielkości GDD zmieniają się w dość szerokim zakresie. Procentowe różnice są zależne od skrajnych temperatur dobowych (T_{max} i T_{min}). Porównania wykonane przez McMastera i Wilhelma (1997) dla pszenicy (*Triticum aestivum* L.) z użyciem temperatury bazowej 0°C wykazały różnice na poziomie do 83 %. W przypadku kukurydzy (*Zea mays* L.), dla której temperaturę bazową przyjęto na poziomie 10°C , były one jeszcze wyższe. Wiedza na temat różnic w stosowanych metodach jest ważna, aby uniknąć błędów w uzyskaniu prawidłowej relacji ilościowej pomiędzy wielkością wskaźnika określającego zakumulowany strumień ciepła oraz czasem wzrostu charakterystycznym dla danego rodzaju upraw.

SAT	Odmiany	jednostki
2000 – 2200	bardzo wczesnie dojrzewające	$^{\circ}\text{C}$
2200 – 2500	wczesnie dojrzewające	$^{\circ}\text{C}$
2500 – 2700	umiarkowanie wczesnie dojrzewające	$^{\circ}\text{C}$
2700 – 2900	późno dojrzewające	$^{\circ}\text{C}$
> 2900	bardzo późno dojrzewające	$^{\circ}\text{C}$

Tabela 6

Średnia suma temperatur aktywnych (SAT) oraz zalecane odmiany uprawy winorośli o różnym czasie dojrzewania (MYŚLIWIEC, 2003)

Tabela 7

Warunki dostępności wody dla roślinności w zależności od wartości współczynnika Selianinowa

Zakres HTC	opis
0.4 do 0.7	bardzo sucho
0.7 do 1.0	sucho
1.0 do 1.3	dość sucho
powyżej 1.3	wilgotno

Sezon wegetacyjny, wyznaczony za pomocą prostego wskaźnika termicznego (od IV do X na półkuli północnej) może być użyteczny do wskazania dolnego i górnego limitu w określeniu skuteczności upraw w skali globalnej (JONES, 2006). Jednym z przykładów jest charakterystyka przeprowadzona dla kukurydzy oraz upraw winorośli. Winorośla są dość wrażliwe i bardzo wymagające jeśli chodzi o warunki klimatyczne. Niezbędne jest utrzymywanie się temperatury powietrza powyżej określonego progu termicznego oraz odpowiedni reżim opadowy (BECKER, 1985). Duże znaczenie ma także zmienność warunków klimatologicznych z roku na rok, która determinuje jakość oraz skalę produkcji wina. Cieplesze lata umożliwiają produkcję wina z większą zawartością cukru, natomiast chłodniejsze, bardziej kwaśnego (JONES i in., 2004). W latach z nadwyżką opadów winogrona są bardziej soczyste i gwarantują większe zbiory, natomiast są mniej dorodne i kwaśne w latach skrajnie suchych. Winogrona mogą dojrzewać na obszarze, gdzie średnia temperatura powietrza w sezonie wegetacyjnym mieści się w przedziale od 13 do 24°C (GLADSTONES, 1992; JONES, 2006).

Ważna dla celów gospodarki rolnej jest ocena znaczenia okresów suchych. Można to uczynić np. przy pomocy względnego (bezwymiarowego) wskaźnika znanego jako wskaźnik Selianinowa (SELIANINOW, 1937), który jest oparty o temperaturę powietrza i opady atmosferyczne podczas okresu wegetacyjnego:

$$HTC = R / 0.1 \sum T_d,$$

gdzie:

R to suma opadu atmosferycznego [mm] dla okresu o średniej temperaturze wyższej niż 5 °C a $\sum T_d$ oznacza sumę średnich dobowych wartości temperatury powietrza, która po podzieleniu przez 10, daje liczbę dobrze charakteryzującą parowanie. Stąd HTC wskazuje na różne warunki dostępu wody w odniesieniu do zapotrzebowania roślin w zakresie od bardzo suchych do wilgotnych (Tabela 7).

Według Żmudzkiej (2004) wartości HTC niższe od 0,5 oznaczają suszę. Zmiany wskaźnika HTC w ujęciu

czasowym i przestrzennym, zostały przedstawione przez najniższą dobową wartość HTC w danej stacji w danym sezonie wegetacyjnym. Wyliczona została dla każdego dnia pomiędzy 1 czerwca a 31 października, przy użyciu termicznych i opadowych danych dobowych, poczynając od 1 maja, którą to datę uznano arbitralnie za początek (dla większości stacji na obszarze projektu) okresu, gdy średnia dobowa temperatura pozostaje powyżej limitu 5 °C. Takie podejście pozwala stwierdzić, czy w danej stacji i w danym okresie wegetacyjnym, wystąpił chociaż jeden dzień bardzo suchy, suchy lub dość suchy. Po przeprowadzeniu modelowania przestrzennego dokładnie taka sama informacja jest dostępna dla dowolnego miejsca w całym obszarze projektu. Procedura modelowania została oparta o dane z 21 stacji i powtórzono ją dla każdego roku w okresie 1971–2010.

Wskaźniki bioklimatyczne

Warunki bioklimatyczne należą do najważniejszych czynników oddziałujących na różne aspekty życia człowieka. W największym stopniu wpływają one na zdrowie i samopoczucie człowieka, a także na turystykę.

Wpływ warunków pogodowych na organizm człowieka przedstawiany jest przy wykorzystaniu różnych biometeorologicznych wskaźników, które są obliczane w oparciu o określone reakcje organizmu na poszczególne typy pogody. Wskaźniki obliczane są m.in. przy pomocy modeli wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem, które uwzględniają różne elementy meteorologiczne, jak: temperaturę powietrza, prędkość wiatru, wilgotność i promieniowanie słoneczne. Przykładami takich wskaźników mogą być temperatura odczuwalna (STI) czy temperatura fizjologiczno-ekwiwalentna (PET). Jednym z najnowszych narzędzi używanych w bioklimatologii są obecnie modele wielowęzłowe, które pozwalają na bardziej szczegółowe uwzględnienie reakcji organizmu. Do najważniejszych wskaźników obliczanych przy pomocy takich modeli należy nowoczesny wskaźnik UTCI (BŁAŻEJCZYK i in., 2010).

Wskaźniki biotermiczne

Wskaźniki biometeorologiczne zostały obliczone przy pomocy dwóch modeli wymiany ciepła: modelu Rayman (MATZARAKIS i RUTZ, 2005) oraz modelu MENEX (BŁAŻEJCZYK, 2006). Model RayMan związany jest z obliczeniami bilansu promieniowania słonecznego oraz wpływu zachmurzenia i przeszkód terenowych na bilans promieniowa-



UTCI [°C]	Natężenie Stresu	STI [°C]	Natężenie Stresu	PET [°C]	Natężenie Stresu
< -40	nieznośny stres zimna	< -38	mroźnie	< 4	bardzo zimno
-40 – -27	bardzo silny stres zimna	-38 – -20	bardzo zimno	4 – 8	zimno
-27 – -13	silny stres zimna	-20 – -0.5	zimno	8 – 13	chłodno
-13 – 0	umiarkowany stres zimna	-0.5 – 22.5	chłodno	13 – 18	umiarkowanie chłodno
0 – 9	łagodny stres zimna	22.5 – 32	komfortowo	18 – 23	komfortowo
9 – 26	brak obciążeń cieplnych	32 – 46	ciepło	23 – 29	umiarkowanie ciepło
26 – 32	umiarkowany stres ciepła	46 – 55	gorąco	29 – 35	ciepło
32 – 38	silny stres ciepła	55 – 70	bardzo gorąco	35 – 41	gorąco
38 – 46	bardzo silny stres ciepła	> 70 °C	upalnie	> 41	bardzo gorąco
> 46	nieznośny stres ciepła				

Tabela 8

Skala obciążeń cieplnych wg UTCI (z lewej); skala odczuć cieplnych wg STI (na środku) i PET (z prawej)

nia krótkofalowego. Produktem końcowym jest wskaźnik średniej temperatury radiacyjnej (Mrt), który jest niezbędny dla obliczeń bilansu cieplnego ciała człowieka. W przypadku modelu MENEX, umożliwia on określenie wartości bilansu cieplnego człowieka podczas różnych sytuacji pogodowych i może być wykorzystany zarówno do określania warunków termofizjologicznych jak i oceny pogodowego potencjału rekreacyjnego. Dla potrzeb niniejszego opracowania wartości wskaźników PET i UTCI zostały obliczone za pomocą modelu RayMan, zaś wskaźniki STI i WSI przy wykorzystaniu modelu MENEX. Skale odczuć/obciążeń cieplnych wskaźników UTCI, STI i PET zostały zaprezentowane w Tabeli 8.

Wskaźnik UTCI jest definiowany jako temperatura powietrza, przy której w warunkach referencyjnych podstawowe parametry fizjologiczne organizmu przyjmują takie same wartości jak w warunkach rzeczywistych. Jest to zatem temperatura powietrza, przy której parametry fizjologiczne przyjmą takie same wartości jak w warunkach rzeczywistych (BŁAŻEJCZYK i in., 2010). Wartości wskaźnika UTCI klasyfikowane są według dziesięciu klas obciążeń cieplnych organizmu, od „nieznośnego stresu zimna” do „nieznośnego stresu ciepła”.

Wskaźnik temperatury odczuwalnej (STI) określa natężenie bodźców termicznych otoczenia przed rozpoczęciem procesu adaptacji (BŁAŻEJCZYK 2004). Obliczany jest on na podstawie następującego równania:

$$STI = \{Mrt - [ImSI^{0.75} / (5.386 \times 10^{-8}) + 273^4]^{0.25}\} - 273$$

jeżeli $mS < 0 \text{ W/m}^2$

$$STI = \{Mrt + [ImSI^{0.75} / (5.386 \times 10^{-8}) + 273^4]^{0.25}\} - 273$$

jeżeli $mS \geq 0 \text{ W/m}^2$

gdzie:

mS – wartość bilansu cieplnego ciała człowieka

Mrt – średnia temperatura radiacyjna

Temperatura fizjologiczno-ekwiwalentna (PET) jest definiowana jako temperatura powietrza, przy której, w typowym pomieszczeniu (bez wiatru i promieniowania słonecznego), bilans cieplny ludzkiego ciała jest zrównoważony tą samą temperaturą ciała i skóry co w złożonych warunkach zewnętrznych, które podlegają ocenie. Wskaźnik ten został skonstruowany przez P. HÖPPE (1999) w oparciu o model MEMI, przy pomocy którego modelować można warunki termiczne organizmu człowieka z uwzględnieniem odpowiednich reakcji fizjologicznych.

Wskaźniki turystyczne

Do najważniejszych wskaźników klimatyczno-turystycznych należy wskaźnik przydatności warunków pogodowych dla turystyki i rekreacji (WSI). Na podstawie wartości wskaźnika określona została użyteczność warunków pogodowych dla kąpieli słonecznych, kąpieli powietrznych, łagodnych i intensywnych form rekreacji ruchowej oraz dla sportów zimowych (BŁAŻEJCZYK, 2004). W obliczeniach wskaźnika WSI uwzględniane są zarówno dane dobowe (RR, SN, wysokość słońca nad horyzontem) jak i dane z 12UTC (TT, RF lub DD, FF, NN). W zależności od wartości WSI, użyteczność warunków pogodowych dla każdej z wymienionych form turystyki i rekreacji różnicuje się od warunków „niekorzystnych” (dla $WSI < 0.5$) do warunków „umiarkowanie korzystnych” ($0.5 \leq WSI < 1.2$), „korzystnych” ($1.2 \leq WSI < 2.0$) i „bardzo korzystnych” (dla $WSI > 2.0$). W oparciu o wskaźnik WSI skonstruowano kalendarze warunków pogodowych dla wybranych form klimatoterapii, turystyki i rekreacji.

Informacje dotyczące warunków pogodowych w odniesieniu do turystyki zostały również uwzględnione w diagramie CTIS (MATZARAKIS, 2007). Przy jego pomocy zaprezentowana została informacja o użyteczności pogody dla turystyki w poszczególnych dekadach, z uwzględnieniem warunków biotermicznych oraz NN, RF, FF, RR i SN. CTIS dostarcza ważnych informacji związanych z warunkami termicznymi regionu na potrzeby turystyki (DE FREITAS, 2003; MATZARKIS, 2006).

Dla poszczególnych miesięcy obliczono również wartości wskaźnika klimatyczno-turystycznego (MIECZKOWSKI 1985). Wskaźnik ten przedstawia użyteczność warunków pogodowych dla turystyki na podstawie średnich miesięcznych wartości TT, RF, FF, RR i SD. Obliczany jest z wykorzystaniem kilku wskaźników cząstkowych, przy pomocy następującego równania:

$$TCI = 2 (4 Cld + Cla + 2 R + 2 SD + Wv)$$

gdzie:

Cld – wskaźnik komfortu cieplnego w ciągu dnia

Cla – wskaźnik komfortu cieplnego dla doby

R – wskaźnik opadu atmosferycznego

SD – wskaźnik usłonecznienia

Wv – wskaźnik prędkości wiatru

Ocena jakości danych klimatologicznych

Analizy klimatologiczne oraz modelowanie i analizowanie projekcji klimatu wymagają kompletnych i sprawdzonych serii czasowych. Niehomogeniczne lub błędne dane mogą prowadzić do błędnej interpretacji i wniosków. Istniejące dane surowe z różnych stacji monitoringowych mogą cechować się występowaniem luk pomiarowych, niespójnością danych lub mogą być obarczone błędami. W tym celu zostały przeprowadzone testy kontroli jakości (sprawdzono wiarygodność i poprawność), w miarę możliwości uzupełniono brakujące dane, jak również sprawdzono homogeniczność danych. Metodyka ta została krótko opisana poniżej. Dostępność danych surowych przedstawia Ryc. 6, a więcej szczegółowych informacji znajduje się w raporcie BERNHOFER i FRANKE (2013).

Korekta i uzupełnienie danych

W ramach tych działań m.in. sprawdzone zostały, uwarunkowane właściwościami fizycznymi, wartości graniczne zakresu elementów klimatu (np. opad ≥ 0). W przypadku przekroczenia tego

zakresu, wartości te były odrzucane i traktowane jako luki pomiarowe. Ponadto, porównano ze sobą wartości temperatury powietrza (TX, TN, TM), tak aby np. TN była zawsze niższa od TM.

Brakujące dane w seriach czasowych były uzupełniane w przypadku, gdy w okresie 1971–2010 było dostępnych przynajmniej 2/3 wszystkich danych. Uzupełnianie danych było wykonywane przy wykorzystaniu następujących metod:

1. Uzupełnianie zmiennych podstawowych (DD, RF, SD, PP⁴) i zmiennych drugorzędnych (RK, GS, ET, GR⁵) według danych z tej samej stacji,
2. Uzupełnianie podstawowych zmiennych według danych ze stacji sąsiednich (TX, TM, TN, RR, RF, SD, FF⁶).

Na podstawie średniej dobowej temperatury (TM), wykorzystując równanie Magnusa (SCHÖNWIESE, 2003) możliwe było obliczenie wartości prężności pary wodnej (DD). Stosując bardziej kompleksowe podejście, promieniowanie całkowite mogło zostać policzone na podstawie zachmurzenia. Zależność między usłonecznieniem a promieniowaniem całkowitym przedstawia równanie Ångströma (ÅNGSTRÖM, 1924). Następnie, w celu oceny algorytmu uzupełniania danych, porównano wartości obliczone i zmierzone. Widoczna jest tendencja niedoszacowania uzupełnianych wartości usłonecznienia w porównaniu do wartości mierzonych.

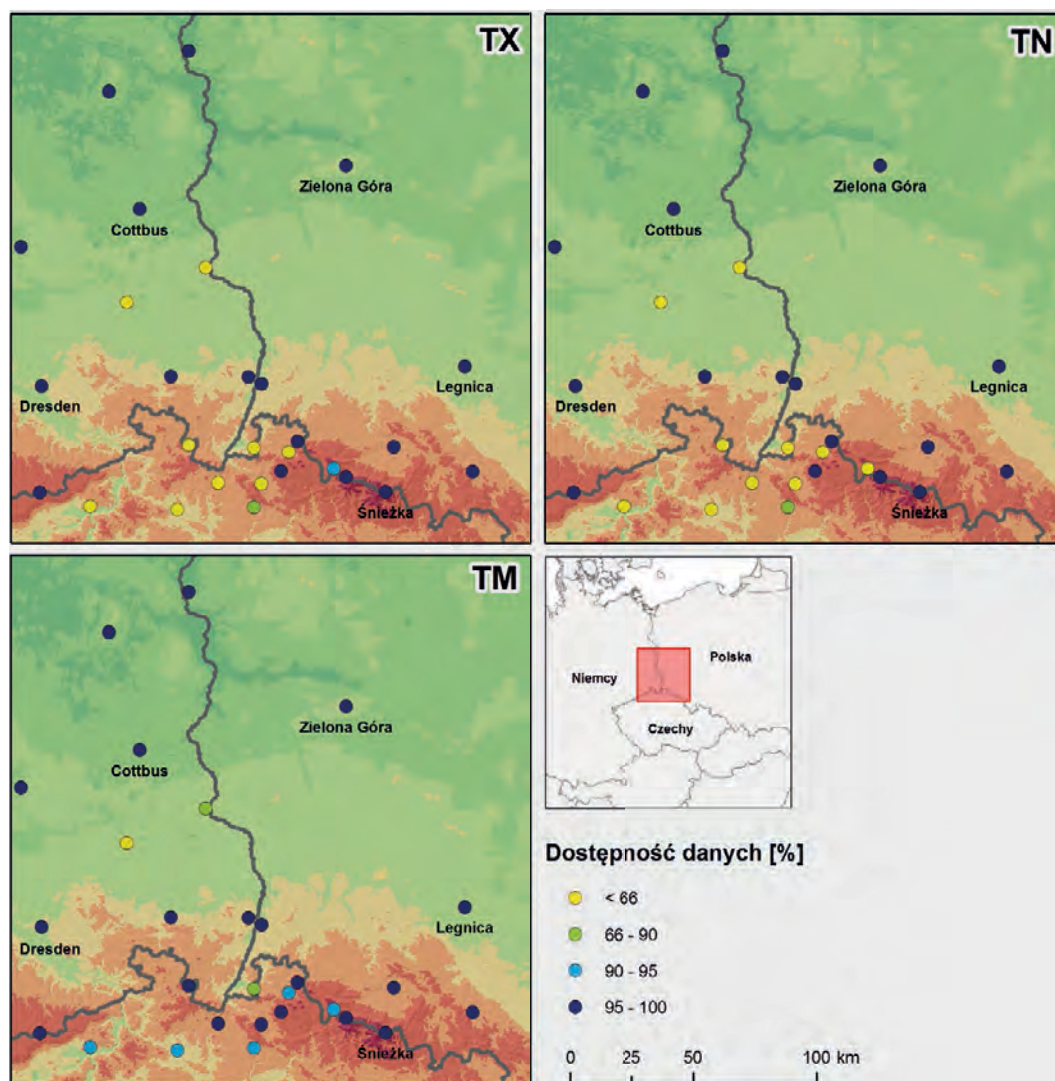
W przypadku gdy luki pomiarowe nie mogły zostać uzupełnione na podstawie danych z tej samej stacji, uwzględniano dane ze stacji sąsiednich. Dla takich elementów jak: RR, TN, SD, NN, RF i DD uwzględniano dane z 3 najbliższych stacji, które dysponowały odpowiednimi danymi. Obliczenia wykonywano z dobowym krokiem czasowym. Brakujące dane były uzupełniane z wykorzystaniem metody ważonych odwrotnych odległości (IDW).

W przypadku takich elementów jak: TM, TX i FF określano zależność między wartościami tych elementów i wysokością bezwzględną stacji. Zależność regresyjna została zastosowana do obliczeń elementów klimatu dla danej stacji oraz trzech stacji sąsiednich. Odchylenia między obserwowanymi i wyznaczonymi wartościami dla sąsiadujących stacji

4 DD – prężność pary wodnej, RF – wilgotność względna powietrza, SD – usłonecznienie

5 GS – promieniowanie słoneczne, ET – ewapotranspiracja, GR – ewapotranspiracja (wg met. FAO)

6 TX – temperatura maksymalna powietrza, TN – temperatura minimalna powietrza, TM – średnia dobową temperaturę powietrza, RR – opad atmosferyczny, FF – średnia prędkość wiatru



Ryc. 6

Rozmieszczenie stacji meteorologicznych, na których dokonywane są pomiary temperatury powietrza (TX, TN, TM) wraz z informacją na temat dostępności danych z okresu 1971–2010

były interpolowane metodą IDW oraz dodatkowo dodawane do danych ze stacji z niekompletnymi seriami.

Pomiary opadów atmosferycznych są obarczone błędem wynikającym zwłaszcza z oddziaływania wiatru. Dlatego też błędy te skorygowane zostały przy wykorzystaniu poprawki Richtera (1995). W przypadku badań dotyczących bilansu wodnego zalecane jest stosowanie wartości opadów skorygowanych. Promieniowanie całkowite z pomiarów usłonecznienia uzyskano na podstawie półempirycznej formuły Ångströma (1924).

Obliczenia ewapotranspiracji potencjalnej zostały przeprowadzone w oparciu o metodę Turca-Wendlinga (DVWK, 1996). Z uwagi na małą liczbę elementów meteorologicznych stanowiących dane

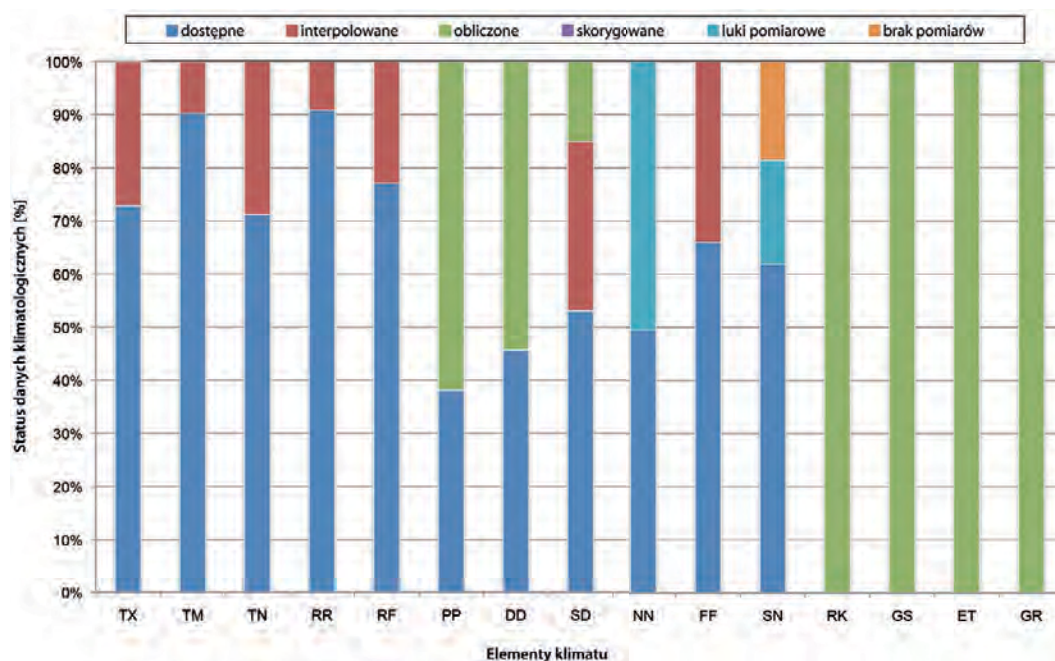
wejściowe (GS, TM (lub TX i TN)) uzyskane dane dotyczące ewapotranspiracji potencjalnej cechują się dość dużym zakresem dostępności. Większa liczba elementów (TM, RF, FF, GS) wymagana jest dla obliczeń ewapotranspiracji potencjalnej licznej według metody FAO.

Na Ryc. 7 przedstawiono zakres początkowej bazy danych, wartości obliczonych, luk pomiarowych, uzupełnionych luk pomiarowych oraz elementów odznaczających się długimi ciągami braku danych. Brakujące wartości zachmurzenia i pokrywy śnieżnej nie były uzupełniane z uwagi na fakt, że w tym przypadku powinny zostać wykorzystane algorytmy o większym stopniu złożoności.

Dane meteorologiczne zostały ostatecznie sprawdzone z punktu widzenia ich wiarygodności przy

Ryc. 7

Struktura danych meteorologicznych w obszarze badań projektu



wykorzystaniu kilku metod. Porównane zostały charakterystyki statystyczne danych oryginalnych i uzupełnionych. Na podstawie tych analiz można stwierdzić, że dane dotyczące prędkości wiatru oraz temperatury powietrza ze stacji na Szrenicy nie mogą być traktowane jako wiarygodne. Ich wartości od października 2002 r. cechuje intensywna zmienność, dlatego też stacja ta nie została uwzględniona w niniejszym opracowaniu. Oprócz tego, stwierdzona została również niewiarygodność obliczonych wartości promieniowania słonecznego (na podstawie zachmurzenia) dla stacji Kubschütz-Batzen, Słubice, Zgorzelec i Szczawno – Zdrój.

Testowanie homogeniczności

W końcowym etapie, serie czasowe temperatury i opadów poddano testowi na homogeniczność. W tym przypadku można było zidentyfikować niehomogeniczność serii, spowodowaną np. zmianami przyrządów pomiarowych, przeniesieniem stacji. Procedura testowania została podzielona na analizy wstępne (analiza wartości błędnych i kontrola wartości odstających), testowanie stacjonarności i względnych testów jednorodności w formie cyfrowej i graficznej. Zastosowane testy homogeniczności są testami bazującymi na porównaniu między seriami testowanymi a homogeniczną serią referencyjną. Ocena homogeniczności testowanej serii bazuje na subiektywnej ocenie wszystkich testów dla wybranej serii czasowej. Największa waga nadana jest testowi Alexanderssona (ALEXANDERSSON, 1986).

W wyniku zastosowanych testów na badanie homogeniczności można stwierdzić, że zasadniczo serie czasowe temperatury i opadów są homogeniczne. W ten sposób dostępne są kompletne i homogeniczne serie danych.

Analiza trendu

Do analizy długookresowych (okres minimum 30 lat) zmian temperatury powietrza i jej pochodnych zastosowano w projekcie analizę trendów. Kluczowym warunkiem wstępnym do wykonania takiej analizy jest homogeniczna i zweryfikowana seria pomiarowa. Sposób przygotowania danych pomiarowych został opisany w poprzednim rozdziale. W niniejszym opracowaniu przeprowadzono analizę, przy założeniu, że trend ma charakter liniowy, co oznacza, że wyniki nie powinny być ekstrapolowane w przyszłość. Linia trendu dla danego wskaźnika klimatologicznego y jest określona jako funkcja czasu t , zgodnie z równaniem:

$$y(t) = a + b * t$$

Nachylenie b linii trendu jest obliczone zgodnie z równaniem:

$$b = \frac{\frac{1}{j} * \sum_{i=1}^j (t_i - \bar{t}) * (y_i - \bar{y})}{\frac{1}{j} * \sum_{i=1}^j (t_i - \bar{t})^2}$$

gdzie $i=1, \dots, j$ są kolejnymi latami analizowanego okresu, y_i jest wielkością wskaźnika w roku i , t_i jest



Q	SIG [%]	α	istotność trendu
≤ 1.645	≤ 90	≥ 0.1	nieistotny
> 1.645	> 90	< 0.1	istotny
> 1.960	> 95	< 0.05	bardzo istotny
> 2.576	> 99	< 0.01	wysoce istotny

Tabela 9
Klasy istotności
statystycznej
(SCHÖNWIESE, 2000)

rokiem dla wskaźnika y^i , a y oraz t są wielkościami średnimi dla całego analizowanego okresu. Punkt przecięcia linii trendu z osią rzędną a jest wyznaczany wg wzoru:

$$a = \bar{y} - \bar{b} \cdot \bar{t}$$

Trend absolutny T_{abs} dla wskaźnika klimatu y jest określony przez liniową zależność, jako różnica między wielkością wskaźnika na początku okresu y_1 i jego końcu y_l :

$$T_{abs} = y_l - y_1$$

Trend względny [%] określony jest poprzez normalizację trendu absolutnego z zastosowaniem średniej wielkości danego wskaźnika klimatu w analizowanym okresie:

$$T_{rel} = \frac{T_{abs}}{\bar{y}}$$

Wyznaczone wielkości trendu są zależne od przyjętego okresu analizy i z tego względu istnieje pewna losowość w określaniu długookresowej tendencji danego wskaźnika klimatu. W szczególności lata z ekstremalnymi wielkościami wskaźnika na końcu i na początku analizowanej serii pomiarowej mogą w sposób istotny wpłynąć na wynik analizy trendu. Z tego względu analiza trendu musi być uzupełniona o informację o jej statystycznej istotności. Analiza statystycznej istotności trendu została przeprowadzona z zastosowaniem statystyk zaproponowanych przez MANNA (1945) oraz KENDALLA (1970):

$$Q = \frac{\sum_{m=1}^{l-1} \sum_{n=m+1}^l \text{sgn}(y_n - y_m)}{\sqrt{\frac{1}{18} [l \cdot (l-1) + (2+l+5) - \sum_i b_i \cdot (b_i-1) + (2+b_i+5)]}}$$

Określenie istotności statystycznej trendu zostało zaproponowane przez SCHÖNWIESE (2000), z uwzględnieniem statystyk Q , poziomu istotności SIG oraz statystyki α (Tabela 9). W niniejszym opracowaniu za trend istotny statystycznie uznano ten, dla którego poziom istotności SIG $> 90\%$.

Analizy przestrzenne

Wskaźniki agroklimatologiczne i klimatologiczne zostały policzone indywidualnie dla każdej stacji pomiarowej i dla każdego roku. Tak przygotowana informacja stanowiła podstawę do wykonania przestrzennej interpolacji wskaźników klimatu. Wskaźniki zostały poddane interpolacji przestrzennej z wykorzystaniem metody regresji ważonej geograficznie z rozszerzeniem o kriging reszt (Geographically Weighted Regression Residual Kriging, GWRK; SZYMANOWSKI i KRYZA 2012, 2013). Wcześniejsze prace wykazały, że daje ona lepsze wyniki w zastosowaniach klimatologicznych niż inne algorytmy interpolacyjne, jak np. regresja wieloczynnikowa czy kriging (SZYMANOWSKI i in. 2012, SZYMANOWSKI i KRYZA 2013). Procedura interpolacji metodą GWRK realizowana jest w dwóch etapach. W pierwszym, zostaje zbudowany model regresji ważonej geograficznie (GWR), opisujący relacje między modelowaną cechą klimatu a predyktorami przestrzennymi – zmiennymi objaśniającymi (niezależnymi) model regresji. Z powodu ograniczonej liczby stacji meteorologicznych oraz relatywnie małego obszaru badań, tylko wysokość n.p.m. została wykorzystana jako predyktor przestrzenny. Przeprowadzone testy innych zmiennych objaśniających, m.in. współrzędnych oraz indeksu fenowego wykazały brak istotnych statystycznie związków z analizowanymi wskaźnikami klimatu. Estymacja wielkości elementu klimatu za pomocą metody GWRK w miejscu s_0 realizowana jest za pomocą równania:

$$\hat{z}(s_0) = \sum_{k=0}^r \beta_k(s_0) q_k(s_0) + \sum_{i=1}^n \lambda_i e(s_i)$$

gdzie $bk(s_0)$ są współczynnikami modelu w miejscu s_0 , $q_k(s_0)$ są wielkościami zmiennych objaśniających w miejscu s_0 , λ_i są wagami krigingowymi określonymi na podstawie struktury przestrzennej reszt regresji a $e(s_i)$ jest resztą regresji w miejscu s_i .

Model GWR może być rozumiany jako zestaw lokalnie, w ruchomym oknie specyfikowanych modeli

regresji, różniący się od innych lokalnych modeli regresji dodatkowym schematem ważenia, opisanym zależną od odległości funkcją typu gaussowskiego (tzw. kernel). Może być on interpretowany jako implementacja tzw. pierwszego prawa geografii, mówiącego, że obiekty położone w niewielkiej odległości od siebie są do siebie bardziej podobne, niż te odległe (TOBLER, 1970). W kolejnym kroku interpolacji, reszty modelu regresji są poddawane przestrzennej interpolacji z zastosowaniem krigingu zwykłego, a wynik zostaje dodany do wyniku przestrzennej predykcji modelu GWR. Cała procedura została zrealizowana w oparciu o pakiet statystyczny R oraz system GIS GRASS, z zastosowaniem bibliotek spgwr oraz gstat. Wszystkie wskaźniki zostały wyinterpolowane do regularnej siatki kwadratów (grid) o boku 1 km x 1 km. Dla każdego wskaźnika agroklimatologicznego, zostało opracowanych 40 map, indywidualnie dla każdego roku z okresu 1971–2010.

Dla każdego wskaźnika agroklimatologicznego, po wykonaniu interpolacji przestrzennej, zgodnie z opisaną powyżej procedurą, uzyskano ciągłą przestrzennie warstwę, przedstawiającą wielkość danego wskaźnika dla całego obszaru projektu KLAPS (45365 gridów). Taką informację przygotowano dla każdego roku analizowanego okresu. Dla każdego grida dysponowano więc serią czasową danego wskaźnika klimatu.

Tak uzyskana seria czasowa:

1. jest ulokowana przestrzennie i przypisana do danego oczka siatki;
2. może być traktowana jako zwykła seria danych klimatologicznych, podobnie jak seria danych ze stacji pomiarowej (również zlokalizowana przestrzennie, ale nie przestrzennie ciągła);
3. może być wykorzystana do uzyskania dalszych informacji, m.in. do określenia trendu czasowego, dokładnie w taki sam sposób jak jest to realizowane w oparciu o dane ze stacji pomiarowych.

Ostatecznie, dla każdego oczka siatki (grida) obliczono wielkość trendu absolutnego i wykonano jego analizę istotności statystycznej, zgodnie z metodą przedstawioną w rozdziale powyżej.

3

Wyniki



Temperatura powietrza

Zmienność przestrzenna

W Tabeli 10 zostały przedstawione ogólne charakterystyki termiczne obszaru badań. Najcieplejszym miesiącem jest lipiec, podczas gdy najniższe wartości temperatury powietrza notowane są w styczniu. Amplituda rocznej temperatury powietrza, będąca roczną między wartościami obserwowanymi w tych dwóch miesiącach, wynosi od 14.5°C do 19.2°C.

Zróznicowanie przestrzenne temperatury powietrza w regionie jest spowodowane głównie orografią (Ryc. 8). Średni gradient termiczny wynosi -0.6K/100 m. Z tego względu analizy klimatu zostały

przeprowadzone dla czterech różnych przedziałów wysokościowych, zdefiniowanych na potrzeby tego opracowania (Tabela 11).

Najniższa temperatura powietrza obliczona dla okresu referencyjnego 1971–2000 jest obserwowana na Śnieżce (1603 m n.p.m.) i wynosi 0.7°C. Najwyższe wartości, osiągające 9.0°C, notowane są na Nizinach Śląskiej i Łużyckiej. Średnia temperatura powietrza dla całego regionu badań wynosi 7.5°C.

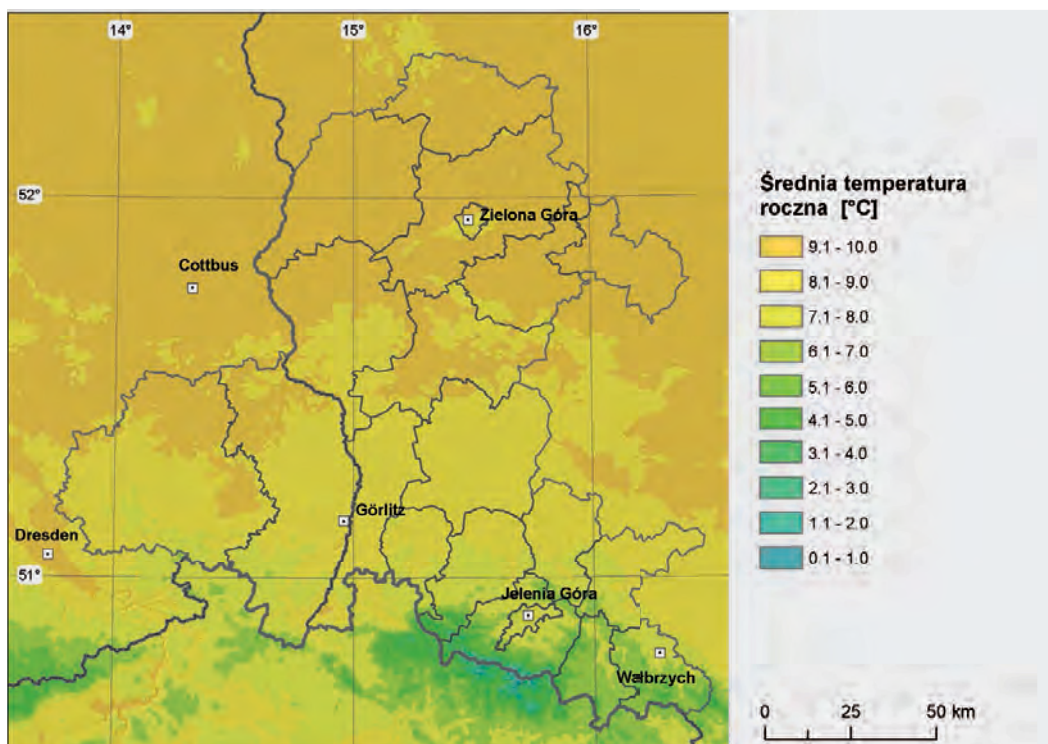
Zróznicowanie przestrzenne temperatury powietrza dla roku odznacza się dużym podobieństwem w porównaniu do rozkładu dla poszczególnych pór roku, przy znacznej odmienności wartości obser-

Tabela 10
Wartości średniej
miesięcznej i rocznej
temperatury powietrza
[°C] w latach 1971–2000

Stacja	Sty	Lut	Mar	Kwi	Maj	Cze	Lip	Sie	Wrz	Paz	Lis	Gru	Rok
Bedrichov	-3.9	-3.3	-0.2	3.6	9.5	12.2	14.1	13.9	9.9	5.7	0.3	-2.6	5.0
Ceska-Lipa	-1.3	-0.2	3.7	7.9	13.4	16.2	17.9	17.4	12.9	8.1	3.1	0.3	8.3
Cesky-Dub	-2.2	-1.0	2.7	6.8	12.3	15.2	16.7	16.2	12.0	7.5	2.4	-0.6	7.4
Cottbus	0.2	0.9	4.5	8.4	13.9	16.8	18.7	18.3	14.0	9.3	4.4	1.7	9.3
Doberlug-Kirchhain	0.1	0.7	4.2	7.9	13.2	16.2	18.2	17.8	13.7	9.0	4.1	1.5	8.9
Dresden-Klotzsche	0.2	0.9	4.5	8.2	13.5	16.3	18.4	18.3	14.2	9.5	4.2	1.6	9.2
Görlitz	-0.6	0.2	3.8	7.7	13.0	15.8	17.6	17.6	13.5	9.0	3.6	0.8	8.6
Hejnice	-0.6	0.2	3.5	7.1	12.4	14.9	16.6	16.6	12.8	8.8	3.6	0.8	8.1
Jablonne v Podjestedi	-1.7	-0.7	2.9	7.0	12.4	15.3	16.9	16.3	12.1	7.6	2.7	-0.1	7.6
Jakuszyce	-4.5	-4.0	-1.0	2.6	8.4	11.3	13.0	12.7	8.9	4.9	-1.0	-4.1	4
Jelenia Góra	-1.6	-0.7	2.9	6.6	11.8	14.6	16.3	16.0	12.2	8.0	2.7	-0.2	7.4
Kubschütz	0.0	0.8	4.4	8.1	13.3	16.3	18.1	17.9	13.9	9.4	4.1	1.5	9.0
Legnica	-0.4	0.5	4.2	8.1	13.3	16.2	18.1	17.9	13.9	9.2	3.9	1.2	8.9
Liberec	-1.6	-0.7	2.8	6.7	12.1	14.7	16.5	16.3	12.3	8.1	2.7	-0.2	7.5
Lindenberg	-0.3	0.6	4.1	8.2	13.6	16.3	18.3	18.1	13.9	9.1	3.9	1.1	8.9
Nove Mesto pod Smrkem	-1.1	-0.5	2.8	6.4	11.9	14.5	16.3	16.2	12.4	8.2	3.0	0.3	7.6
Ślubice	-0.1	0.6	4.1	8.0	13.4	16.3	18.2	17.7	13.5	8.9	4.1	1.3	8.9
Śnieżka	-6.1	-6.4	-4.7	-1.5	3.8	6.4	8.3	8.7	5.2	1.7	-3.0	-5.0	0.7
Szczawno Zdrój	-1.4	-0.9	2.5	6.5	11.9	14.7	16.5	16.4	12.4	8.1	2.8	0.0	7.5
Usti nad Labem	-1.4	-0.2	3.7	7.8	13.0	15.8	17.7	17.6	13.3	8.3	2.8	0.1	8.3
Varnsdorf	-1.2	-0.2	3.4	7.2	12.6	15.5	17.2	16.6	12.6	8.2	3.0	0.3	8.0
Zgorzelec	-0.7	0.1	3.7	7.5	12.9	15.7	17.5	17.2	13.2	8.7	3.7	0.9	8.4
Zielona Góra	-0.9	0.1	3.6	7.9	13.4	16.1	18.1	18.0	13.6	8.8	3.4	0.5	8.6
Zinnwald-Georgenf.	-3.8	-3.4	-0.4	3.5	8.9	11.5	13.6	13.7	9.7	5.1	-0.2	-2.7	4.7

Tabela 11
Klasyfikacja pięter
wysokościowych
oraz liczba stacji
meteorologicznych

Przedział wysokościowy	Wysokość [m n.p.m.]	Liczba stacji meteorologicznych
Niziny	< 150	7
Równiny faliste	150–350	8
Pogórza	350–650	7
Góry	>= 650	4



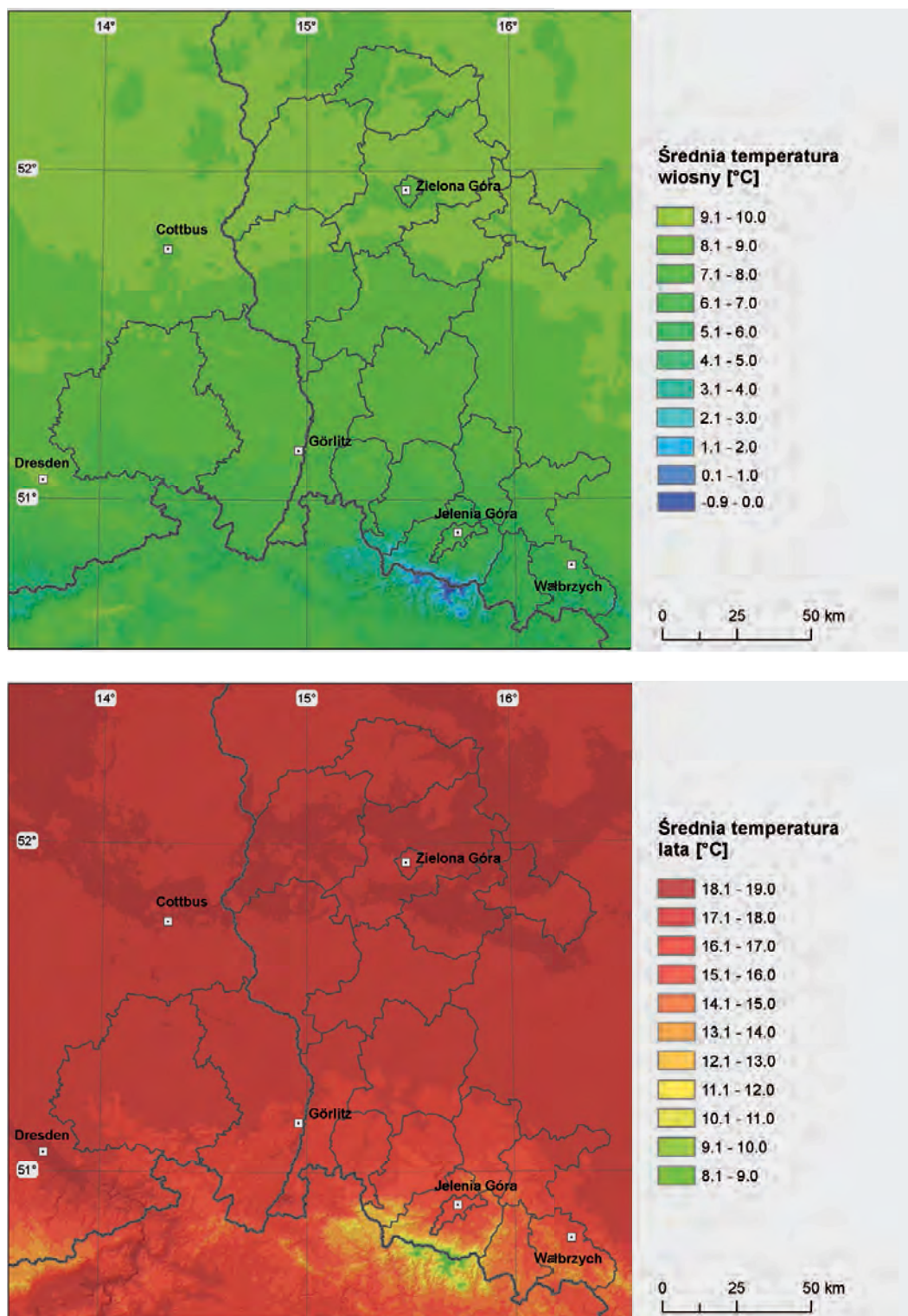
Ryc. 8
Średnia roczna temperatura powietrza [°C] w regionie badań dla lat 1971–2000

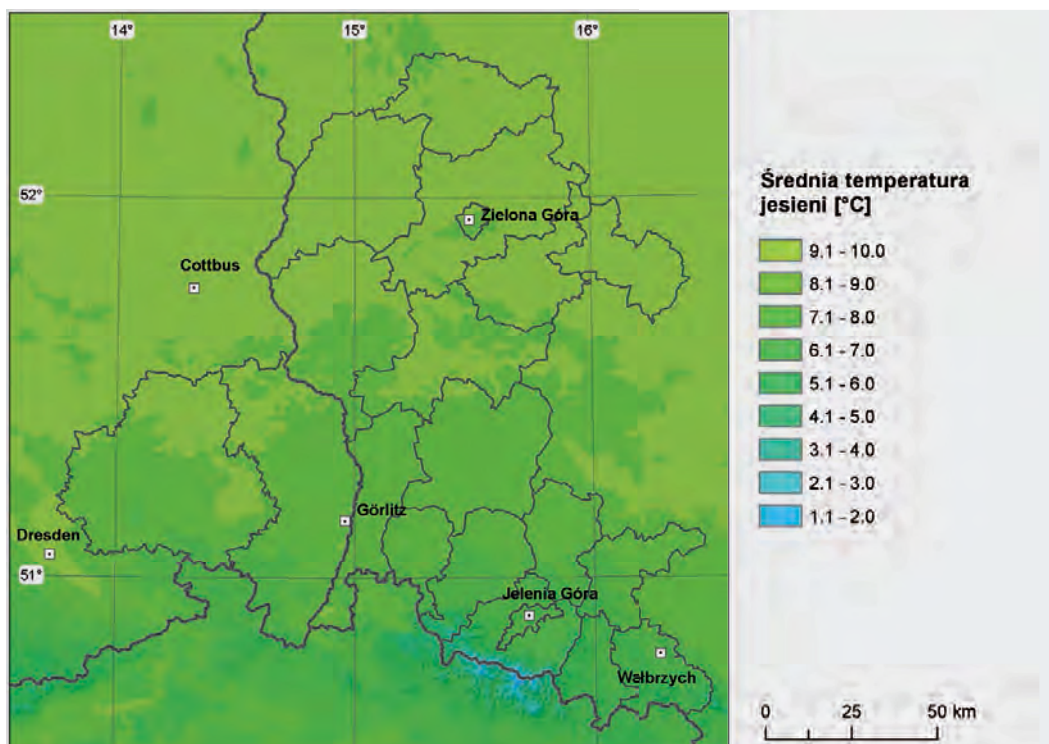
wowanych dla tych okresów. Średnia temperatura powietrza waha się od 2.7°C w górach do 8.6°C na nizinach w okresie wiosny oraz od 4.0°C do 9.0°C jesienią. W lecie wartości te zawierają się w przedziale od 11.7°C do 17.6°C. W okresie zimy dodatnie wartości średniej temperatury powietrza obserwowane są jedynie na nizinach, podczas gdy w górach spadają one do -4.2°C (Ryc. 9 i Ryc. 10).

Wraz z przemieszczaniem się w kierunku wschodnim zauważalny jest nieznaczny wzrost kontynentalizmu klimatu, przejawiający się wzrostem rocznej amplitudy temperatury powietrza, będącej różnicą pomiędzy wartościami najchłodniejszego i najcieplejszego miesiąca. Jest on uwidoczniony na przykładzie stacji Drezno (227 m n.p.m., 18.2°C), położonej w zachodniej części regionu oraz stacji Legnica (122 m n.p.m., 18.5°C), zlokalizowanej na wschodzie. Wzrost kontynentalizmu spowodowany jest głównie chłodniejszym i dłuższym trwającym okresem zimowym. Oddziaływanie czynnika kontynentalizmu w regionie badań jest bardzo małe, dlatego też w analizach skoncentrowano się głównie na gradiencie N-S, wynikającym ze zróżnicowania wysokościowego regionu.

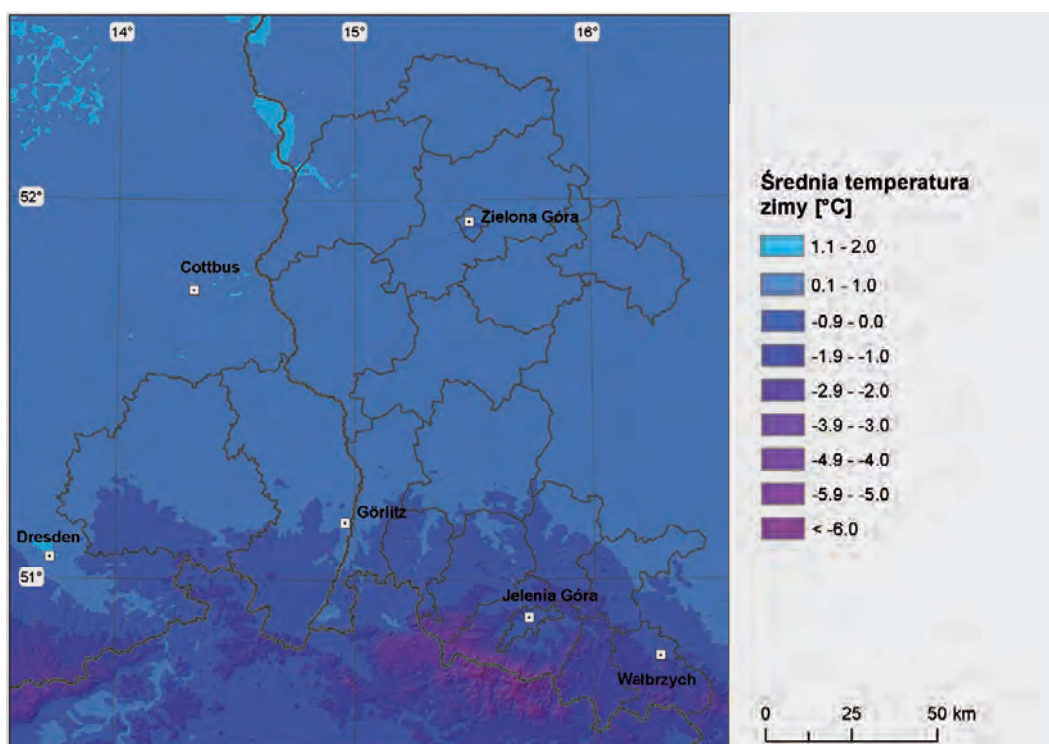
Ryc. 9

Średnia temperatura powietrza [°C] wiosny (górze) oraz lata (dół) w regionie badań dla lat 1971–2000





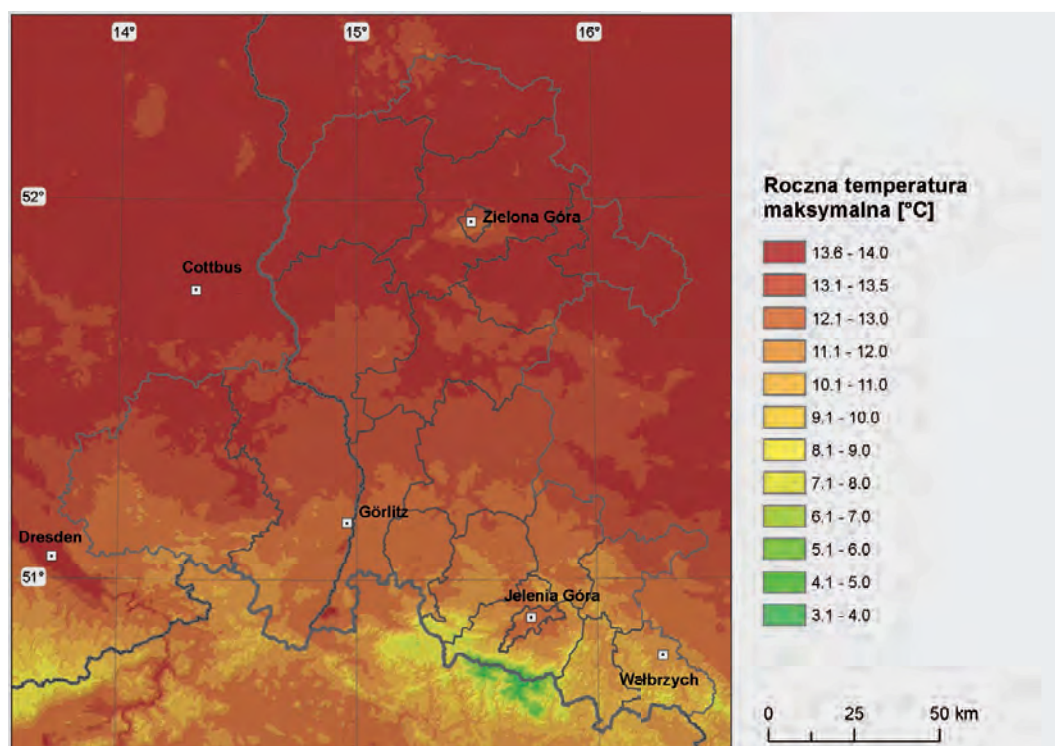
Ryc. 10
Średnia temperatura powietrza [°C] jesieni (góra) oraz lata (dół) w regionie badań dla lat 1971-2000



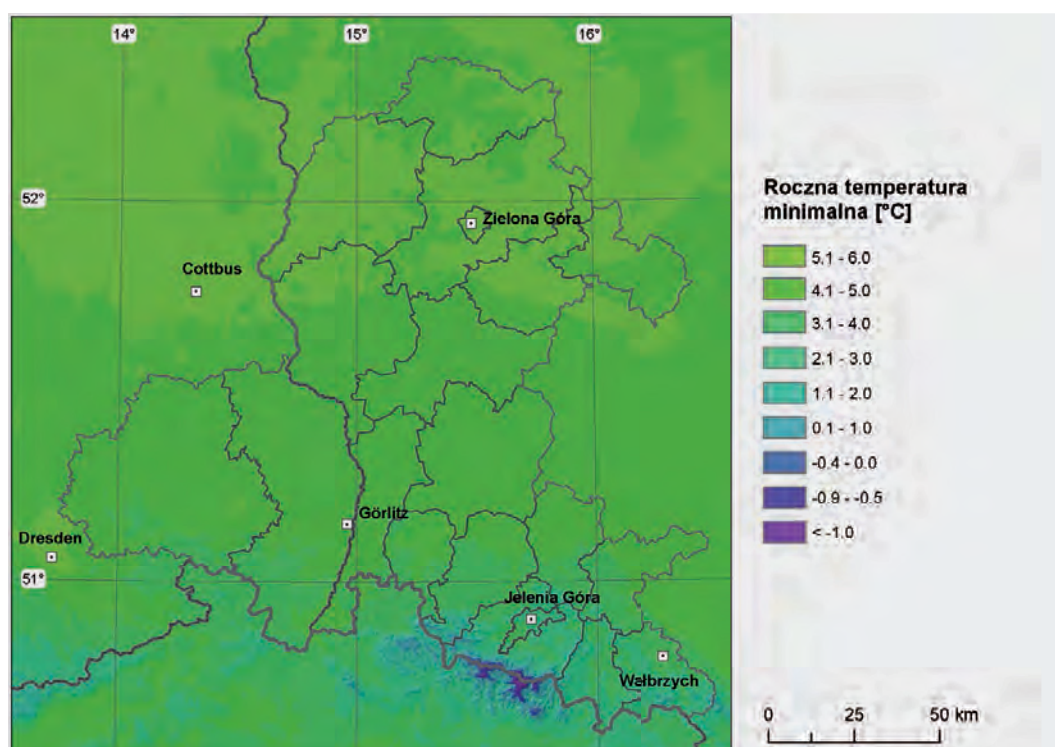
Wartości średniej maksymalnej dobowej temperatury (TX, Ryc. 11) wahają się od 7.1 °C w górach do 13.5 °C na nizinach. Oprócz wysokości, na kształtowanie się wartości temperatury maksymalnej w znacznym stopniu oddziałują również lokalne czynniki środowiskowe jak np. rodzaj podłoża.

W jeszcze większym stopniu od czynników lokalnych uzależnione są wartości TN. Przykładem może być występowanie wklęsłych lub wypukłych form terenu oraz rola szaty roślinnej. Forma terenu może odpowiadać za wzrost lub spadek wartości temperatury minimalnej względem otaczających

Ryc. 11
Średnia roczna
temperatura maksymalna
(TX) regionu badań dla lat
1971–2000 [°C]



Ryc. 12
Średnia roczna
temperatura minimalna
(TN) w regionie badań dla
lat 1971–2000 [°C]





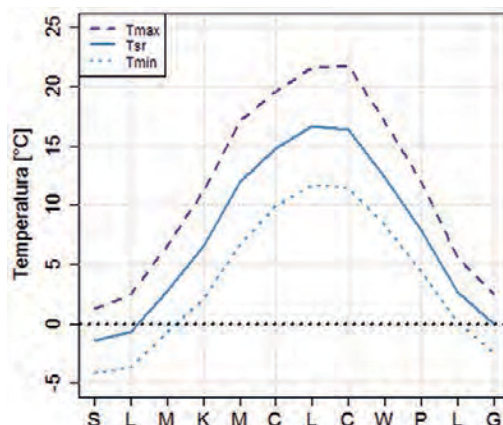
obszarów (np. Drezno, Ryc. 12). Ma to związek z tworzącymi się zastoiskami mas chłodnego powietrza oraz inwersjami termicznymi. W regionie badań projektu średnia obszarowa roczna temperatura minimalna powietrza wynosi od 0,6°C dla pietra górskiego do 4,8°C dla nizin.

Zmienność czasowa

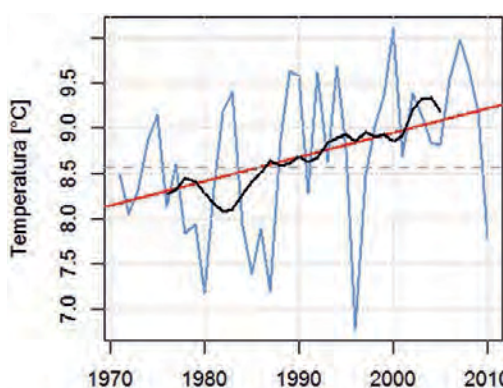
Na poniższych wykresach zostały przedstawione przebiegi roczne temperatury powietrza dla regionu badań (Ryc. 13). Najchłodniejszym miesiącem jest styczeń, zaś najcieplejszym lipiec. Dla jesieni obserwowane są nieznacznie wyższe średnie miesięczne wartości temperatury powietrza niż w przypadku wiosny, jednakże spadek temperatury w okresie lato-jesień jest silniejszy niż jej wzrost w okresie wiosennym. Podobnym przebiegiem rocznym charakteryzują się wszystkie stacje meteorologiczne omawianego regionu, choć należy podkreślić, że w zależności od ich wysokości bezwzględnej średnie miesięczne wartości cechują się niższymi lub wyższymi wartościami w stosunku do pozostałych stacji.

Na podstawie danych ze stacji Görlitz przedstawiona została zmienność czasowa temperatury powietrza dla ostatnich 40 lat (Ryc. 14). Dla średniej temperatury powietrza obserwowany jest trend rosnący, istotny statystycznie (SIG > 95 %), wynoszący +1,0°C dla okresu 1971–2010. Trzeba też podkreślić fakt występowania w tym samym czasie lat wyraźnie chłodnych. W ostatnim dziesięcioleciu jedynie w 2010 r. odnotowano średnią roczną temperaturę powietrza niższą niż średnia dla lat 1971–2000 (8,6°C).

Na wykresach pudełkowych, które są przydatnymi narzędziami dla graficznego zobrazowania wyników badań, przedstawiono średnie dekadowe zróżnicowanie temperatury powietrza, medianę oraz maksimum i minimum (Ryc. 15). Choć w pierwszych trzech dekadach omawianego okresu zauważyć można wyraźny trend rosnący, to w ostatnich 10 latach zaobserwować można spadek tej tendencji. Zakres wartości przedstawiony rozstępem międzykwartylowym (prostokąt) pokazuje, że zróżnicowaniu ulega również zakres wartości mediany dla średniej rocznej temperatury powietrza i wykazuje on nieznaczny wzrost w porównaniu do pierwszej dekady (1971–1980). Jednym z najchłodniejszych lat omawianego okresu był rok 1996.



Ryc. 13
Przebieg roczny temperatury powietrza [°C] w regionie badań dla lat 1971–2000



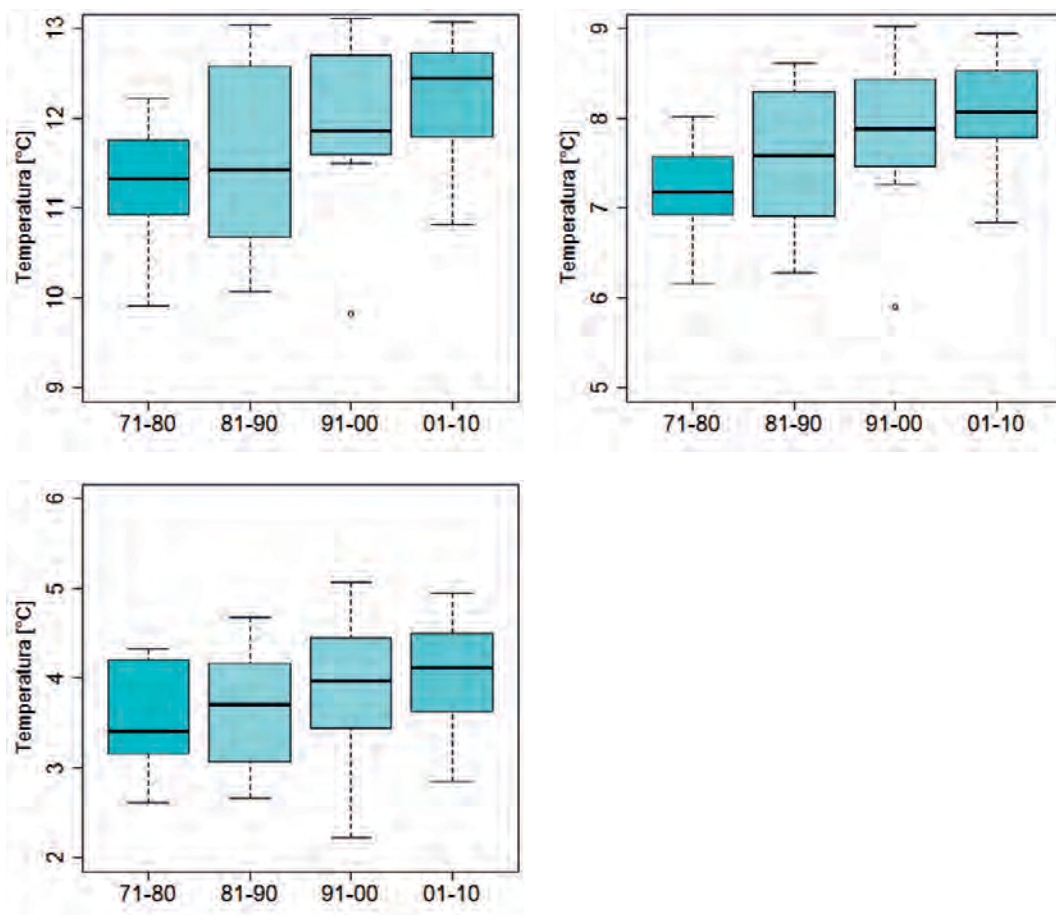
Ryc. 14
Zmienność średniej rocznej temperatury powietrza w latach 1971–2010 w Görlitz
(na czerwono: trend liniowy; na szaro: średnie wartości dla lat 1971–2000; na czarno: średnia kolejna 11-letnia)

Przyczyn wzrostu temperatury powietrza można częściowo upatrywać w zmianie częstości występowania poszczególnych typów cyrkulacji atmosferycznej. Zmienność częstości występowania określonych typów pogody, ze szczególnym uwzględnieniem sytuacji pogodowych obserwowanych w regionie badań, zostanie omówiona w następnych rozdziałach.

Ryc. 15

Zmienność rocznej temperatury maksymalnej (górze, z lewej), średniej (górze, z prawej) i minimalnej powietrza (dół, z lewej) w poszczególnych dekadach lat 1971–2000

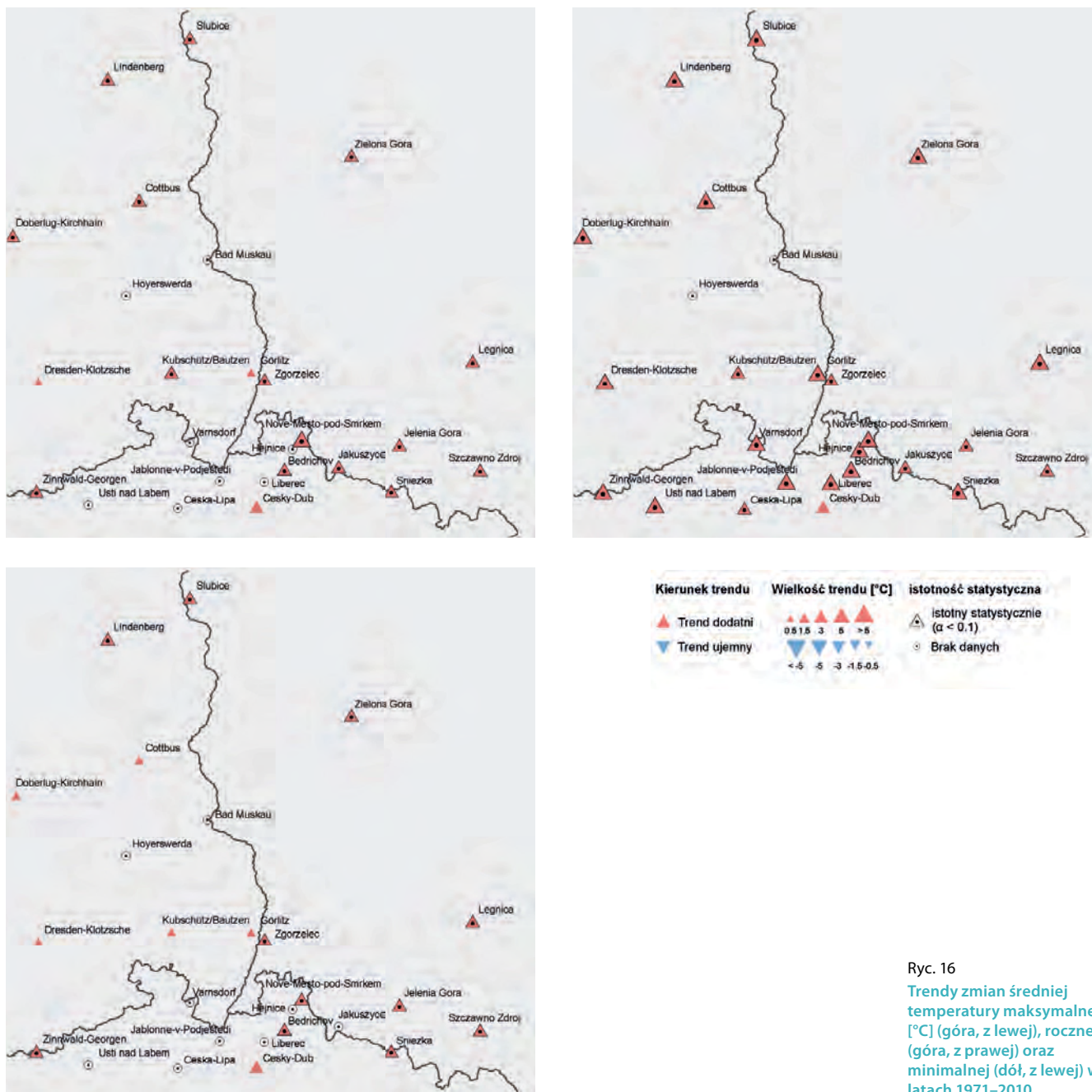
(cienka czarna linia = mediana, prostokąt = 50% obserwowanych wartości, poziome czarne linie powyżej i poniżej prostokąta = zakres obserwowanych wartości, oddzielne punkty = wartości odstające)



Analizy statystyczne trendów zmian pokazały, że w przypadku niemal wszystkich stacji dla lat 1971–2010 obserwowane są istotne statystycznie trendy zmian wartości średniej maksymalnej i średniej rocznej temperatury powietrza. Dla temperatury minimalnej powietrza, notowany jest trend rosnący, jednak charakteryzuje się on często, zwłaszcza w zachodniej części regionu, brakiem istotności statystycznej (Ryc. 16).

W przypadku wzrostu średniej rocznej temperatury powietrza, wszystkie piętra wysokościowe charakteryzują się podobnym trendem (1.0 do 1.2 °C).

Dla średniej temperatury minimalnej powietrza silniejszy trend obserwowany jest dla gór (1.0 °C) niż dla obszarów nizinnych (0.6 °C). Podobne prawidłowości są notowane dla temperatury maksymalnej (Tabela 12). Trendy zmian temperatury średniej i maksymalnej charakteryzują się zwykle większym natężeniem w porównaniu do temperatury minimalnej. Można zatem wywnioskować, że zmienność temperatury minimalnej jest w większym stopniu uzależniona od lokalnej rzeźby niż od czynników cyrkulacyjnych, co ostatecznie prowadzi do złagodzenia trendu zmian.



Ryc. 16
Trendy zmian średniej temperatury maksymalnej [°C] (góra, z lewej), rocznej (góra, z prawej) oraz minimalnej (dół, z lewej) w latach 1971–2010

Przedział wysokościowy	Wysokość [m n.p.m.]	Temp. średnia	Temp. maksymalna	Temp. minimalna
Niziny	< 150	1.2	1.2	0.6
Równiny faliste	150 – 350	1.0	0.9	0.6
Pogórza	350 – 650	1.1	1.4	1.0
Góry	≥ 650	1.2	1.3	0.9

Tabela 12
Trend zmian temperatury powietrza [°C] w poszczególnych piętrach wysokościowych w latach 1971–2010
(na pomarańczowo: wzrost $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$, na czerwono: wzrost $\geq 1.0^{\circ}\text{C}$)

Tabela 13

Trend zmian temperatury powietrza [°C] w poszczególnych piętrach wysokościowych w latach 1971–2010

(na pomarańczowo: wzrost $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$, na czerwono: wzrost $\geq 1^{\circ}\text{C}$, na ciemno czerwono: wzrost $\geq 2^{\circ}\text{C}$)

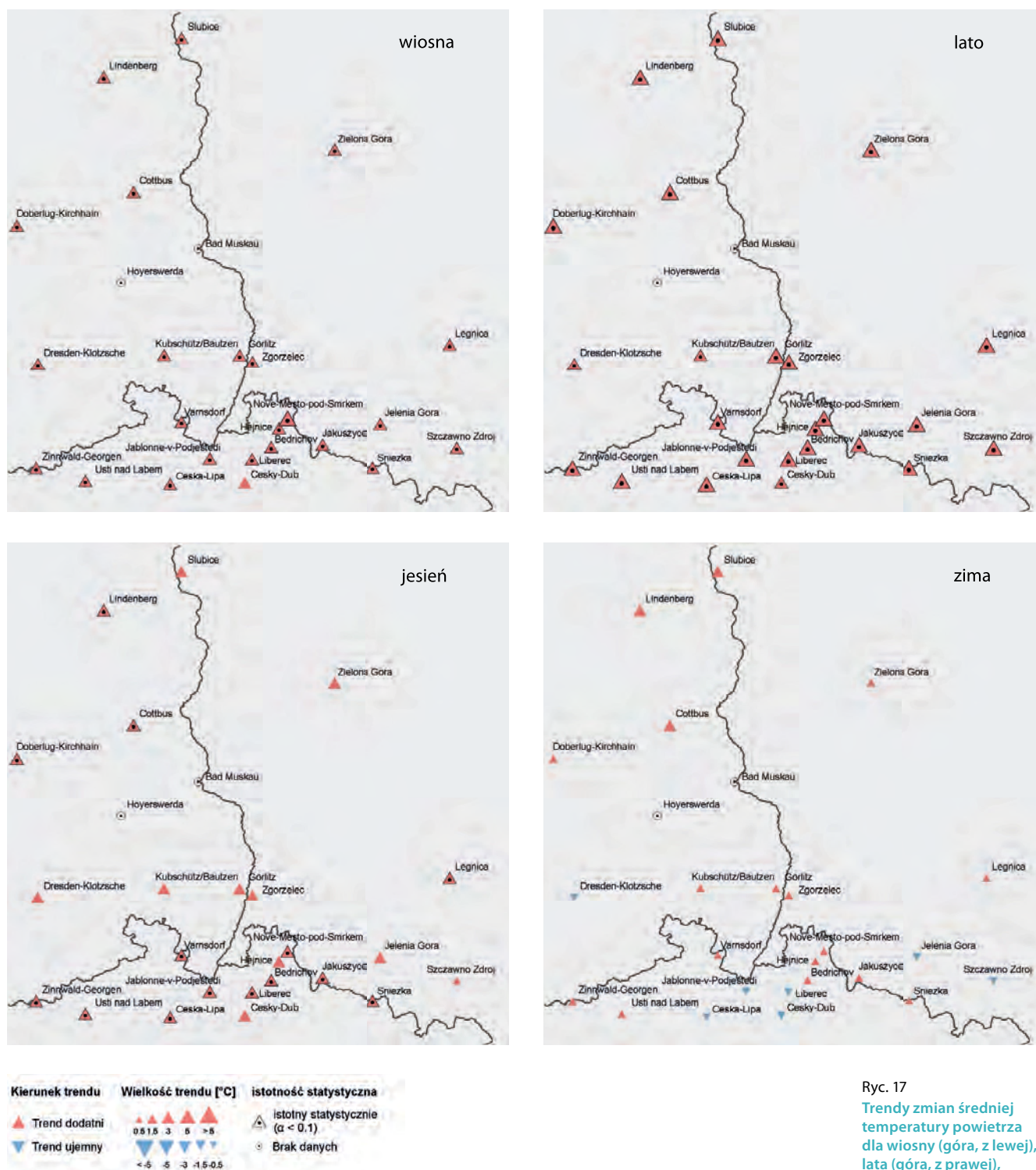
Przedział wysokościowy	Wysokość [m n.p.m.]	wiosna	lato	jesień	zima
Temperatura maksymalna					
Niziny	<150	1.8	1.8	1.0	0.6
Równiny faliste	150–350	1.6	1.6	0.5	0.1
Pogórza	350–650	2.0	2.4	1.1	0.3
Góry	≥ 650	2.0	2.1	1.0	0.3
Temperatura średnia					
Niziny	<150	1.8	1.8	1.0	0.7
Równiny faliste	150–350	1.5	1.8	0.9	0.1
Pogórza	350–650	1.6	1.9	1.0	0.1
Góry	≥ 650	1.7	1.8	1.1	0.3
Temperatura minimalna					
Niziny	<150	1.1	1.2	0.4	0.3
Równiny faliste	150–350	1.0	1.3	0.6	0.0
Pogórza	350–650	1.2	1.9	1.3	0.0
Góry	≥ 650	1.4	1.4	0.9	0.1

Pomimo tego, że trendy dotyczące temperatury powietrza odznaczają się zróżnicowaniem z uwagi na porę roku oraz wysokość bezwzględną, w przypadku wszystkich pór roku obserwowany jest trend rosnący (Tabela 13). Informacje związane z istotnością statystyczną trendów zostały zamieszczone na Ryc. 17.

Najsilniejszy i najbardziej istotny statystycznie trend rosnący, wynoszący od 1.0°C do 2.4°C , jest obserwowany dla wiosny i lata (Ryc. 17). W przypadku temperatury maksymalnej powietrza, najwyższy wzrost został odnotowany dla obszarów górskich. Są to regiony, w których notowany jest największy trend rosnący temperatury powietrza. Wyizolowany szczyt Śnieżki, będący najwyżej położoną stacją regionu (1603 m n.p.m.), charakteryzuje się często nieznacznie wyższymi trendami niż jest to obserwowane dla pozostałych górskich stacji. Jest to szczególnie zauważalne w przypadku temperatury minimalnej powietrza dla okresu lata ($+2.0^{\circ}\text{C}$). Należy również nadmienić, że wyższymi trendami w porównaniu do pozostałych stacji cechuje się również stacja Nove Mesto pod Smrkem, co może być wynikiem częstego występowania wiatru typu fenowego, jak również wzrostu niektórych typów cyrkulacji atmosferycznej, sprzyjających pojawianiu się fenów (typy TRM i TRW). W trakcie przeprowadzania testów dotyczących wiarygodności danych meteorologicznych dla tej stacji nie stwierdzono jednak żadnych nieprawidłowości.

W okresie jesieni trend temperatury jest niższy, wynosi od 0.4°C do 1.3°C , a jego najwyższe wartości występują w obszarach górskich. Analizy trendów oraz testy istotności statystycznej wykazały, że obszary górskie cechuje występowanie trendów istotnie statystycznych, podczas gdy na stacjach położonych na pozostałych obszarach trend jest nieistotny.

Dla sezonu zimowego notowane są najmniejsze wzrosty temperatury powietrza, wynoszące od 0°C do 0.7°C , które dodatkowo odznaczają się brakiem istotności statystycznej (Ryc. 17). W zimie obserwowany jest najmniejszy wzrost wartości temperatury minimalnej, wynoszący od 0°C do 0.3°C . W przypadku zróżnicowania termicznego w omawianym 40-leciu, na przykładzie stacji Görlitz można stwierdzić, że najchłodniejsze okresy zimowe z lat 80. i 90. cechowały się surowszymi warunkami termicznymi niż zimy ostatniej dekady (Ryc. 18).

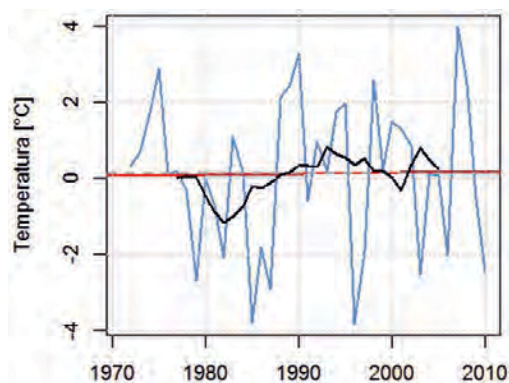


Ryc. 17
Trendy zmian średniej temperatury powietrza dla wiosny (góra, z lewej), lata (góra, z prawej), jesieni (dół, z lewej) i zimy (dół, z prawej) 1971–2010

Ryc. 18

Trendy zmian średniej temperatury powietrza dla zimy (DJF) na przykładzie stacji Görlitz dla lat 1971–2010

(na czerwono: trend liniowy; na szaro: średnia dla lat 1971–2000; na czarno: średnia konsekwentna 11-letnia)



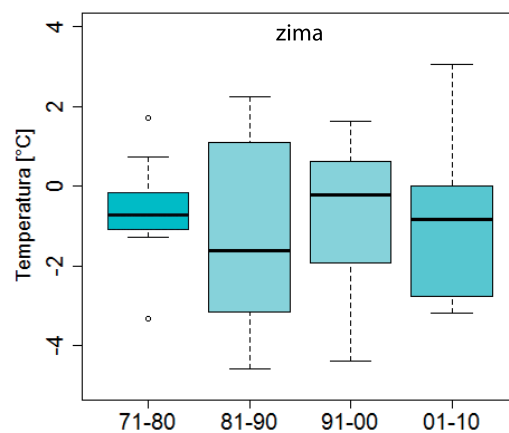
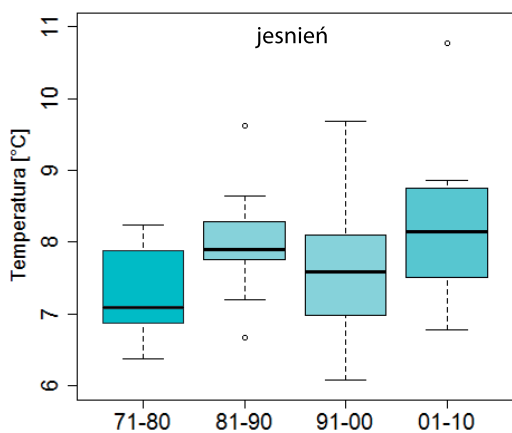
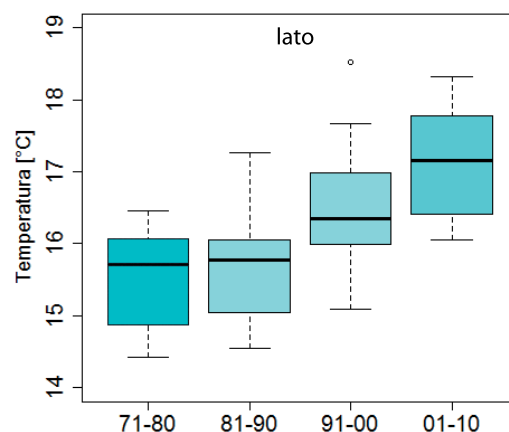
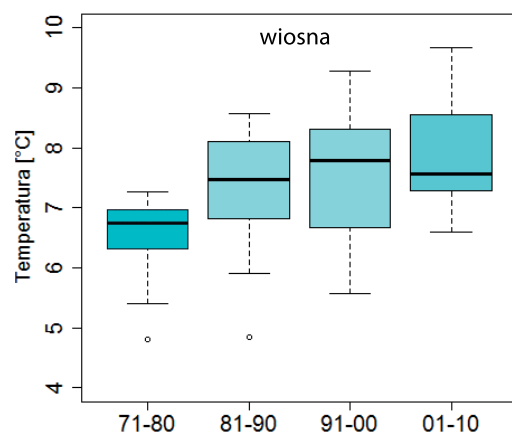
Na Ryc. 19 przedstawione zostało zróżnicowanie średniej temperatury powietrza w poszczególnych dekadach omawianego okresu. Wykresy pokazują, że dla wiosny, zwłaszcza dla trzech pierwszych dekad (1971–2000), obserwowany jest silny trend rosnący wraz ze wzrastającym zakresem wartości temperatury w poszczególnych dekadach. W przypadku ostatniej dekady zauważyć można stagnację trendu. Dla lata z kolei obserwowany jest znaczny wzrost temperatury powietrza w ciągu pierwszych trzech dekad, podczas gdy rozstęp międzykwartylowy nie wykazuje większych zmian w kolejnych dekadach.

Jesienią oraz zimą notowane jest większe zróżnicowanie natężenia trendu rosnącego. Nieznacznie rosnący trend średniej temperatury powietrza można zaobserwować dla sezonu jesiennego (najwyższe wartości w roku 2006), natomiast w przypadku zimy występuje duża zmienność w poszczególnych dekadach, zaś trend średniej temperatury powietrza jest nieistotny statystycznie.

Ryc. 19

Zróżnicowanie średniej temperatury powietrza w poszczególnych dekadach lat 1971–2010 dla wiosny, lata, jesieni i zimy w regionie badan projektu

(czarna linia: mediana; prostokąt: 50% obserwowanych wartości, poziome czarne linie powyżej i poniżej prostokąta = zakres obserwowanych wartości, oddzielne punkty = wartości odstające)





Przedział wysokościowy	Wysokość [m n.p.m.]	Dni gorące [liczba dni]		Dni upalne [liczba dni]		Noce gorące [liczba dni]		Dni przymrozkowe [liczba dni]		Dni mroźne [liczba dni]		Sumy temperatur ujemnych [°C]	
		średnia	trend	średnia	trend	średnia	trend	średnia	trend	średnia	trend	średnia	trend
Niziny	< 150	43	16	9	6	0.5	0.4	88	1	21	2	163	-6
Równiny faliste	150–350	35	13	6	3	0.8	0.5	94	1	26	8	195	23
Pogórza	350–650	29	14	4	3	0.3	0.5	116	-14	30	6	225	26
Góry	>= 650	4	3	0	0	0	0.1	167	-23	83	-7	547	-53

Tabela 14
Średnia częstość występowania dni charakterystycznych, średnie sumy temperatur ujemnych oraz bezwzględny trend liniowy w okresie 1971–2010

Dni charakterystyczne

Dni charakterystyczne są wskaźnikami klimatu, które wyznaczono na podstawie dobowych wartości temperatury powietrza. Kluczowym czynnikiem różnicującym liczbę dni charakterystycznych w poszczególnych regionach jest wysokość nad poziomem morza (Tabela 14).

Dla obszarów położonych poniżej 350 m n.p.m. (niziny, równiny faliste), w okresie 1971–2010, liczba dni gorących w ciągu roku wyniosła od 35 do 43, podczas gdy dla obszarów położonych wyżej była ona zdecydowanie niższa (od 29 do 4 dni). Częstość występowania dni upalnych wahała się dla obszarów nizinnych od 6 do 9 dni. W strefie pogórzy notowano tylko 4 dni upalne, natomiast ze względu na spadek temperatury z wysokością nad poziomem morza, nie obserwowano tego typu dni w przedziale wysokościowym odpowiadającym górcom. Noce gorące są zjawiskiem rzadkim dla całego obszaru objętego projektem (od 0 do 0,8 dnia).

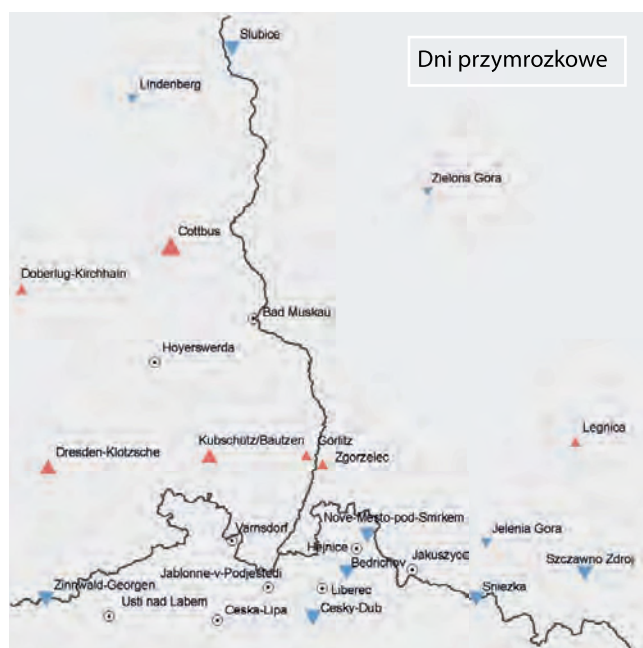
Trend temperatury powietrza w okresie 1971–2010 ma charakter dodatni. Zaobserwowano znaczący wzrost częstości występowania dni gorących (od 3 do 16 dni) oraz słabszy wzrost występowania liczby dni upalnych (od 3 do 6 dni, Ryc. 20). W przypadku nocy gorących, występujący trend pozytywny nie jest istotny statystycznie.

Wskaźniki charakterystyczne dla okresów chłodnych, takie jak dni przymrozkowe i mroźne osiągały swoje maksima w obszarze pogórzy i w górach, gdzie liczba dni przymrozkowych wahała się od 116 do 167. W obszarach nizinnych notowano średnio ok. 90 dni przymrozkowych. Rozkład przestrzenny dla dni mroźnych był podobny do rozkładu dla dni przymrozkowych. W obszarach położonych powyżej 350 m n.p.m. występowało od 30 do 83 dni mroźnych, podczas gdy na obszarach położonych niżej było ich od 21 do 26 rocznie.

Przy niewielkim trendzie dodatnim temperatury minimalnej w zimie, trend częstości występowania dni przymrozkowych w obszarach położonych do 350 m n.p.m. wahał się pomiędzy lekko dodatnim a lekko ujemnym, podczas gdy w partiach pogórzy i grzbietów górskich obecny był trend spadkowy, wynoszący od -14 do -23 dni. Dla kontrastu, w przypadku dni mroźnych, dla całego obszaru badań mamy do czynienia z trendem o charakterze dodatnim (od 2 do 8 dni), z wyłączeniem partii grzbietowych (-7 dni). Dla wszystkich wskaźników związanych z okresem chłodnym trend nie jest istotny statystycznie.

Termiczną ostrość zimy oceniono na podstawie sum temperatur ujemnych. Zgodnie z klasyfikacją podaną w rozdziale Wskaźniki klimatu, zimy w obszarach położonych do 350 m n.p.m. mogą być zakwalifikowane do zim normalnych (suma temperatur ujemnych od 165 do 195). Obszary grzbietowe Rudaw i Karkonoszy charakteryzują się bardzo surowymi warunkami zimowymi (suma temperatur ujemnych osiągnęła 547), przy czym należy zauważyć, że wskaźnik ten mocno zmienia się wraz z wysokością n.p.m.

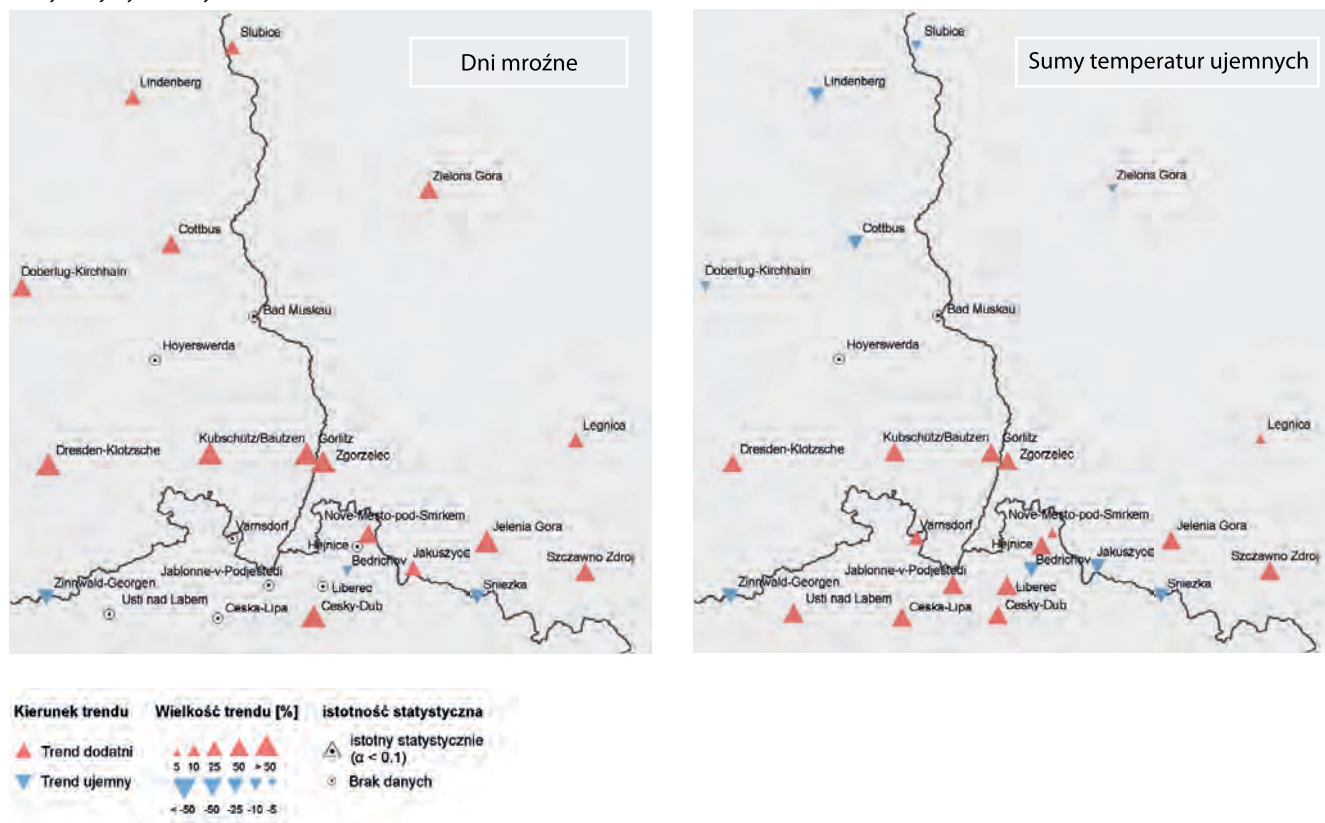
Analiza trendu wskazuje na dodatni, ale nienaczący statystycznie trend dla sum temperatur ujemnych w obszarach położonych w przedziale od 250 do 650 m n.p.m. (od 23 do 26). Jednak w obszarach nizinnych (-6) oraz w górach (-53) wartość wskaźnika maleje. Pomimo tego, że obserwowana jest zmiana w kierunku łagodniejszych zim w obszarach górskich, to ogólna ocena ostrości zim nie uległa istotnym zmianom. Zasadniczo, w obszarze objętym analizą, nie ma jednoznacznej tendencji w kierunku łagodniejszych lub ostrzejszych zim.



Ryc. 20
Względny trend [%]
występowania dni
gorących, dni upalnych,
nocy gorących, dni
przymrozkowych,
dni mroźnych i sum
temperatur ujemnych
w okresie 1971–2010



Kontynuacja rysunku Ryc. 20



Występowanie dni charakterystycznych

Oprócz częstości występowania pewnych zjawisk pogodowych, szczególne znaczenie ma również czas ich trwania. W Tabeli 15 pokazano średnią częstość występowania fal ciepła/chłodu i średni czas trwania okresów z przymrozkami i bez przymrozków. W obszarze badań fale ciepła trwające 6 kolejnych dni i dłużej są zjawiskiem bardzo rzadkim, podobna sytuacja występuje w przypadku fal chłodu.

Występowanie okresów przymrozkowych i bezprzymrozkowych zależy głównie od wysokości n.p.m. (Tabela 15). Dlatego też, najdłuższy okres przymrozkowy występował w rejonie Rudaw i Karkonoszy (czas trwania 2–3 miesiące), a na wnizinach wynosił tylko 3 tygodnie. Podobnie, okres bezprzymrozkowy był najdłuższy na niższych wysokościach, a najkrótszy w najwyższych partiach gór (129 dni).

Przedział wysokościowy	Wysokość [m n.p.m.]	Fala ciepła [liczba epizodów]		Fala chłodu [liczba epizodów]		Okres z przymrozkami [liczba dni]		Okres bezprzymrozkowy [liczba dni]	
		średnia	trend	średnia	trend	średnia	trend	średnia	trend
Niziny	< 150	0.8	1.4	0.6	-0.3	23	3	176	30
Równiny faliste	150–350	0.7	0.9	0.6	0.0	26	6	177	21
Pogórza	350–650	0.9	1.4	0.5	-0.2	32	1	162	24
Góry	>= 650	0.8	0.8	0.7	0.0	65	6	129	16

Tabela 15
Średnia częstość występowania fal upału/chłodu i okresów bezprzymrozkowych i z przymrozkami w okresie referencyjnym 1971–2000 oraz ich trend bezwzględny

Ryc. 21

Względny trend [%]
występowania fal upału,
fal chłodu, okresów
bezzimrozkowych i
okresów z przymrozkami
w okresie 1971–2010

Ze względu na wzrost temperatury maksymalnej, fale ciepła charakteryzują się trendem dodatnim ($> 50\%$), jednak jest on istotny statystycznie tylko dla części obszaru badań. Przeciwnie, dla fal chłodu, występuje tendencja lekko spadkowa, jednak nie jest ona statystycznie istotna (Ryc. 21).

W ostatnich 40 latach, istotnie wzrosła liczba dni bezzimrozkowych (10–25%). Dodatni trend (10–25%) notowany dla okresów z przymrozkami nie jest istotny statystycznie (Ryc. 21). Odrotny trend dla Nowego Mesta powinien być interpretowany z ostrożnością.





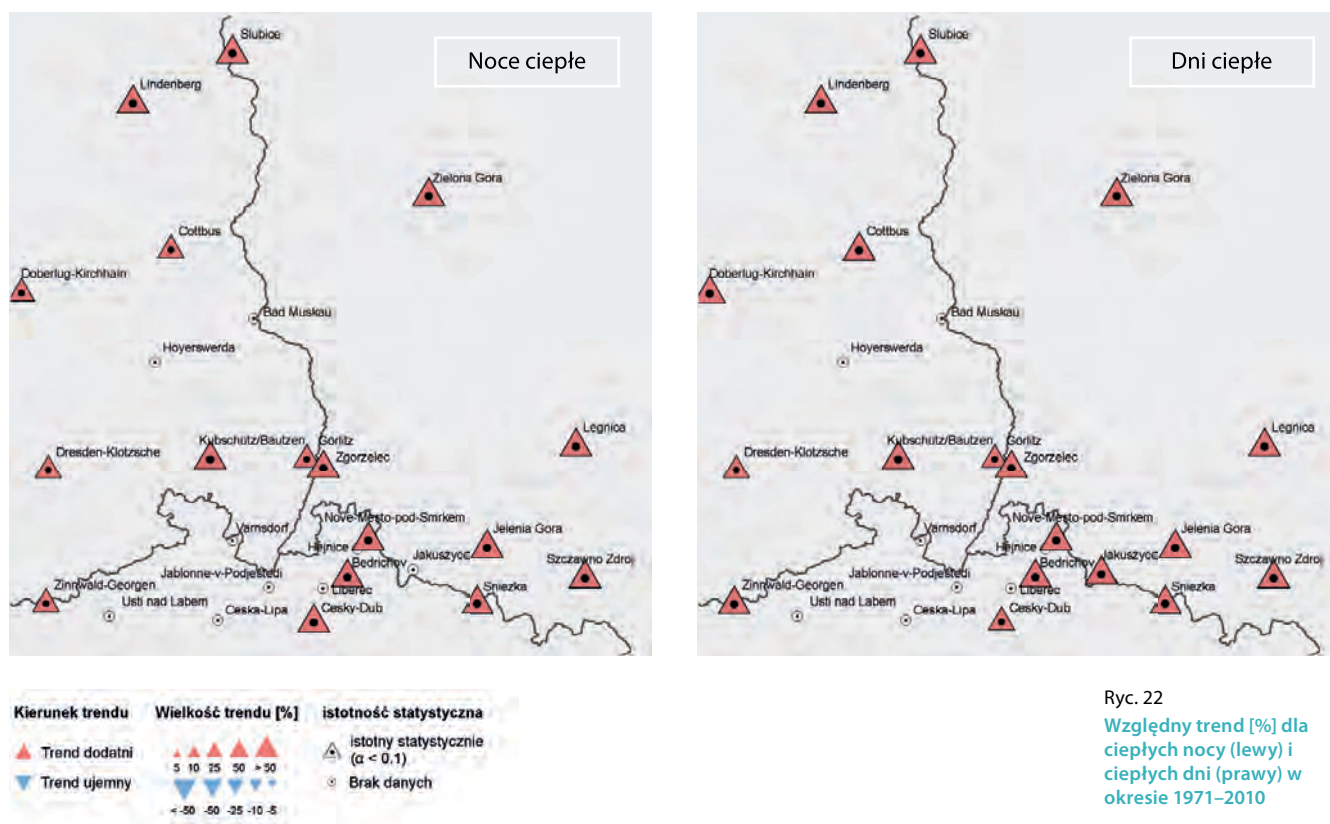
Wskaźniki oparte na percentylach

Na podstawie wskaźników opartych na percentylach, stacje położone na różnych wysokościach mogą być między sobą porównywane. Odnosi się to szczególnie do stosunkowo ciepłych dni i nocy w obszarach górskich. Średnia częstość występowania dni ciepłych ($TX > 90^{\text{th}}$ percentyla) wynosiła od 38 do 40 dni w roku, a średnie maksimum długości

trwania dni ciepłych od 6 do 7 dni (Tabela 16). Trend liniowy dla dni ciepłych, w okresie 1971–2010, ma charakter wzrostowy (z 20 do 28 dni) i jest istotny statystycznie. Ryc. 22 wskazuje na względny trend wynoszący powyżej 50 %. W przypadku percentyli, tak jak należało się spodziewać, dni ciepłe pokazują tę samą tendencję wzrostową w obszarach górskich i na nizinach.

Przedział wysokościowy	Wysokość [m n.p.m.]	Dni ciepłe [liczba dni]			Noce ciepłe [liczba nocy]		
		średnia	seria dni	trend	średnia	seria dni	trend
Niziny	< 150	39	6	27	38	5	21
Równiny faliste	150–350	38	6	20	39	5	23
Pogórza	350–650	40	7	28	41	5	34
Góry	>= 650	39	6	25	38	6	25

Tabela 16
Liczba dni, seria dni/nocy ciepłych i bezwzględny trend liniowy dla dni/nocy ciepłych w okresie 1971–2010



Ryc. 22
Względny trend [%] dla ciepłych nocy (lewy) i ciepłych dni (prawy) w okresie 1971–2010

Podobna tendencja widoczna jest dla ciepłych nocy (TN > 90th percentyla, Ryc. 22). Przeciętnie w ciągu roku występowało od 38 do 41 ciepłych nocy (czas trwania epizodu wynosił od 5 do 6 kolejnych dób). Średnia liczba ciepłych nocy wzrastała od 21 do 34 (> 50 %), przy czym najsilniejszą tendencję obserwuje się w górach. Z analizy wynika, że prawie dla wszystkich regionów obserwowano wzrost temperatury, a rzadko występujące dni charakterystyczne, takie jak ciepłe noce, wskazują na odmienne tendencje.

Wskaźniki odnoszące się do wegetacji

Stopniodni okresu wegetacyjnego (Growing Degree Days – GDD)

Na obszarze objętym analizą, średnia wartość wskaźnika GDD w okresie 1971–2010, zmieniała się w dość szerokim zakresie, tj. od około 100 GDD (na stacji Śnieżka w Karkonoszach) do ponad 1100 GDD w Cottbus, Dreźnie i Lindenbergu. Decyduje o tym przede wszystkim wysokość nad poziomem morza, a dokładniej odwrotnie proporcjonalna zależność temperatury powietrza od wysokości. Średnia wartość wskaźnika GDD przekraczała 1060 na obszarze nizinnym i dochodziła do 320 w strefie grzbietów górskich (Tabela 17). Po przeanalizowaniu 40-letniej serii danych pomiarowych należy podkreślić, że nie ma stacji, w której rok po roku byłoby zagwarantowane utrzymanie stabilnych warunków termicznych na poziomie dostatecznym dla upraw winorośli (tj. > 945 GDD; zgodnie z przyjętą klasyfikacją GDD dla obszarów z klimatem chłodnym⁷). W grupie z największą amplitudą indeksu GDD w wieloleciu 1971–2010 (> 600 GDD), znalazło się 6 stacji (m.in. Kubschuetz, Zielona Góra oraz Nove Mesto pod Smrkem). W przypadku 16 stacji ampli-

tuda przekraczała 500 GDD. Wykluczając tereny górskie (Śnieżka, Jakuszyce i Zinnwald) odchylenie standardowe GDD dla pozostałych stacji przekraczało wyraźnie 100, osiągając maksymalne wartości 150 w stanowisku Nove Mesto pod Smrkem oraz Zielona Góra. Wspomniane różnice w amplitudzie GDD wynikają z większej zmienności temperatury powietrza na terenie nizinnym w odniesieniu do większego niż w górach usłonecznienia. Natomiast na obszarze o urozmaiconej rzeźbie terenu usłonecznienie jest redukowane z powodu większego zachmurzenia, a przebieg temperatury powietrza bardziej wyrównany.

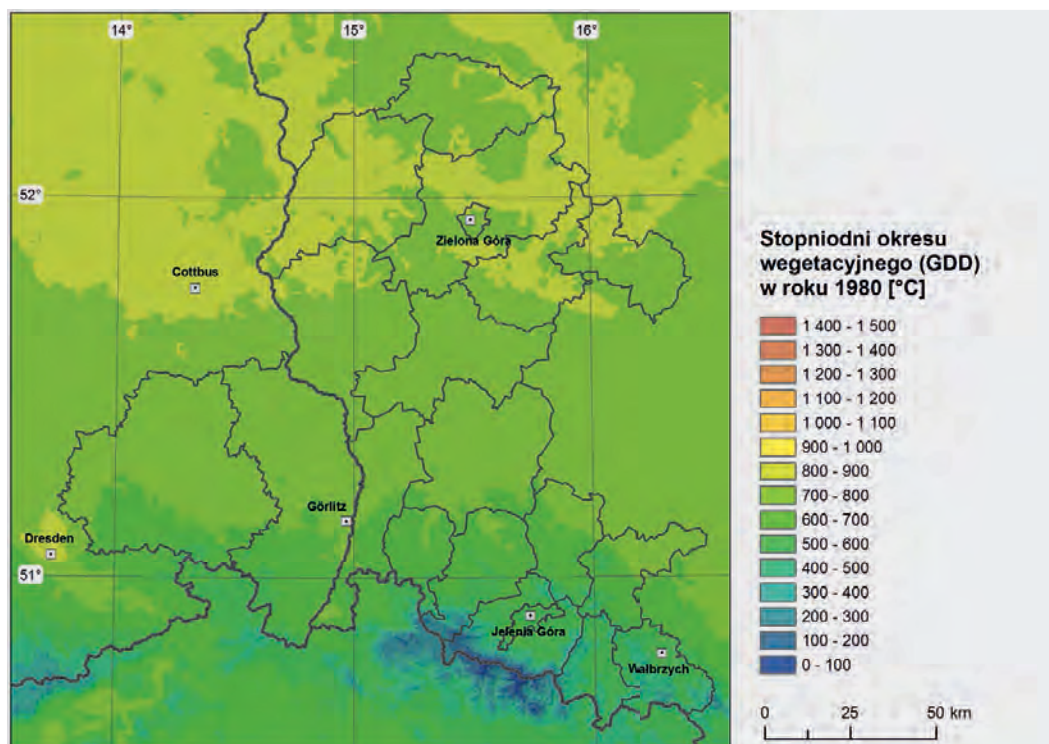
W wieloleciu 1971–2010 latami skrajnymi był rok 1980 (jeden z najchłodniejszych oraz najniższą wielkością GDD) oraz rok 2006 (jeden z najcieplejszych i najwyższym GDD). Rozkład GDD dla obu tych lat zaprezentowano na Ryc. 23. W ekstremalnych latach charakterystyczna jest duża zmienność przestrzenna analizowanego wskaźnika, który jest silnie skorelowany z wysokością. Ponadto w roku 2006 zaznacza się gradient GDD o przebiegu równoleżnikowym (W-E). Wynika to z tego, że północna i północno-zachodnia część domeny, w tym samym przedziale wysokościowym, wyróżnia się znacznie większym GDD w porównaniu z jej częścią wschodnią.

Opisany czasowy i przestrzenny zakres zmienności ma duże znaczenie w określeniu przydatności analizowanego obszaru dla upraw winorośli. Posługując się wytycznymi Amerine i Winklera (Tabela 18), cały obszar domeny projektu KLAPS należy sklasyfikować, jako bardzo zimny z zaleceniem stosowania odmian wcześniej dojrzewających – dla zachowania wysokiej jakości wina.

Tabela 17
Wskaźniki Sum of Active Temperatures (SAT) i Growing Degree Days (GDD) w relacji do wyznaczonych przedziałów wysokościowych

Przedział wysokościowy	Wysokość [m n.p.m.]	SAT		GDD	
		średnia	trend	średnia	trend
Niziny	< 150	2742	1061	496	265
Równiny faliste	150–350	2572	961	465	246
Pogórza	350–650	2369	844	432	223
Góry	> = 650	1139	320	281	120

7 <http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/class02/apirzade/growingdegrees.htm>



Ryc. 23

Stopniodni okresu wegetacyjnego (GDD) w obrębie domeny projektu KLAPS dla dwóch skrajnych lat: 1980 (jeden z najchłodniejszych, mapa górna) i 2006

(jeden z najcieplejszych, mapa dolna)

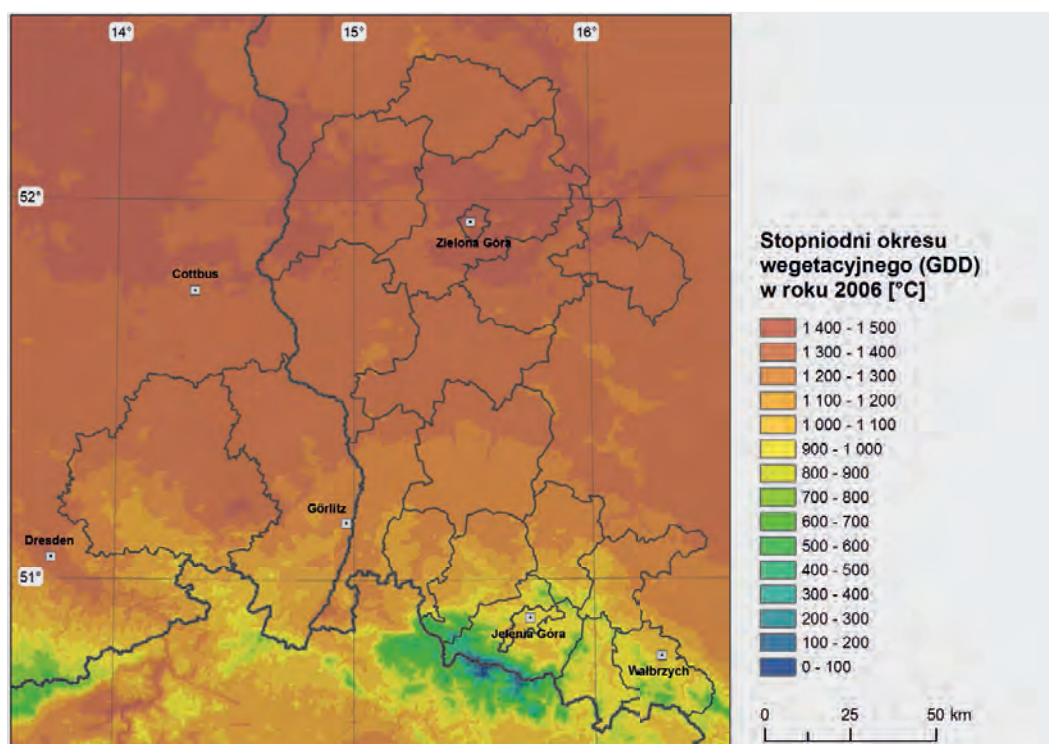


Tabela 18

Obszary uprawy winorośli w odniesieniu do stopniodni okresu wegetacyjnego

(Amerine i Winkler, 1944; wersja zmodyfikowana)

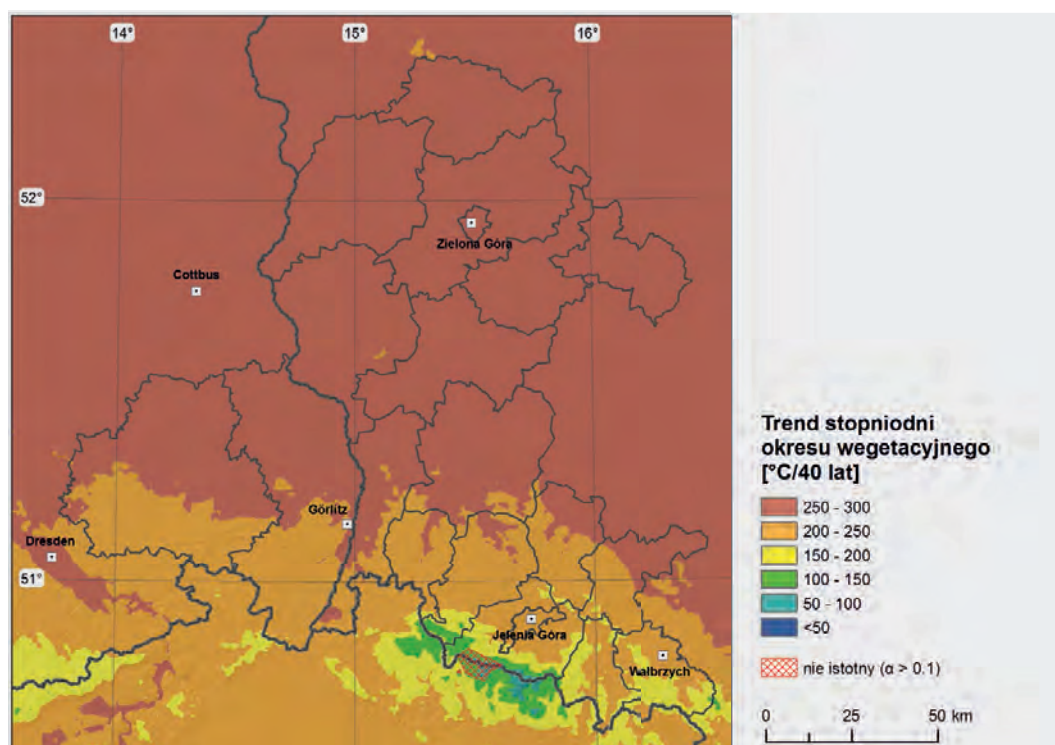
Region	GDD [°C]	Typ	Sugerowane odmiany
I	≤ 1371	Bardzo chłodny	Odmiany wczesnie dojrzewające – dla zachowania wysokiej jakości
II	1372–1648	Chłodny	Odmiany wina stołowego dojrzewające wcześniej i w środku sezonu
III	1649–1927	Ciepły	Wysoka wydajność produkcji wina o standardowej i dobrej jakości
IV	1928–2204	Gorący	Wysoka wydajność produkcji wina o zadowalającej jakości
V	≥ 2204	Bardzo gorący	Wysoka wydajność, dojrzewanie w późnej części sezonu, masowa produkcja wina

Jednakże, dla większości stacji reprezentujących klimat chłodny, wskaźnik GDD osiągał wielkości w przedziale 1000–1100, co oznacza dogodne warunki dla uprawy winorośli oraz prowadzenia działalności komercyjnej. Kierując się wspomnianą klasyfikacją oraz dysponując przestrzenną informacją dla GDD można powiedzieć, że ta ocena dotyczy blisko 80% powierzchni całego analizowanego regionu, jeśli tylko akumulowane wskaźniki klimatu są brane pod uwagę. Uwzględnienie innych czynników, jak występowanie zjawisk ekstremalnych, zmieni te statystyki.

GDD charakteryzuje się pozytywnym i statystycznie istotnym trendem na obszarze całej domeny projektu KLAPS z wyjątkiem wschodniej części Gór Izerskich oraz skrajnie zachodnich partii Karconoszy (brak istotności statystycznej dla poziomu ufności 0.1). Policzony, 40-letni trend temperatury powietrza, tłumaczony dokonującymi się zmianami klimatu jest mniejszy w obszarach górskich m.in. w Sudetach, a także Rudawach (< 200 GDD/40 lat), natomiast większy na terenach nizinnych w północnej części analizowanego obszaru (średnio 250 GDD/40 lat; Ryc. 24). To oznacza, że w ciągu ostatnich 40 lat, szczególnie w części nizinnej, znacznie poprawiły się warunki termiczne w odniesieniu

Ryc. 24

Trend wskaźnika GDD w wieloletniu 1971–2010 oraz jego istotność statystyczna





do uprawy winorośli. Jednocześnie utrzymanie się wzrostu temperatury na tym samym poziomie mogłoby doprowadzić do wzrostu wskaźnika GDD do poziomu 1300–1400, co w obrębie klimatu chłodnego, odpowiada dobrym i wystarczająco dogodnym warunkom termicznym do uprawy winorośli.

Suma temperatury aktywnej (Sum of Active Temperatures – SAT)

Biorąc pod uwagę dane dla 40-letniej serii danych (1971–2010) z 25 stacji meteorologicznych, przeciętna wielkość wskaźnika SAT wyniosła 2274. Jego zmienność mieściła się w dość szerokim zakresie, tj. od 195 SAT na Śnieżce w Karkonoszach (1602 m n.p.m.) do 3297 w Cottbus. Po obliczeniu średnich z wielolecia, najniższe (499) i najwyższe (2829) SAT, wystąpiło odpowiednio w tych samych stacjach. Tak jak w przypadku wskaźnika GDD, o przestrzennej zmienności SAT, decyduje przede wszystkim wysokość nad poziomem morza, a dokładnie – odwrotnie proporcjonalna zależność temperatury powietrza od wysokości. Biorąc pod uwagę analizowane piętra wysokościowe, wielkość indeksu SAT osiągała około 2742 na terenach nizinnych i malała do 1139 w piętrze reprezentowanym przez grzbiety górskie.

SAT, podobnie jak GDD charakteryzował się dość dużą zmiennością z roku na rok, choć odchylenie standardowe w jego przypadku było bardziej wyrównane pomiędzy stacjami. Największą amplitudę indeksu SAT w wieloleciu 1971–2010, przekraczającą 1000 stwierdzono w przypadku 3 stacji usytuowanych u podnóża gór: Nove Mesto pod Smrkem, Hejnice i Usti nad Labem. Stacje te charakteryzuje podobna wysokość n.p.m., która jest na tyle niska, że temperatura powietrza w sezonie ciepłym, w dniach z pogodą antycykonalną i dużym usłonecznieniem jest odpowiednio wysoka. Z drugiej strony, w związku z położeniem analizowanych stacji w bliskim sąsiedztwie obszaru górskiego, w okresach zdominowanych przez cyrkulację cyklonalną, wzrost zachmurzenia skutkujący znacznym ograniczeniem usłonecznienia i spadkiem temperatury obejmuje nie tylko góry, ale także przedgórza. Z tego powodu wspomniane stacje wyróżniają się największą zmiennością SAT z roku na rok.

Rozkład przestrzenny wskaźnika SAT w obrębie domeny projektu KLAPS wygląda bardzo podobnie do zaprezentowanego wcześniej wskaźnika stopniodni okresu wegetacyjnego (GDD), jednakże SAT zmienia się w odpowiednich klasach w znacznie większym zakresie niż GDD. Praktycznie na całym obszarze poza terenami górkimi (Sudety i Rudawy) występują dostateczne warunki

do uprawy winorośli (zgodnie z możliwością dojrzewania w danej grupie odmian, Tabela 19). Strefa z SAT przekraczającym 2500 (wymagany dla winnic) obejmuje około 80 % domeny projektu KLAPS. Niziny położone w środkowej i północnej części (Niederlausitz/Łużyce Dolne i Brandenburgische Seenplatte/Pojezierze Lubuskie) to tereny wyjątkowo korzystne do uprawy winorośli z SAT przekraczającym 2700.

SAT	Odmiany
2000–2200	bardzo wcześnie dojrzewające
2200–2500	wcześnie dojrzewające
2500–2700	umiarkowanie wcześnie dojrzewające
2700–2900	późno dojrzewające
> 2900	bardzo późno dojrzewające

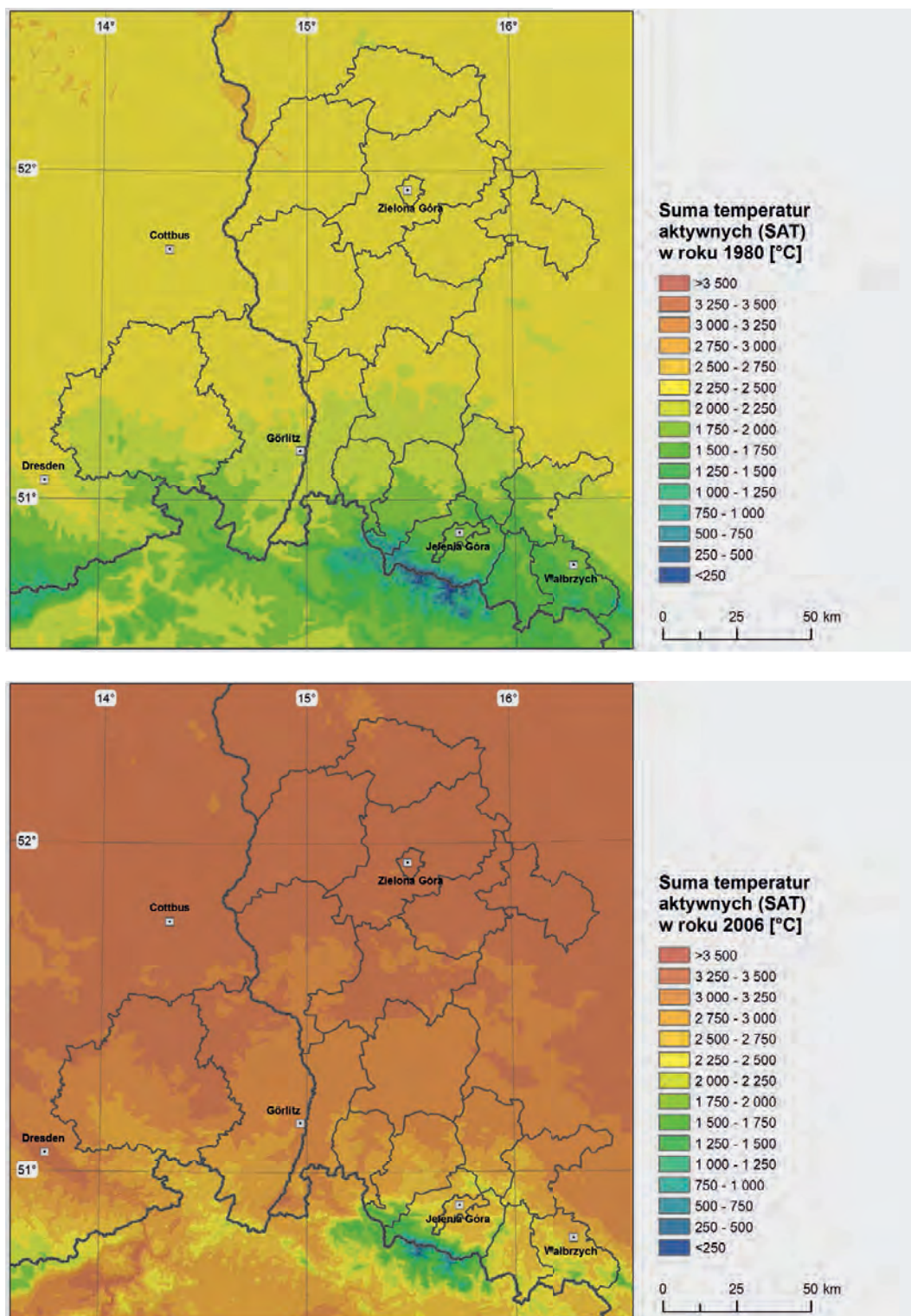
Tabela 19
Średnia suma temperatur aktywnych (SAT) [°C] w odniesieniu do możliwości uprawy odmian winorośli o różnym czasie dojrzewania
(MYŚLIWIEC, 2003)

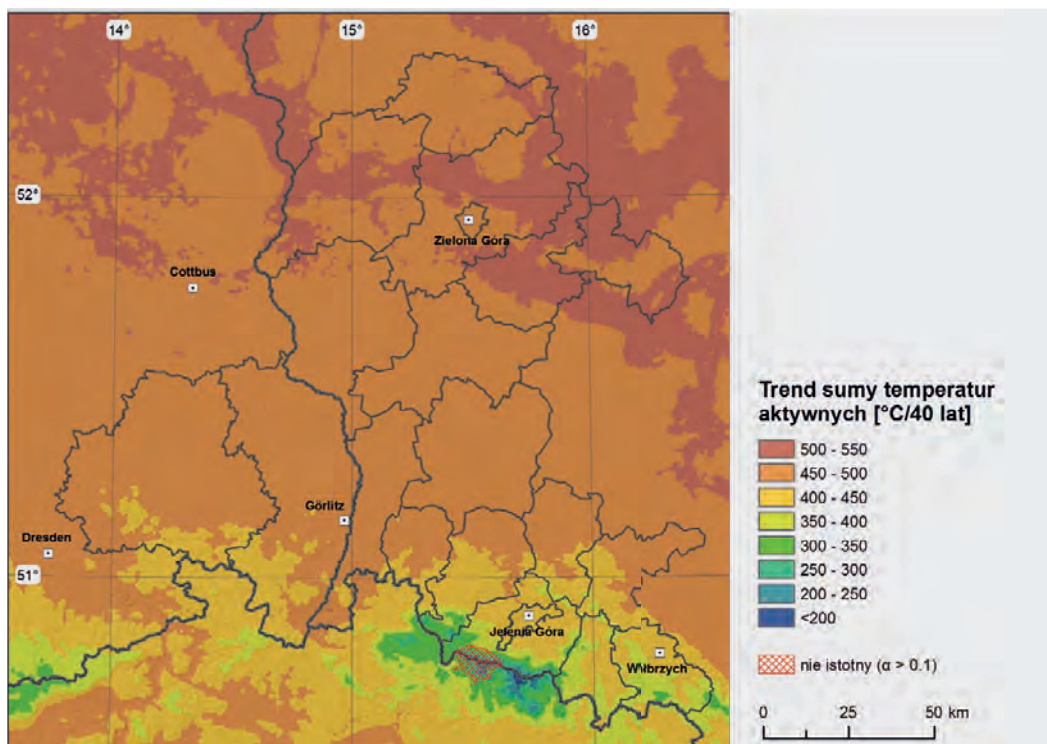
Przestrzenny rozkład SAT dla dwóch lat skrajnych, tj. 1980 (rok chłodny) i 2006 (ciepły; Ryc. 25) ilustruje dużą zmienność warunków termicznych, do której może dochodzić na tym samym obszarze z roku na rok. W roku 1980 warunki termiczne odpowiadały uprawie winorośli z odmianą wcześniej dojrzewającą. Z kolei w 2006 roku (największe SAT w całym 40-leciu) na przeważającym obszarze domeny KLAPS, warunki umożliwiały masową produkcję wina z wykorzystaniem odmian późno dojrzewających.

Wskaźnik SAT charakteryzuje się pozytywnym i statystycznie istotnym trendem dla prawie całego obszaru analizy z wyjątkiem wschodniej części Gór Izerskich oraz skrajnie zachodnich partii Karkonoszy (brak istotności statystycznej dla poziomu ufności 0,1). Podobnie do rezultatu uzyskanego dla wskaźnika GDD, także SAT wykazuje bardzo słaby trend wzrostowy w partiach grzbietowych Sudetów i Rudaw (281 SAT/40 lat). Jest on ponad dwukrotnie większy poza górami (496 SAT/40 lat; Ryc. 26). Jedną z możliwych przyczyn jest to, że większość stacji zlokalizowanych na terenie nizinnym znajduje się w mniejszej lub większej odległości od terenów zurbanizowanych i nasilającego się oddziaływania miejskiej wyspy ciepła. Stacje górskie są natomiast poza takimi wpływami i pokazują zmiany, które są bardziej reprezentatywne w szerszej skali. Ponadto w stacjach nizinnych dobowe minimum temperatury wzrasta we wszystkich sezonach, podczas gdy maksymalna temperatura dobową wzrasta głównie jesienią. W stacjach górskich pozytywny trend dla temperatury minimalnej jest słabszy niż na

Ryc. 25

Suma temperatur aktywnej dla domeny projektu KLAPS w latach ekstremalnych: 1980 (jeden z najchłodniejszych, mapa górna) i 2006 (jeden z najcieplejszych, mapa dolna)





Ryc. 26

Bezwzględna wielkość trendu SAT w wieloletnim okresie 1971–2010 oraz jego istotność statystyczna

terenach nizinnych i pojawia się głównie w czasie zimy i wiosny. Te zależności obrazują jak dokonujący się wzrost znaczenia cyrkulacji oceanicznej może w różnym stopniu modyfikować warunki klimatyczne na tak małym obszarze domeny projektu KLAPS.

Uzyskane wyniki dla wskaźnika SAT wskazują, że w ciągu ostatnich 40 lat warunki termiczne uprawy winorośli podlegają systematycznej poprawie. To powoduje stopniowy wzrost potencjału upraw winorośli. Dalsze utrzymanie się tego trendu doprowadziłoby do wzrostu wskaźnika SAT do poziomu powyżej 3000, co oznaczałoby możliwość prowadzenia upraw winorośli z odmianami bardzo późno dojrzewającymi.

Wskaźnik hydrotermiczny Selianinowa (HTC)

Wartości wskaźnika HTC uśrednione dla okresu 1971–2010 silnie zależą od wysokości bezwzględnej. Sezonowe minimum HTC na stacjach położonych w regionie nizinnym wyniosło średnio 0.84, podczas gdy w regionie grzbietów górskich 2.62 (Tabela 20).

Podczas analizowanego okresu minimalne sezonowe wartości HTC zmieniały się w bardzo szerokim zakresie od 0.13 (Zielona Góra w 2008 r.) do 9.01 (Śnieżka w 1974 r.) wskazując odpowiednio na warunki skrajnie suche i skrajnie wilgotne. Warunki charakterystyczne dla suszy – tzn. że na co najmniej jednej stacji zanotowano HTC poniżej 0.5 – wystąpiły w 20 sezonach wegetacyjnych (1975–76, 1979–81, 1983, 1985, 1988–90, 1992–93, 1998–2003, 2006 i 2008) podczas gdy w sezonach pozostałych takich warunków nie stwierdzono. Zarówno warunki najsuchsze jak i najbardziej wil-

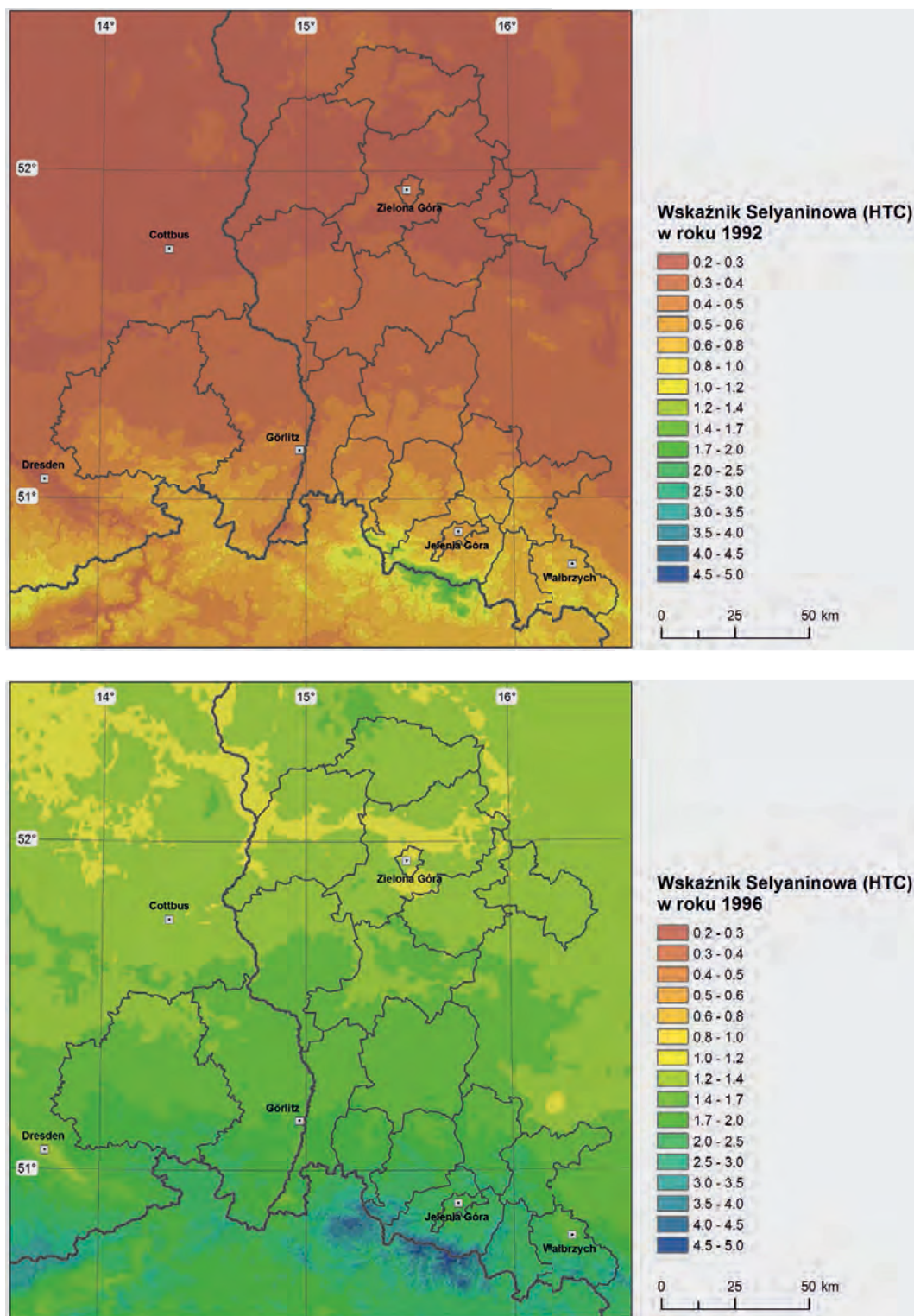
Przedział wysokościowy	Wysokość [m n.p.m.]	Przeciętne sezonowe minimum HTC
Niziny	< 150	0.84
Równiny faliste	150–350	0.98
Pogórza	350–650	1.28
Góry	>= 650	2.62

Tabela 20

Przeciętne wartości minimów sezonowych HTC w okresie 1971–2010

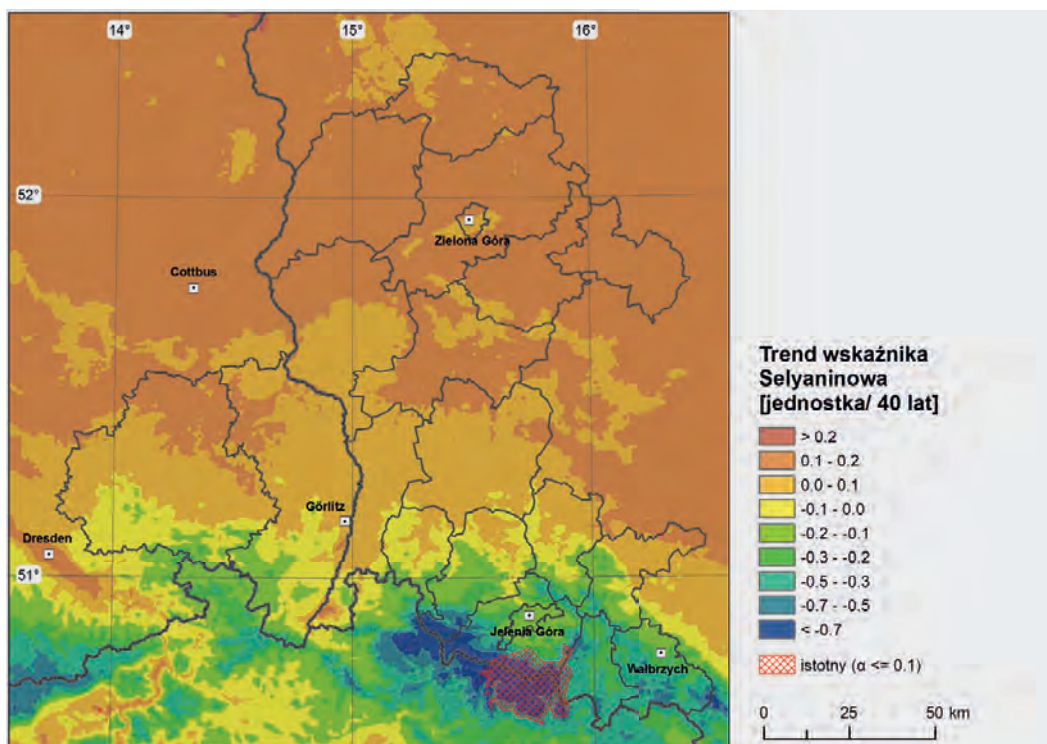
Ryc. 27

Wartości najniższego
sezonowego wskaźnika
HTC w roku suchym (góra)
i mokrym (dół)



gotne wystąpiły w środkowej części analizowanego okresu tzn. w 1992 r. (12 stacji z suszą, HTC poniżej 0.5) i w 1996 r., gdy najniższe sezonowe wartości HTC były większe niż 1.0 na każdej ze stacji (Ryc. 27).

Analiza trendu przeprowadzona dla całego wielolecia (Ryc. 28) pokazała lekko wzrastające wartości HTC w położonym na północy terenie nizinnym przy trendzie absolutnym poniżej 0.24. Jeszcze słabszy był trend dodatni lub brak trendu w regio-



Ryc. 28
Trend absolutny
wskaźnika HTC w latach
1971–2010 i jego istotność
statystyczna

nie równin falistych, słaby trend ujemny w regionie pogórza oraz wyraźny trend malejący w piętrze górskim, co najlepiej widoczne było w najwyższych partiach Sudetów z trendem absolutnym równym -1.53 na Śnieżce. Jednak na zdecydowanej większości obszaru stwierdzony trend nie był istotny statystycznie przy poziomie istotności 0.1 (Ryc. 28; należy zwrócić uwagę, że obszary o trendzie istotnym są na mapie zaznaczone na czerwono). Jedyny wyjątek stanowią najwyższe partie gór w pobliżu Śnieżki obejmujące mniej niż 1% całej domeny. Takie wyniki nie pozwalają na stwierdzenie na obszarze projektu jakiegokolwiek konsekwentnej tendencji wskaźnika Selyaninowa w czasie.

Podobny rozkład przestrzenny wskaźnika HTC wyłania się z wszystkich 40 map dla kolejnych lat. Typowy rozkład zawiera bardziej suche warunki w części nizinnej i bardziej wilgotne w górskiej części obszaru. Takie zróżnicowanie przestrzenne jest oczywiste, jeśli wziąć pod uwagę, że na terenach wyżej położonych występuje obniżona temperatura, a opady są podwyższone. Sezonowe minimum HTC uśrednione dla całego analizowanego okresu 1971–2010 było najniższe (0.79) na stacji Lindenberg położonej w regionie nizinnej a największe (3.88) na Śnieżce reprezentującej najwyższe pasmo górskie w całym obszarze projektu.

Warunki bioklimatyczne

Wskaźniki biotermiczne

Wskaźnik UTCI. Średnie roczne wartości wskaźnika UTCI w obszarze nizinnym badań projektu wynoszą od 6.1°C w Görlitz do 10.8°C w Słubicach i są równoznaczne z obciążeniami z klasy „braku obciążeń cieplnych” i „łagodnego stresu zimna”. W położonym wyżej Zinnwald średnia roczna wartość UTCI wynosi -1.6°C , odpowiada „umiarkowanemu stresowi zimna”. Znacznie mniejsze wartości UTCI są notowane na Śnieżce, jednakże stacja ta nie została uwzględniona w analizie dotyczącej średnich wartości UTCI, z uwagi na fakt, że w przypadku warunków pogodowych odznaczających się prędkością wiatru powyżej 20 m s^{-1} notowane są nietypowe wartości UTCI (Novák 2011). W przypadku Śnieżki tego typu warunki są obserwowane bardzo często, zwłaszcza w czasie sezonu chłodnego.

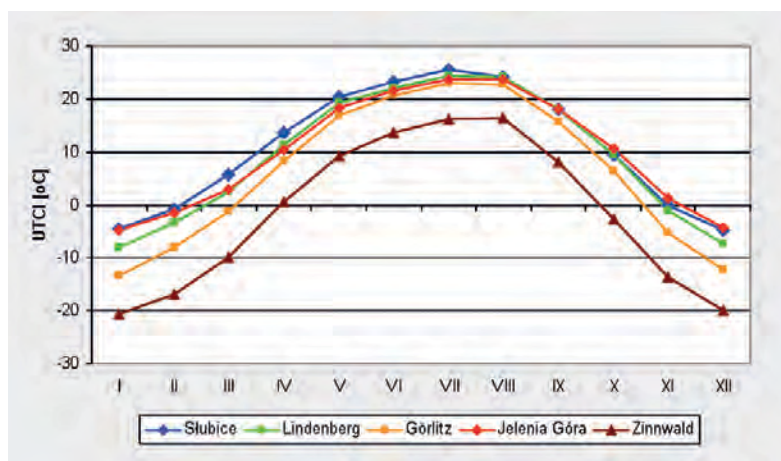
W przypadku średnich miesięcznych wartości UTCI, największe natężenie stresu zimna notowane jest w styczniu i grudniu. Wartości UTCI w tych miesiącach wahają się od około -4.5°C („umiarkowany stres chłodu”) w Słubicach do -20°C w Zinnwald („silny stres zimna”). Najwyższe wartości UTCI obserwowane są w lipcu (niziny) i sierpniu (góry). W przypadku niżej położonych obszarów średnie wartości UTCI w okresie letnim są równoznaczne z „brakiem

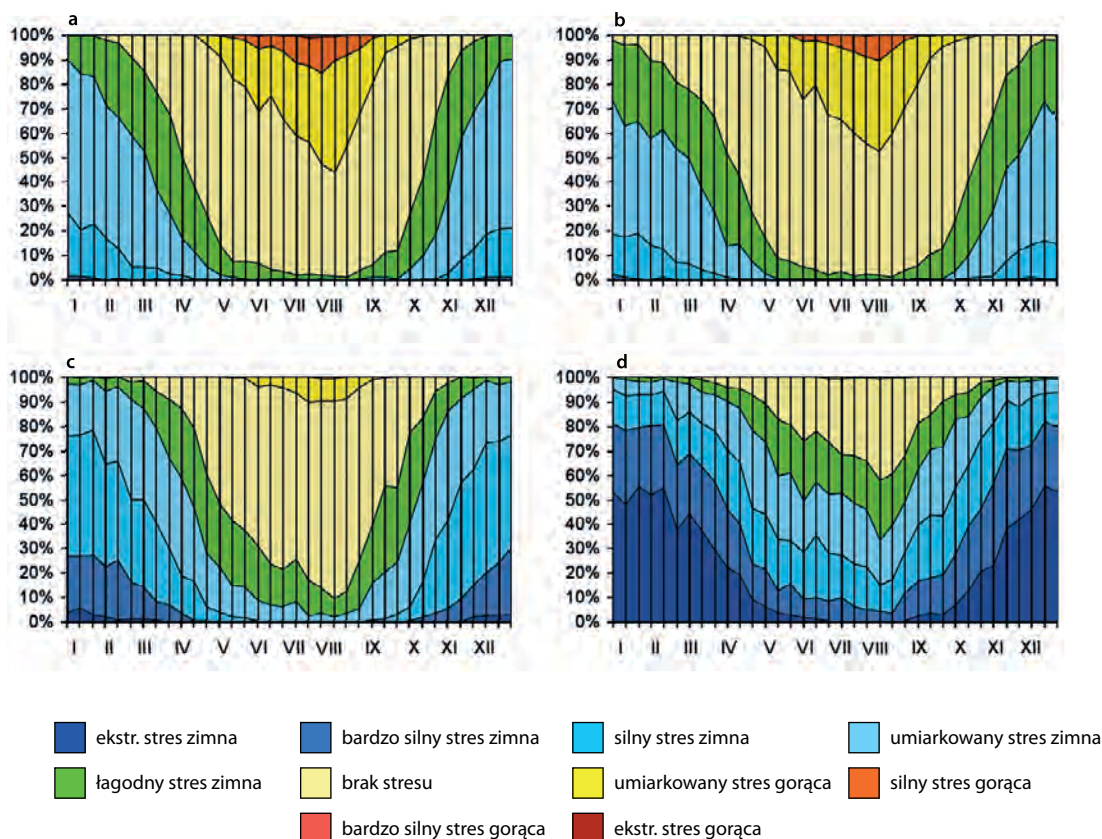
obciążeń cieplnych” i wynoszą 20–26 °C. W Zinnwald średnie wartości UTCI w okresie lata są mniejsze – wahają się od 13,7 °C w czerwcu do 16,6 °C. W sierpniu, jednakże wciąż odpowiadają klasie „braku obciążeń cieplnych” (Ryc. 29).

Na poniższych wykresach przedstawione zostały częstości występowania dni z poszczególnymi klasami obciążeń cieplnych, widoczne jest ich znaczne zróżnicowanie czasowe i przestrzenne w obrębie regionu badań (Ryc. 30). Na nizinach (np. w Lindenbergu) i na przedpolu Karkonoszy (Jelenia Góra) w czasie sezonu chłodnego przeważają obciążenia cieplne związane z „umiarkowanym stresem zimna”. „Silny stres zimna” obserwowany jest w czasie 15–30 % dni. W okresie lata pojawiać się mogą dni ze stresem gorąca. Największa liczba dni z „umiarkowanym stresem ciepła” jest obserwowana w pierwszej dekadzie sierpnia, kiedy stanowią one ponad 40 % dni. Dni z „bardzo silnym stresem ciepła” osiągają częstość 10–15 %, zaś „nieznośny stres ciepła” pojawia się sporadycznie, głównie w sierpniu. Tego typu struktura obciążeń cieplnych jest typowa dla niżej położonych obszarów. Podobne wyniki dotyczące przebiegu dni z poszczególnymi obciążeniami cieplnymi zostały uzyskane również dla innych regionów nizinnych (LINDNER, 2011).

Na terenach położonych na większej wysokości obserwowane są gorsze warunki pod względem obciążeń cieplnych. W Zinnwald liczba dni z „brakiem obciążeń cieplnych” w półroczu ciepłym jest wciąż wysoka, jednakże znacznie mniej korzystne warunki obserwowane są zimą, kiedy wzrasta częstość występowania obciążeń z klas „silnego”, „bardzo silnego” i „nieznośnego stresu zimna”. Najgorszymi warunkami pod względem obciążeń cieplnych liczonych według UTCI odznacza się Śnieżka. W półroczu ciepłym liczba dni z brakiem obciążeń spada do około 40 %, przy równoczesnym wzroście frekwencji warunków odznaczających się stresem zimna (od „umiarkowanego” do nawet „nieznośnego stresu zimna”). Najbardziej charakterystyczną cechą Śnieżki jest duża liczba dni z „nieznośnym stresem zimna” w całym półroczu chłodnym. Jest to spowodowane głównie bardzo niskimi wartościami TT oraz wysoką FF, co sprawia, że tego typu warunki diametralnie różnią się od obserwowanych dla położonej na podobnej wysokości Hali Gąsienicowej w Tatrach (BŁAŻEJCZYK I KUNERT, 2010). W tym przypadku należy podkreślić duże znaczenie ekspozycji oraz innych warunki lokalnych na kształtowanie się obciążeń cieplnych organizmu.

Ryc. 29
Średnie miesięczne
wartości UTCI dla
wybranych stacji
meteorologicznych dla lat
1971–2010

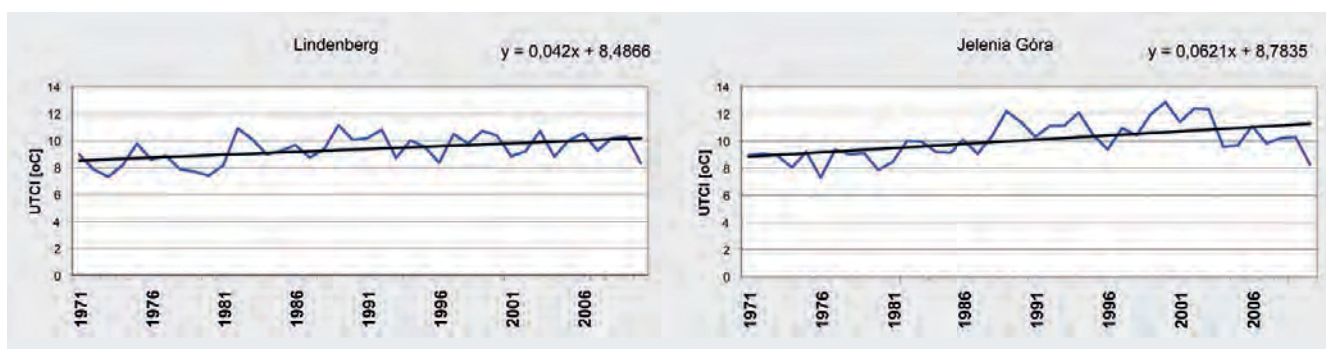




Ryc. 30
Częstość występowania dni z poszczególnymi klasami obciążeń cieplnych w poszczególnych miesiącach, na podstawie wartości UTCI dla stacji: Lindenberg (a), Jelenia Góra (b), Zinnwald (c) i Śnieżka (d) w okresie 1971–2010

W przypadku zróżnicowania wskaźnika UTCI w latach 1971–2010, przebieg jego wartości w tym okresie cechuje pozytywny, istotny statystycznie trend ($\alpha < 0.01$ dla Lindenbergu i Jeleniej Góry). Najwyższa średnia roczna wartość UTCI w Lindenbergu została odnotowana w 1989 roku, podczas gdy w Jeleniej Górze najcieplejszym okresem

były lata 2000 i 2002, głównie z uwagi na wysokie wartości temperatury powietrza w tym czasie. Wzrost temperatury powietrza w omawianym czterdziestoleciu przyczynił się również w największym stopniu do tendencji rosnącej wartości wskaźnika UTCI (Ryc. 31).



Ryc. 31
Średnie roczne wartości UTCI w Lindenbergu i Jeleniej Górze w latach 1971–2010 i ich trend liniowy

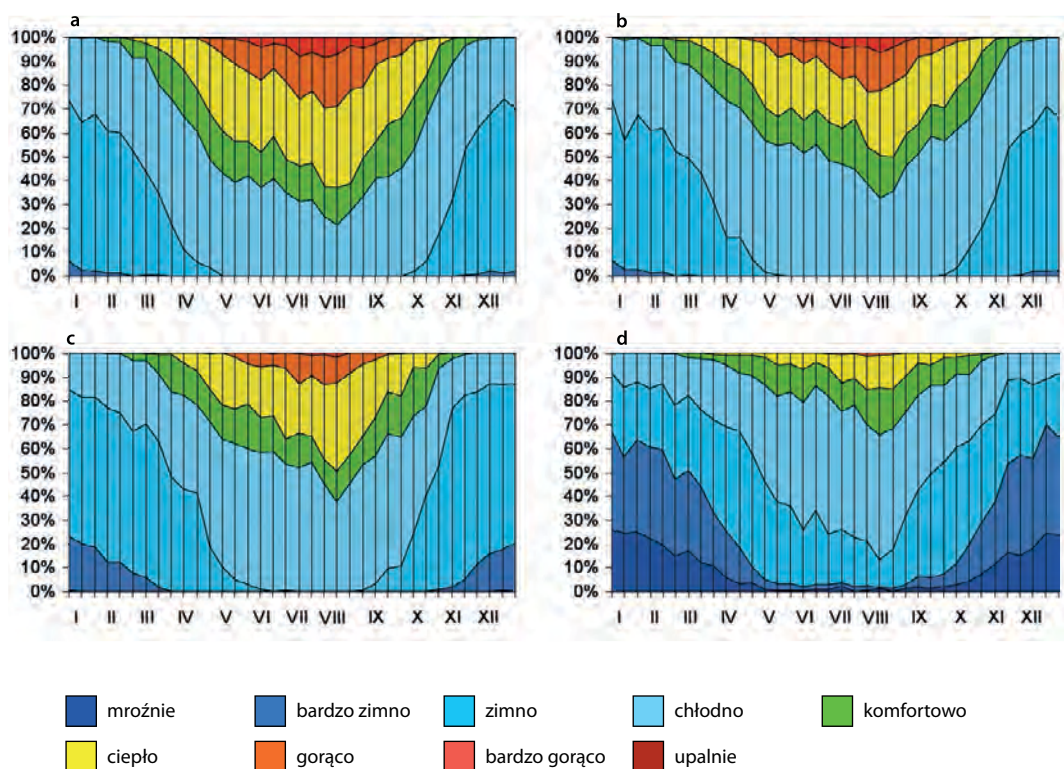
Wskaźnik STI. Wyniki dotyczące wskaźnika temperatury odczuwalnej (STI) są porównywalne z uzyskanymi dla UTCL. Można zauważyć znaczne zróżnicowanie pomiędzy nizinami oraz częścią górską regionu, odznaczającą się znaczną surowością warunków bioklimatycznych, obserwowaną zwłaszcza w szczytowej partii Karkonoszy (Ryc. 32).

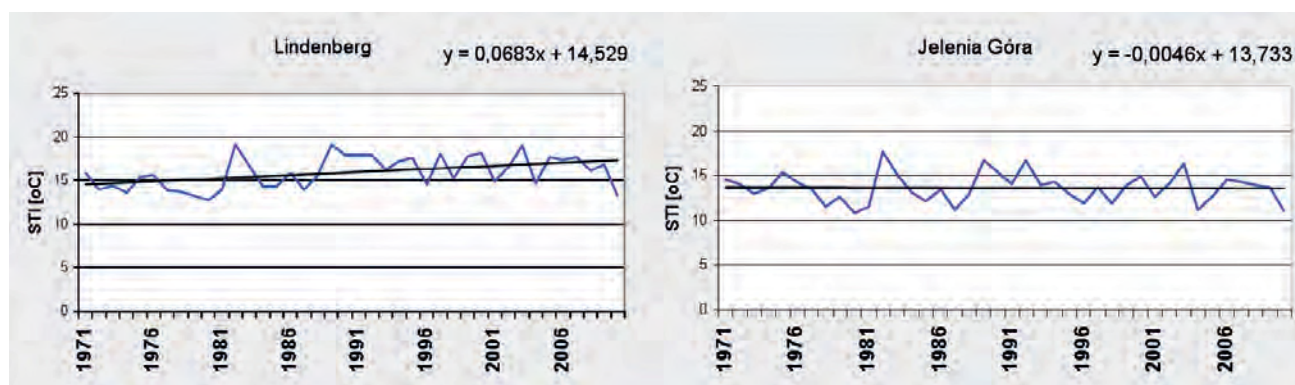
Wyniki dla części nizinnej regionu znajdują potwierdzenie również w rezultatach uzyskanych dla regionu Polski Środkowo-Zachodniej dla lat 1971–2006 (MAKOSZA i MICHALSKA 2010). Jednocześnie wyżej położone stacje charakteryzują się wysoką częstością występowania dni ze stresem zimna („zimno” i „bardzo zimno”), które w okresie zimy stanowią 60–70% ogólnej liczby dni. Częstość ta jest porównywalna z obserwowaną dla innych regionów górskich, np. dla Tatr (PELECH, 2013).

W przypadku zmienności czasowej wartości STI, dla Jeleniej Góry zaobserwowany został nieistotny statystycznie trend malejący ($\alpha \geq 0.2$). Dla reprezentującego część niziną Lindenbergu odnotowany został istotny statystycznie trend rosnący ($\alpha < 0.05$). Podobnie jak w przypadku STI, tendencje zmian UTCL są spowodowane głównie zmiennością temperatury powietrza. Pomimo zmienności wartości STI, jego średnie roczne wartości wciąż odpowiadają odczuciom cieplnym z klasy „chłodno” i nie przekraczają progu 22.5 °C w żadnym z rozpatrywanych lat (Ryc. 33).

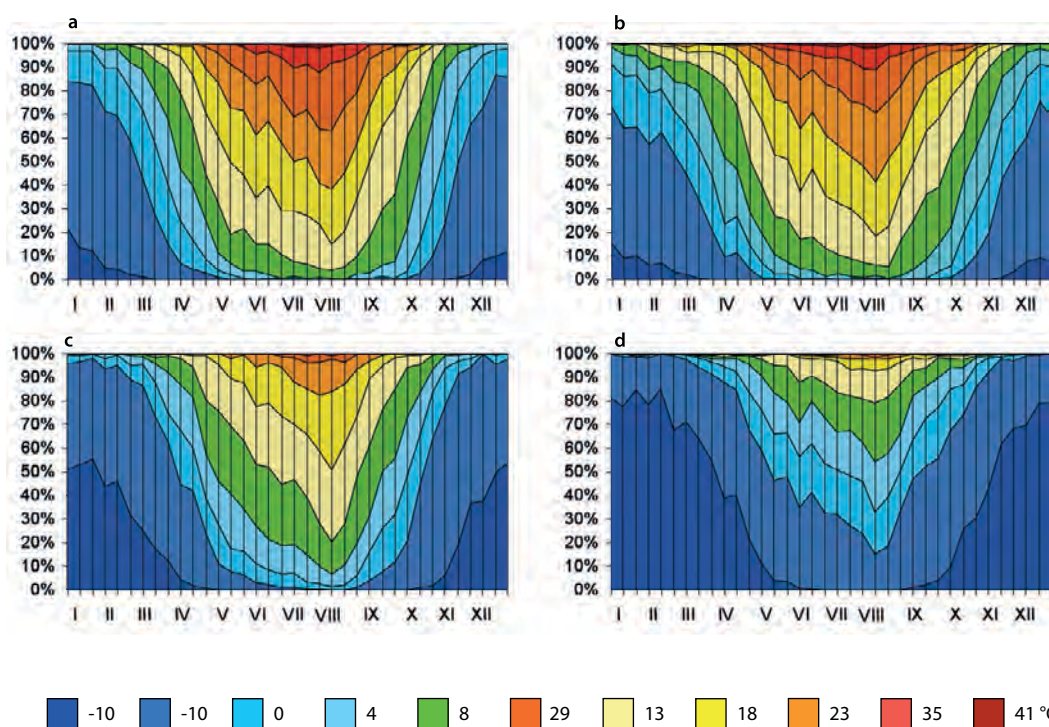
Podobnie jak w przypadku wyżej omówionych wskaźników, wskaźnik PET wykazuje zróżnicowanie w zależności od wysokości bezwzględnej (Ryc. 34). Częstość występowania odczuć cieplnych określanych według PET została omówiona w rozdziale poświęconym analizom CTIS.

Ryc. 32
Częstość występowania dni z poszczególnymi klasami odczuć cieplnych w poszczególnych miesiącach, na podstawie wartości STI dla stacji: Lindenberg (a), Jelenia Góra (b), Zinnwald (c) i Śnieżka (d) w okresie 1971–2010





Ryc. 33
Średnie roczne wartości
STI w Lindenbergu i
Jeleniej Górze w latach
1971–2010 i ich trend
liniowy



Ryc. 34
Częstość występowania
dni z poszczególnymi
klasami odczuć cieplnych
w poszczególnych
miesiącach, na podstawie
wartości PET dla stacji:
Lindenberg (a), Jelenia
Góra (b), Zinnwald (c)
i Śnieżka (d) w okresie
1971–2010

Wskaźnik PET. Zróżnicowanie wartości wskaźnika temperatury fizjologiczno-ekwiwalentnej (PET) w okresie 1971–2010 charakteryzuje ich łagodny, istotny statystycznie wzrost (Ryc. 35). Najwyższe roczne wartości PET są ściśle związane z wysoką temperaturą powietrza w tym samym czasie i były obserwowane w latach 1989 i 1992 (Lindenberg) oraz w roku 1994 (Jelenia Góra).

Wskaźniki turystyczne

Wskaźnik TCI. W regionie badań projektu wartości wskaźnika turystyczno-klimatycznego (TCI) odznaczają się znacznym zróżnicowaniem. Wartości wskaźnika wahają się od 12 (warunki „skrajnie niekorzystne”) do 81 (warunki „doskonałe”). Najlepsze warunki obserwowane są w niższej położonych obszarach. W Cottbus, Lindenbergu i Legnicy wskaźnik osiąga lub przekracza wartość 80, co jest równoznaczne z warunkami „doskonałymi”. Są one spowodowane przede wszystkim wysokimi w okresie lata wartościami wskaźników cząstkowych związanych z temperaturą i wilgotnością względną powietrza oraz osłonecznieniem (Tabela 21).

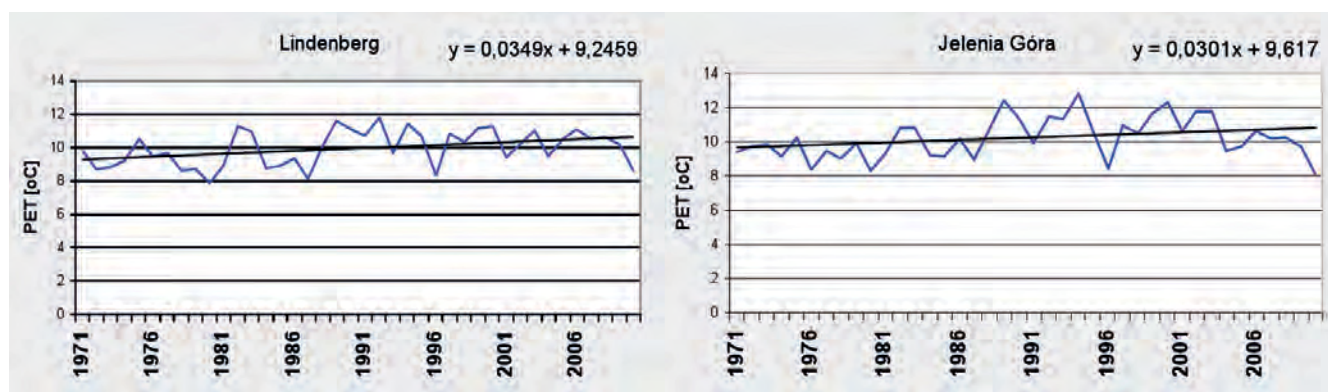
Wartości TCI w okresie wiosny i jesieni są niższe i kształtują się w klasie warunków „umiarkowanych” oraz „dobrych”, a w marcu i listopadzie nawet „mało korzystnych”. W zimie najczęściej notowane są warunki „niekorzystne”.

Użyteczność warunków pogodowych dla turystyki zmniejsza się wraz z wysokością bezwzględną. W Zinnwald klasy użyteczności różnicują się od

warunków „bardzo niekorzystnych” zimą do „umiarkowanych” w okresie maj-sierpień. Na Śnieżce natomiast, w okresie zimy obserwowane są warunki „skrajnie niekorzystne” i „bardzo niekorzystne”, zaś latem warunki z klasy „mało korzystnych”. Gorsze w porównaniu do nizin warunki w obszarach górskich spowodowane są głównie niskimi TT, wysokimi wartościami RF, FF, RR oraz gorszymi warunkami solarnymi.

Zgodnie z klasyfikacją regionalną, opartą na wskaźniku TCI (SCOTT & McBOYLE, 2001), niżej położone obszary omawianego regionu można zakwalifikować do terenów odznaczających dobrymi warunkami w okresie lata („summer peak”), zaś regiony górskie jako tereny o niekorzystnych warunkach klimatycznych dla turystyki w ciągu całego roku („poor conditions”). Należy jedna pamiętać, że wskaźnik TCI nie uwzględnia pokrywy śnieżnej, w związku z czym może być tylko wykorzystany do oceny pogodowego potencjału rekreacyjnego dla form aktywności nie związanych ze sportami zimowymi.

Wskaźnik WSI. W przypadku wskaźnika użyteczności warunków pogodowych dla turystyki i rekreacji (WSI) użyteczność warunków pogodowych dla *kąpiei słonecznych* jest ściśle uzależniona od NN. Dni słoneczne, w których średnie dobowe NN nie przekracza 2/8, najczęściej pojawiają się w okresach kwiecień-maj i sierpień-październik. Najmniejsza ich liczba obserwowana jest w listopadzie, jednakże uwagę zwraca również stosunkowo mała częstość występowania takich dni w lipcu. Jest to



Ryc. 35
Średnie roczne wartości
PET w Lindenbergu i
Jeleniej Górze w latach
1971–2010 i ich trend
liniowy

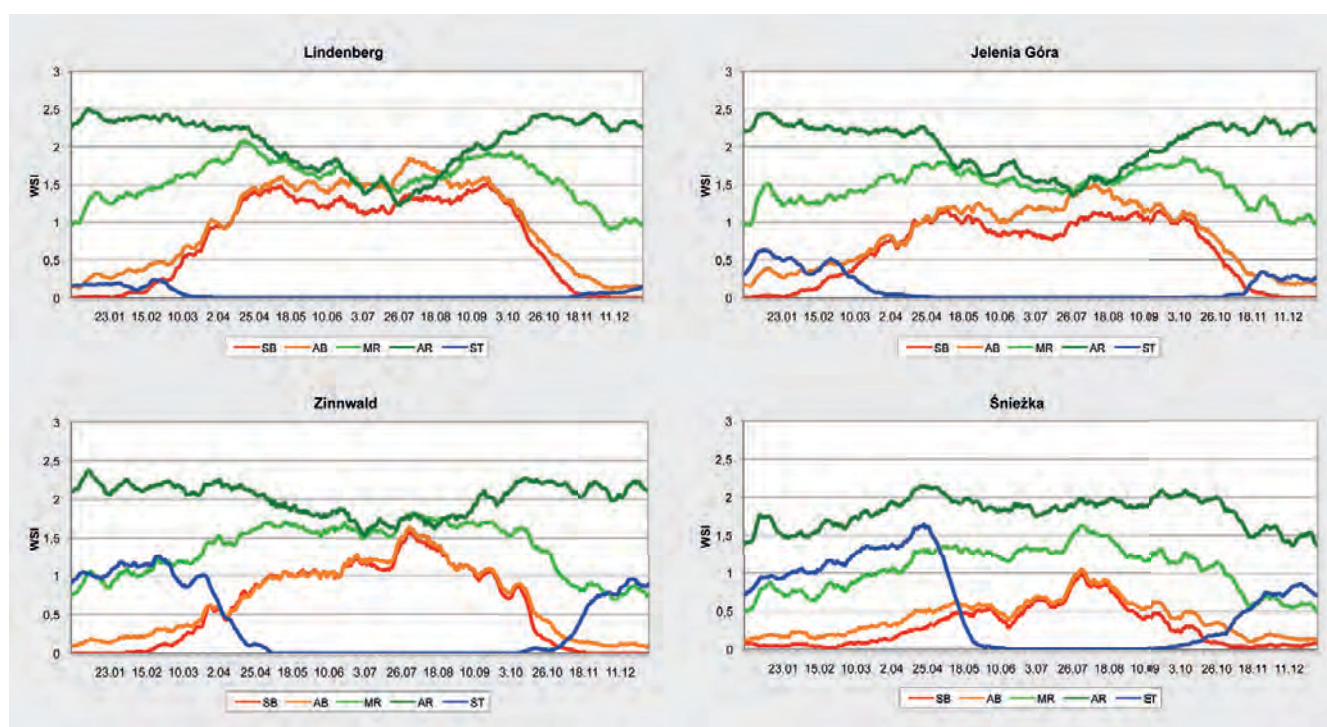


Miesiąc/Stacja	SLU	COT	LIN	LEG	ZG	DRE	KUB	GOR	JG	ZIN	SN
I	39	39	38	40	38	41	37	37	41	27	12
II	41	41	41	43	41	41	41	40	41	31	12
III	47	47	47	49	47	47	45	44	47	37	26
IV	56	56	56	56	56	56	54	56	54	47	28
V	65	71	67	67	63	63	61	63	59	52	37
VI	77	81	80	76	75	72	74	74	67	51	38
VII	77	81	80	78	79	76	76	78	71	53	36
VIII	77	81	80	80	79	76	74	77	73	53	44
IX	64	67	65	67	58	61	59	63	56	49	37
X	51	52	52	52	53	50	52	54	53	42	33
XI	44	43	43	43	39	43	41	42	44	32	22
XII	38	37	37	41	37	37	37	36	39	27	20

■ aktywność niemożliwa ■ war. skrajnie niekorzystne ■ war. bardzo niekorzystne ■ war. niekorzystne
 ■ war. mało korzystne ■ war. umiarkowane ■ war. dobre ■ war. bardzo dobre
 ■ war. doskonałe ■ war. idealnie

Tabela 21

Wartości TCI oraz użyteczność warunków klimatycznych na podstawie danych z wybranych stacji meteorologicznych dla lat 1971–2010 (SLU – Słubice, COT – Cottbus, LIN – Lindenberg, LEG – Legnica, ZG – Zielona Góra, DRE – Dresden, KUB – Kubschütz-Bautzen, GOR – Görlitz, JG – Jelenia Góra, ZIN – Zinnwald, SN – Śnieżka)



Ryc. 36

Przebieg roczny wartości wskaźnika WSI dla kąpiei słonecznych (SB), kąpiei powietrznych (AB), łagodnych (MR) i intensywnych (AR) form rekreacji oraz dla turystyki narciarskiej (ST) dla wybranych stacji meteorologicznych dla lat 1971–2010

spowodowane wzrostem częstości występowania zachodniej, cyklonalnej cyrkulacji atmosferycznej, która powoduje powstawanie typów pogody ograniczających ich możliwość wykorzystania dla kąpieli słonecznych w tym miesiącu. Użyteczność warunków pogodowych dla tej formy klimatoterapii jest również ograniczona w okresie zimowym. Z kolei w okresie lata negatywnie oddziałuje na nią zwiększona częstość występowania dni ze stresem gorąca oraz dni parnych, jak również stosunkowo wysokie zachmurzenie obserwowane w czerwcu i lipcu. W najwyższych piętrach wysokościowych regionu (Zinnwald, Śnieżka), wartości wskaźnika WSI dla kąpieli słonecznych są znacznie mniejsze. Pomimo zwiększonej liczby dni słonecznych w okresie zimowym w porównaniu do nizin, najwyższe partie gór odznaczają się mniejszą użytecznością warunków pogodowych dla tej formy klimatoterapii. W odróżnieniu od nizin, obszary górskie nie są podatne na występowanie stresu gorąca i parności, w związku z tym najlepsze warunki dla tej formy rekreacji są obserwowane w lecie, zwłaszcza w sierpniu, kiedy notowane są mniejsze wartości FF i RF przy równocześnie dobrych warunkach termicznych i solarnych (Ryc. 36).

Dla *kąpieli powietrznych* (klimatoterapia), najlepsze warunki w całym regionie obserwowane są w okresie maj-wrzesień, z maksimum przypadającym na sierpień. W pozostałych dniach okresu letniego użyteczność pogody jest obniżona wskutek znacznej częstości RR i dużego NN. Zdecydowanie najgorsze warunki są obserwowane na Śnieżce, gdzie wartości WSI w okresie lata lokują się w klasie warunków „umiarkowanie korzystnych”.

W przypadku *łagodnych form rekreacji* (np. spaceru) charakteryzują się one zupełnie odmiennym przebiegiem rocznym WSI w porównaniu do omówionych form klimatoterapii. Najlepsze warunki dla tych form aktywności w niższej położonych obszarach notowane są w okresach kwiecień-maj i wrzesień-październik. Na niektórych stacjach wskaźnik WSI przekracza wartość 2.0 (warunki „bardzo korzystne”). Podczas półrocza chłodnego duża częstość RR, silny wiatr oraz niskie wartości TT ograniczają użyteczność warunków pogodowych dla tych form. Natomiast w okresie letnim negatywnie na nie oddziałuje stres gorąca. Dlatego też w regionach górskich (Zinnwald, Śnieżka), odznaczających się niską częstością lub brakiem stresu gorąca, użyteczność warunków pogodowych dla łagodnych form rekreacji jest nawet większa niż obserwowana na nizinach.

Najważniejszą cechą przebiegu WSI dla *intensywnych form rekreacji* (np. turystyka rowerowa, trekking) jest fakt, że największa użyteczność warunków pogodowych przypada na półrocze chłodne (warunki „bardzo korzystne”). Ponieważ intensywne formy rekreacji są związane ze zwiększonym metabolizmem, stres zimna nie odgrywa tutaj tak ważnej roli jak w przypadku wcześniej omówionych form. Wyjątkiem są jedynie najwyższe partie Karkonoszy, gdzie duża intensywność stresu zimna w okresie chłodnym znacząco obniża użyteczność pogody dla tych form aktywności. W okresie od maja do połowy sierpnia wartości WSI są obniżone (warunki „korzystne”) wskutek pojawiania się stresu gorąca. Natomiast w górach (Śnieżka), z uwagi na brak stresu gorąca, najlepsze warunki pogodowe dla intensywnych form rekreacji są obserwowane w okresie letnim. W niektórych dniach wskaźnik WSI przekracza wartość 2.0 (warunki „bardzo korzystne”).

Formy aktywności związane z *turystyką i rekreacją narciarską* są ściśle uzależnione od SN. Z tego też względu użyteczność warunków pogodowych dla tej formy jest z reguły związana z wysokością bezwzględną. Aspekty dotyczące pokrywy śnieżnej zostały szerzej omówione w rozdziale poświęconym potencjałowi śnieżnemu.

Diagram CTIS. Jednym z najważniejszych narzędzi bioklimatycznych opracowanych w ostatnim czasie dla celów turystyki, jest diagram informacji klimatyczno-turystycznej Matzarakisa (2007). Uwzględnia on zarówno warunki biotermiczne (określane na podstawie wskaźnika PET) jak i częstość występowania poszczególnych typów pogody charakteryzowanych z wykorzystaniem różnych elementów meteorologicznych (NN, FF, RF, DD, RR, SN).

Podobnie jak w przypadku wyżej omówionych wskaźników związanych z turystyką, również i w świetle tej metody widoczna jest znaczna różnorodność warunków bioklimatycznych w regionie badań (Ryc. 37). Pod względem biotermicznym niżej położone obszary (np. Lindenberg) odznaczają się dość korzystnymi warunkami. W ciągu roku częstość występowania stresu gorąca ($PET > 35^{\circ}\text{C}$) jest niewielka, jednakże obserwowana jest duża frekwencja dni charakteryzujących się stresem zimna ($PET < 0^{\circ}\text{C}$) w okresie od listopada do marca. W przypadku dni z komfortem termicznym ($18^{\circ}\text{C} < PET < 29^{\circ}\text{C}$), pojawiają się one z reguły w okresie maj-wrzesień. Ich liczba maleje wraz ze wzrastającą wysokością. W Zinnwald tylko w okresie letnim częstość występowania dni z komfortem termicznym przekracza wartość 20%. Nato-

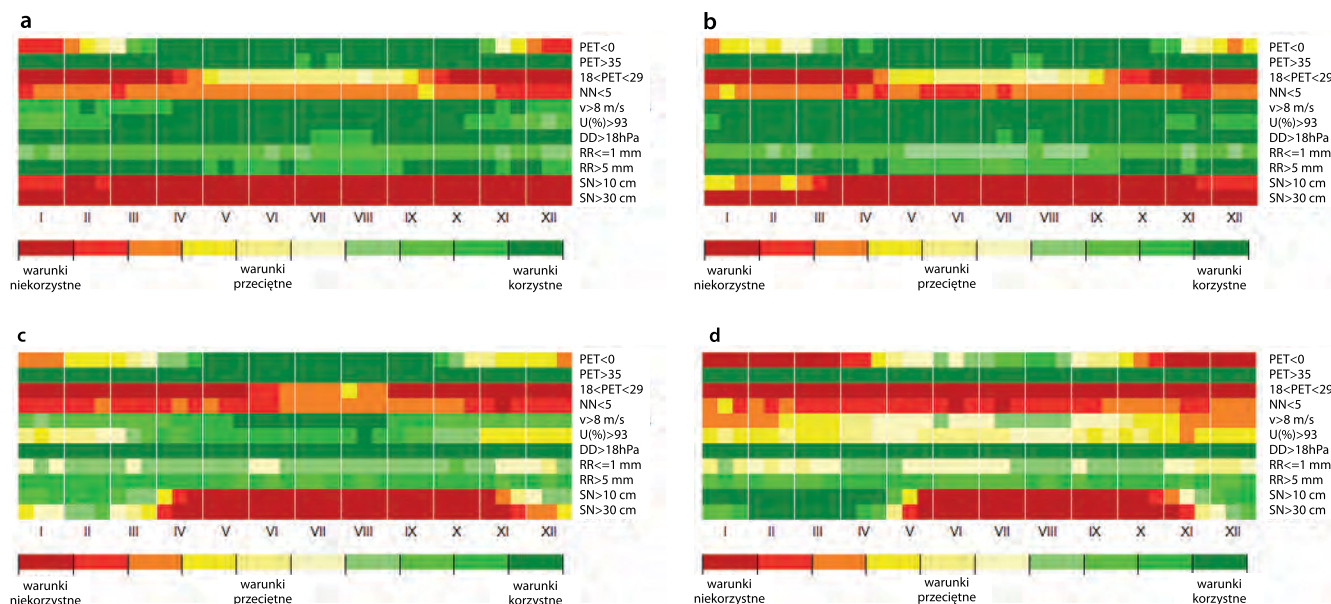


miast okres występowania dni ze stresem zimna jest dłuższy w porównaniu do nizin i zaczyna się już w październiku. Najgorsze warunki biotermiczne obserwowane są na Śnieżce. Liczba dni z komfortem termicznym przez cały rok nie przekracza 10%, podczas gdy bardzo często obserwowany jest stres zimna. Dwie pierwsze dekady sierpnia są jedynym okresem, w którym częstość występowania dni ze stresem zimna jest mniejsza niż 20%.

W przypadku typów pogody określanych na podstawie poszczególnych elementów meteorologicznych, niżej położone regiony odznaczają się dobrymi warunkami pogodowymi związanymi z FF, RF, DD i RR. Częstość występowania korzystnych dni z punktu widzenia tych kryteriów wynosi co najmniej 60% podczas wszystkich dekad, co jest porównywalne z wynikami uzyskanymi dla niższych pięter Sudetów Środkowych i Wschodnich (MISZUK i in. 2012). Nieco gorsze warunki są obserwowane dla NN, które jednak w niżej położonych piętrach wysokościowych cechują się z reguły niższymi wartościami w porównaniu do gór (z wyjątkiem okresu zimy, kiedy niższe NN jest notowane w najwyższych partiach gór). W tym przypadku największa liczba

dni z $NN < 5/8$ jest obserwowana zwykle w lecie, kiedy ich częstość przekracza 30–50%. Jest to wynik porównywalny z uzyskanymi dla niższych pięter Alp (MATZARAKIS i in. 2012). Obszary położone w wyższych piętrach wysokościowych są w większym stopniu narażone na występowanie surowych warunków pogodowych, zwłaszcza w półroczu chłodnym. Dni określane jako dni z mgłą ($U > 93\%$) oraz dni z RR pojawiają się tutaj znacznie częściej co znacząco obniża użyteczność pogody dla turystyki. Dodatkowo na Śnieżce obserwowana jest duża częstość występowania silnego wiatru. W zimie wiatr o tej prędkości pojawia się podczas 60% dni, co sprawia, że najwyższe piętra Karkonoszy są wyjątkowym regionem pod względem warunków wietrznych. Liczba dni z wiatrem silnym jest nawet większa niż w najwyższych piętrach Alp (Sonnblick), gdzie obserwowane są raczej korzystne warunki wietrzne (MATZARAKIS i in. 2012).

Pozostałe cechy pogody z punktu widzenia turystyki i rekreacji odznaczają się również zazwyczaj gorszymi warunkami (z wyjątkiem dni parnych) w porównaniu do niżej położonych obszarów.

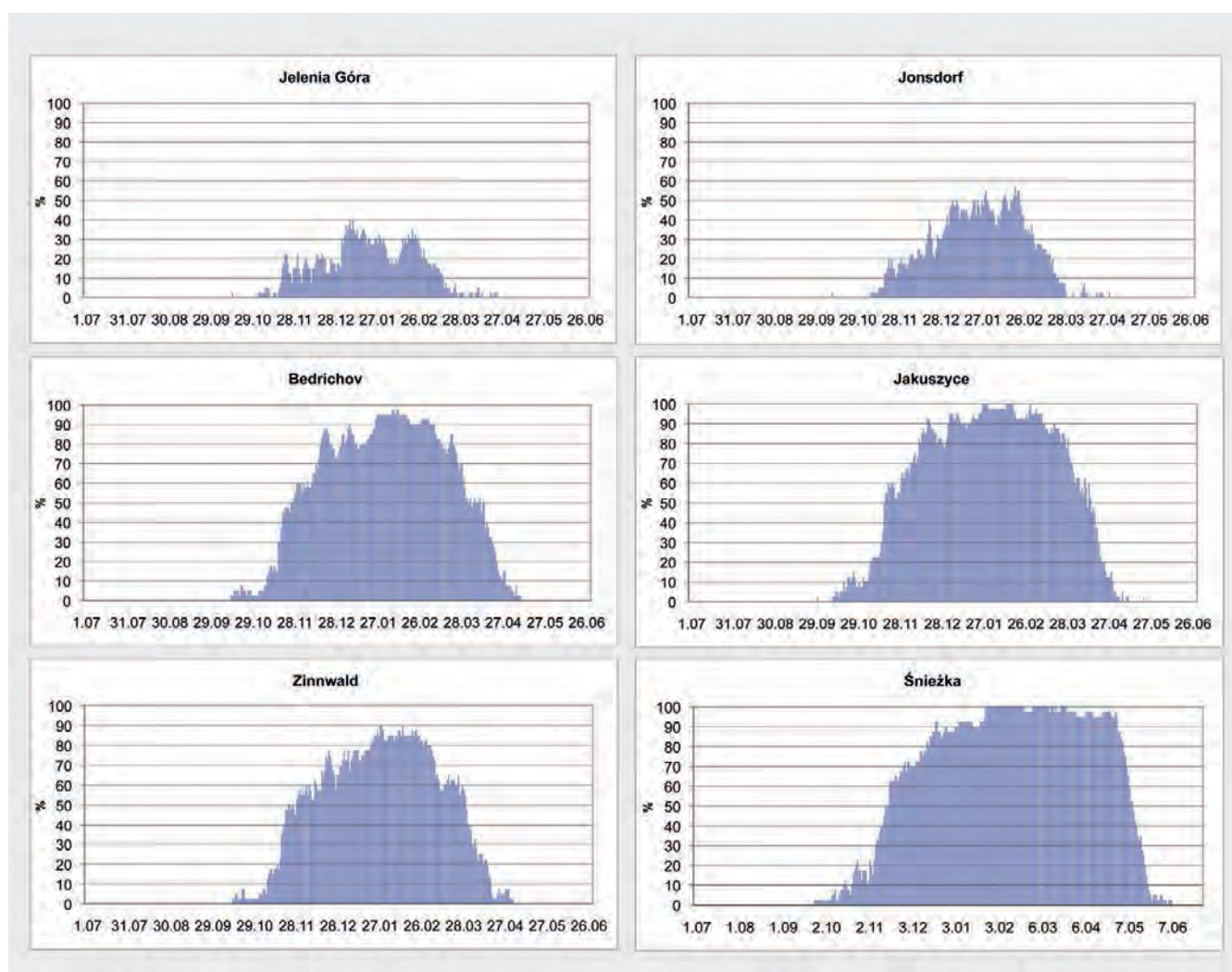


Ryc. 37
Ocena użyteczności warunków pogodowych na podstawie CTIS dla stacji: Lindenberg (a), Jelenia Góra (b), Zinnwald (c) i Śnieżka (d) w poszczególnych dekadach lat 1971–2010

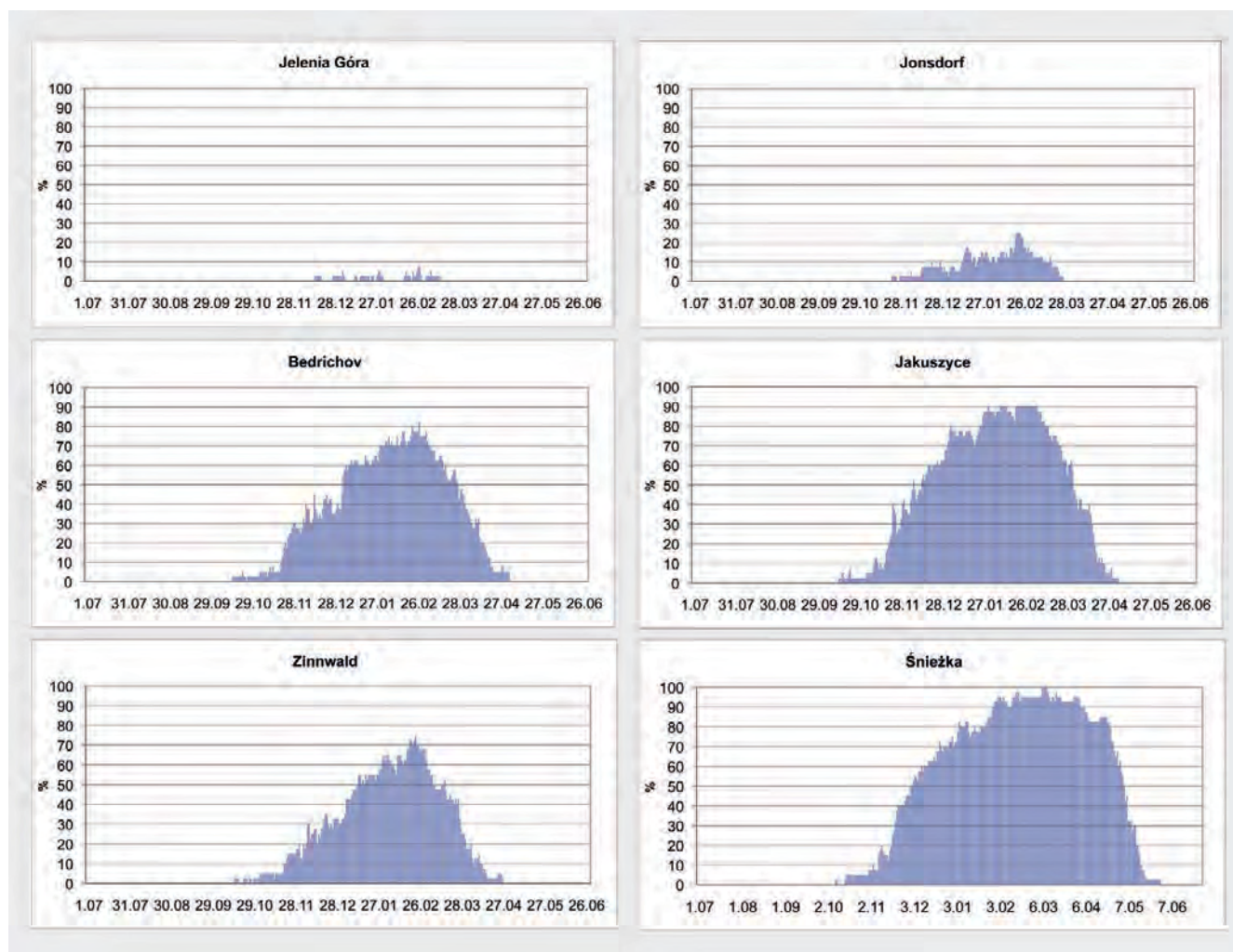
Potencjał śnieżny. Narciarstwo jest jednym z najpopularniejszych sportów zimowych. Górski charakter południowej części obszaru badań projektu KLAPS oraz specyficzne warunki klimatyczne sprawiają, że region ten odznacza się dużą użytecznością dla uprawiania sportów zimowych. Jednymi z najistotniejszych cech klimatu są tutaj wysokie sumy RR obserwowane w okresie zimy. Stosunek opadów letnich do zimowych w niektórych częściach Gór Izerskich może być nawet zbliżony do wartości 1.0 i jest znacznie mniejszy niż obserwowany w np. Sudetach Wschodnich. Tego rodzaju rozkład RR

przyczynia się do występowania dużej częstości SN, zwłaszcza w szczytowej części Karkonoszy i Górach Izerskich.

W kontekście warunków śnieżnych niezbędnych dla uprawiania narciarstwa biegowego ($SN > 10\text{cm}$) i zjazdowego ($SN > 30\text{ cm}$), najlepszymi warunkami odznaczają się najwyższe partie gór (Ryc. 38), jednakże w miarę dobre warunki, zwłaszcza dla uprawiania narciarstwa biegowego, są również notowane na przedgórzu. Dni z $SN > 10\text{ cm}$ w Jeleniej Górze pojawiają się najczęściej ($> 20\%$) od stycznia



Ryc. 38
Częstość występowania
pokrywy śnieżnej
($SN > 10\text{ cm}$) w
poszczególnych dniach
dla wybranych stacji
meteorologicznych
obszaru badań w latach
1971–2010



Ryc. 39
Częstość występowania
pokrywy śnieżnej
(SN>30 cm) w poszcze-
gólnych dniach dla
wybranych stacji
meteorologicznych
obszaru badań w latach
1971–2010

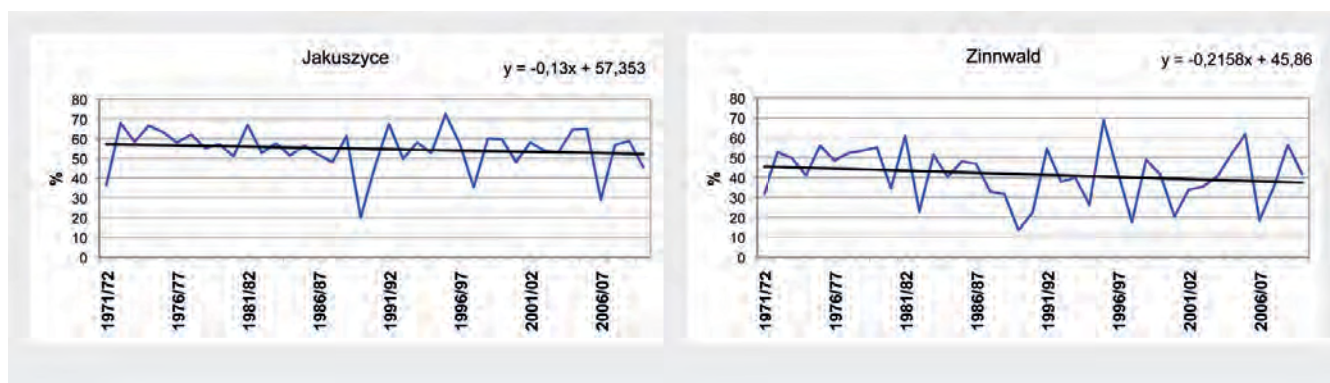
do początku marca, z maksimum obserwowanym w pierwszych dwóch dekadach stycznia (> 30%). W przypadku stacji Jonsdorf, położonej ponad 100 m wyżej niż Jelenia Góra, dni z SN > 10 cm są obserwowane od listopada do marca z maksimum przypadającym na styczeń i luty (40%, a dla niektórych dni nawet 50%). Ich częstość znacznie wzrasta w obszarach położonych na wysokości ponad 700 m n.p.m. i osiąga maksimum w okresie od trzeciej dekady stycznia do początku marca (> 80% dni dla Zinnwald i > 90% dla Bedrichova). W najwyższych piętrach Karkonoszy SN > 10 cm najczęściej pojawia się od stycznia do kwietnia (> 90%), osiągając nawet 100% w czasie większości dni od trzeciej dekady stycznia do drugiej dekady marca. Cechą charakterystyczną jest również bardzo wysoka częstość SN w Jakuszycach (860 m n.p.m), przy stosunkowo niedużej wysokości stacji. Czas trwania pokrywy śnieżnej jest tutaj porównywalny nawet z obserwowanym dla Śnieżki.

Dni z SN > 30 cm niemal w ogóle nie występują na przedgórzu (Ryc. 39). Na stacji Jonsdorf z kolei ich częstość przekracza 30% jedynie w pierwszych dniach trzeciej dekady lutego. Znacznie lepsze warunki są obserwowane na położonych wyżej stacjach Zinnwald i Bedrichov. Pokrywa śnieżna o tej wysokości pojawia się tutaj od października do końca kwietnia, z maksimum przypadającym na luty. Największa częstość występowania dni z SN > 30 cm notowana jest w Górach Izerskich (Jakuszyce) i Karkonoszach (Śnieżka), gdzie dni z SN > 30 cm obserwowane są od października do maja. W okresie od połowy grudnia do końca marca ich częstość występowania przekracza 50%, zaś maksimum przypada na luty i marzec (> 85% dni w Jakuszycach i > 90% na Śnieżce).

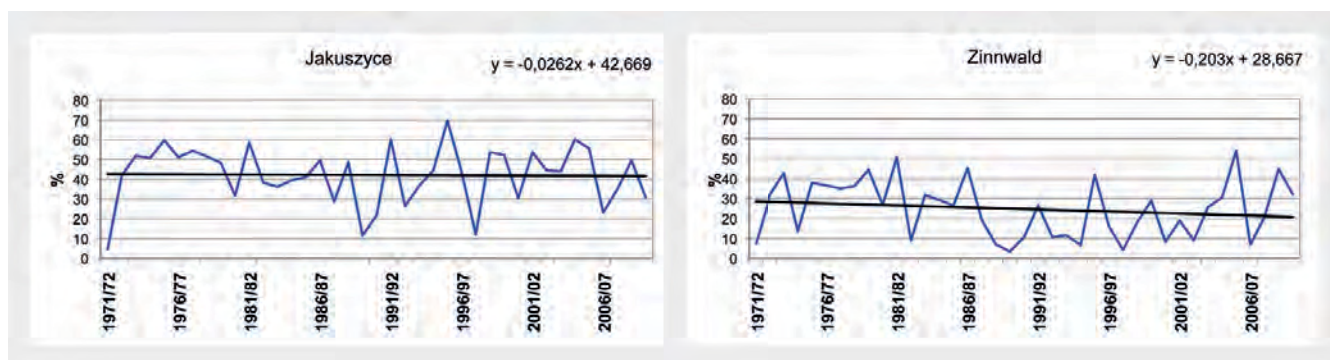
W przypadku oceny potencjału pogodowego dla narciarstwa, dokonywanej w oparciu o wskaźnik WSI, oprócz pokrywy śnieżnej uwzględniane są również warunki biotermiczne, RR oraz aspekt promieniowania słonecznego. Na podstawie wartości wskaźnika WSI, można stwierdzić, że niżej położone obszary cechują niezbyt korzystne warunki pogodowe dla narciarstwa. Znacznie lepsze warunki obserwowane są na stacji Zinnwald. „Umiarkowanie korzystne” i lepsze warunki notowane są tutaj od trzeciej dekady listopada do początku kwietnia, co jest porównywalne z wynikami uzyskanymi dla Karpat (BŁAŻEJCZYK I MATZARAKIS, 2007). Największe

wartości WSI notowane są w lutym, kiedy wartości WSI odpowiadają warunkom „korzystnym”. W szczytowych partiach gór turystykę narciarską można uprawiać od listopada do połowy maja, z najlepszymi warunkami notowanymi od marca do początku maja. W okresie tym wciąż zalega odpowiedniej wysokości SN a jednocześnie obserwowane są mniej surowe warunki w porównaniu do okresu zimowego.

W regionach górskich obszaru badań projektu częstość dni z SN > 10 cm wykazuje trend malejący dla lat 1971–2010 (Ryc. 40).



Ryc. 40
Zmienność i trend zmian
częstości występowania
dni z SN > 10 cm
(październik-maj) w
Jakuszycach i Zinnwald w
latach 1971–2010



Ryc. 41
Zmienność i trend zmian
częstości występowania
dni z SN > 30 cm
(październik-maj) w
Jakuszycach i Zinnwald w
latach 1971–2010



Tendencja spadkowa dla Rudaw (Zinnwald) jak i Gór Izerskich (Jakuszyce) jest również zauważalna w przypadku dni z $SN > 30$ cm (Ryc. 41). Zarówno w przypadku $SN > 10$ cm, jak i $SN > 30$ cm, są to trendy nieistotne statystycznie ($\alpha \geq 0.2$). Pokrywa śnieżna charakteryzują się dużą zmiennością międzysezonową (Ryc. 41). W latach 1971–2010 częstość występowania dni z $SN > 10$ cm w okresie październik-kwiecień różnicuje się w Zinnwald od 14% (1989/1990) do prawie 70% (1995/1996), podczas gdy w Jakuszycach waha się od 20% (1989/1990) do ponad 70% (1995/1996). W przypadku pokrywy śnieżnej użytecznej dla narciarstwa zjazdowego ($SN > 30$ cm), frekwencja wyniosła od 3–4% (1989/1990, 1997/1998) do ponad 50% (1981/1982, 2005/2006) w Zinnwald oraz od 4.5% (1971/1972) do 70% (1995/1996) w Jakuszycach.

Kalendarz użyteczności warunków pogodowych dla turystyki. Jednym z bardziej praktycznych i użytecznych narzędzi stosowanych w celu prezentacji użyteczności warunków klimatycznych w kontekście potrzeb klimatoterapii, turystyki i rekreacji są kalendarze warunków pogodowych. Mogą być one opracowane na podstawie istniejących danych meteorologicznych i dotyczyć ogólnych informacji dla turystyki lub użyteczności dla wybranych form aktywności.

Kalendarz przedstawiony w niniejszej publikacji został opracowany na podstawie wartości wskaźnika WSI_{TOT} i dotyczy on ogólnych informacji związanych użytecznością warunków pogodowych dla turystyki i rekreacji (Tabela 22). Wskaźnik WSI_{TOT} jest obliczany jako suma wartości WSI liczonych dla kąpiei słonecznych i powietrznych, łagodnych i intensywnych form rekreacji ruchowej oraz dla turystyki i rekreacji narciarskiej. Użyteczność warunków pogodowych, określona w oparciu o wskaźnik WSI_{TOT} , różnicuje się od warunków „niekorzystnych” ($WSI_{TOT} < 3.5$), do warunków „umiarkowanie korzystnych” ($3.5 \leq WSI_{TOT} < 5.0$) i „korzystnych” ($5.0 \leq WSI_{TOT} < 6.5$) do warunków „bardzo korzystnych” ($6.5 \leq WSI_{TOT}$).

Zgodnie z kalendarzem najkorzystniejsze warunki pogodowe w niżej położonych obszarach są obserwowane wiosną (trzecia dekada kwietnia i pierwsze dwie dekady maja) oraz jesienią (od drugiej dekady września do początku października). Zdecydowanie najgorsze warunki pogodowe obserwowane są w drugiej dekadzie grudnia, kiedy na niżej położonych stacjach notowane są warunki „niekorzystne”. W regionach górskich najlepsze warunki występują w okresie kwiecień/maj oraz w pierwszych dwóch dekadach sierpnia, kiedy obserwowane są nawet warunki klasyfikowane jako „bardzo korzystne”.

Tabela 22

Kalendarz ogólnej
użyteczności warunków
pogodowych dla turystyki
i rekreacji (wg WSI_{TOT})
na wybranych stacjach
meteorologicznych dla lat
1971–2010

MTH	DEC.	SLU	COT	LIN	LEG	ZG	DRE	KUB	GOR	JG	ZIN	SN
I	1	3.4	3.7	3.6	3.6	3.5	3.8	3.7	3.6	3.8	4.1	2.9
	2	4.3	4.4	4.3	4.5	4.2	4.6	4.5	4.4	5.0	4.4	3.8
	3	3.7	4.0	4.0	4.1	3.7	4.1	4.0	4.0	4.3	4.2	3.3
II	1	4.1	4.3	4.4	4.5	3.9	4.3	4.3	4.2	4.6	4.6	3.7
	2	4.3	4.5	4.4	4.4	4.0	4.4	4.3	4.4	4.2	4.5	3.4
	3	4.9	4.8	4.8	4.8	4.5	5.0	4.8	4.8	5.0	5.2	4.1
III	1	4.6	4.8	4.7	4.6	4.3	4.7	4.4	4.6	4.6	4.7	3.7
	2	5.0	5.4	5.2	5.1	4.8	5.0	4.7	4.7	4.8	4.7	4.3
	3	5.6	5.6	5.6	5.5	5.0	5.5	5.2	5.1	5.1	5.6	4.5
IV	1	5.7	6.1	5.9	5.9	5.6	5.7	5.5	5.7	5.4	5.2	4.8
	2	6.4	6.4	6.5	6.3	5.8	6.1	6.1	5.9	5.4	5.2	5.2
	3	6.5	6.9	7.0	6.7	6.3	6.2	6.3	6.3	6.1	5.3	5.8
V	1	6.7	6.7	6.7	7.1	6.7	6.6	6.4	6.3	6.1	5.6	5.6
	2	6.2	6.4	6.8	6.3	6.3	6.5	6.3	6.5	5.6	5.7	5.1
	3	6.1	5.8	6.2	6.4	6.0	6.0	6.0	5.9	5.6	5.5	4.2
VI	1	5.7	6.0	6.1	5.8	5.7	5.7	5.9	5.6	5.3	5.4	4.3
	2	5.9	6.0	6.1	5.9	5.6	5.9	5.6	6.0	5.2	5.5	3.8
	3	5.9	5.7	6.1	5.9	5.6	5.8	5.6	5.6	5.1	5.7	4.2
VII	1	5.1	5.2	5.4	5.5	5.2	4.8	5.1	5.0	4.9	5.4	4.4
	2	5.3	5.6	5.8	5.3	5.3	5.2	5.2	5.2	4.9	5.6	4.3
	3	5.0	4.9	5.5	5.3	5.3	5.3	5.5	5.6	5.2	6.1	4.9
VIII	1	5.4	5.3	6.0	5.5	5.7	5.2	5.7	5.4	5.5	6.7	5.4
	2	5.6	5.7	6.2	6.0	6.0	5.4	5.8	5.6	5.7	6.2	5.1
	3	5.8	5.8	6.1	6.4	5.9	5.7	6.1	5.8	5.5	5.9	4.8
IX	1	5.9	6.1	6.4	6.4	5.9	6.1	6.3	6.0	5.8	5.8	4.1
	2	6.5	6.8	6.9	6.7	6.3	6.6	6.6	6.2	5.8	5.7	4.1
	3	6.5	6.6	6.8	6.6	6.4	6.7	6.3	6.3	6.0	5.6	4.2
X	1	6.5	6.5	6.6	6.5	6.3	6.6	6.6	6.4	5.9	5.2	3.9
	2	6.2	6.3	6.1	6.3	5.9	6.2	6.1	6.1	6.0	5.3	4.1
	3	5.6	5.8	5.4	5.5	5.1	5.8	5.6	5.4	5.5	4.2	3.7
XI	1	4.7	4.9	4.8	4.7	4.4	4.7	4.6	4.5	4.7	3.5	3.3
	2	4.0	4.1	4.2	4.2	3.7	3.9	3.8	3.8	4.0	3.4	2.9
	3	4.0	4.1	4.0	4.1	3.7	3.9	3.9	4.0	4.3	3.9	3.1
XII	1	3.5	3.8	3.6	3.7	3.4	3.7	3.7	3.6	4.0	3.8	3.2
	2	3.2	3.4	3.3	3.3	3.1	3.3	3.2	3.3	3.6	3.7	2.9
	3	3.6	3.9	3.6	3.8	3.6	3.9	3.8	3.7	3.9	4.0	3.1

warunki niekorzystne

warunki korzystne

warunki umiarkowanie korzystne

warunki bardzo korzystne



Makrotypy cyrkulacji atmosferycznej

Warunki pogodowe na danym obszarze są rezultatem rozkładu pola ciśnienia atmosferycznego. Głównymi jego elementami są niż i wyż baryczne, wymuszające cyrkulację atmosferyczną, w wyniku której przemieszczają się masy powietrza a wraz z nimi przenoszone są zapasy ciepła i wilgoci. Określonym i zmieniającym się sytuacjom barycznym towarzyszą charakterystyczne warunki meteorologiczne. Jest to cecha umiarkowanych szerokości geograficznych. Dominujące lub charakterystyczne sytuacje baryczne, które kształtują pogodę w skali kontynentu noszą nazwę makrotypów cyrkulacji atmosferycznej (niem. Großwetterlagen).

Istnieje szereg klasyfikacji wyróżniających makrotypy i typy cyrkulacji atmosferycznej. Klasyfikacje te różnią się cechami regionalnymi, a ich jedyną wspólną zasadą jest rozróżnianie na analizowanym obszarze kierunku adwekcji mas powietrza w cyrkulacji cyklonalnej lub antycyklonalnej. W Polsce powszechnie przyjęta jest klasyfikacja B. Osuchowskiej-Klein (1973). W Niemczech uznaniem cieszy się

klasyfikacja P. Hessa i H. Brezowsky'ego 1952, 1977). W obu klasyfikacjach dokonano analizy pola barycznego nad Europą i Północnym Atlantykiem oraz wydzielono charakterystyczne, wzorcowe makrotypy, kształtujące pogodę w Europie Środkowej.

Wzorce te posłużyły do stworzenia kalendarzy typów cyrkulacji atmosferycznej (niem. Katalog der Grosswetterlagen), w których sytuacja synoptyczna dla kolejnych dni odnoszona jest do wzorcowego makrotypu. Kalendarze takie obejmują wieloletnie serie obserwacji i są dobrym narzędziem do analizy zmian cech klimatu na badanym obszarze (WERNER i GERSTENGARBE 2010).

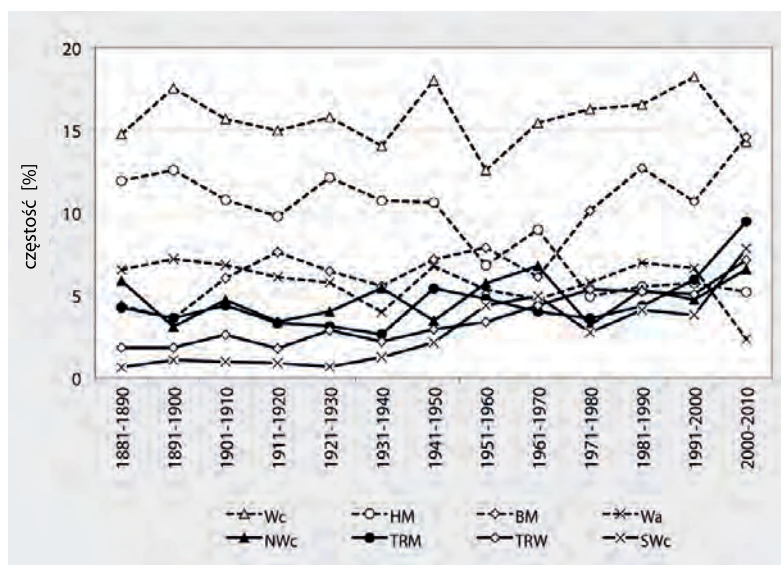
Częstość występowania makrotypów cyrkulacji atmosferycznej nad Środkową Europą w latach 1881–2010

W latach 1881–2010 wśród 29 typów cyrkulacji wyróżnianych przez Hessa i Brezowsky'ego jedynie osiem z nich obejmowało ponad połowę dni (53.9%; [Tabela 23](#)).

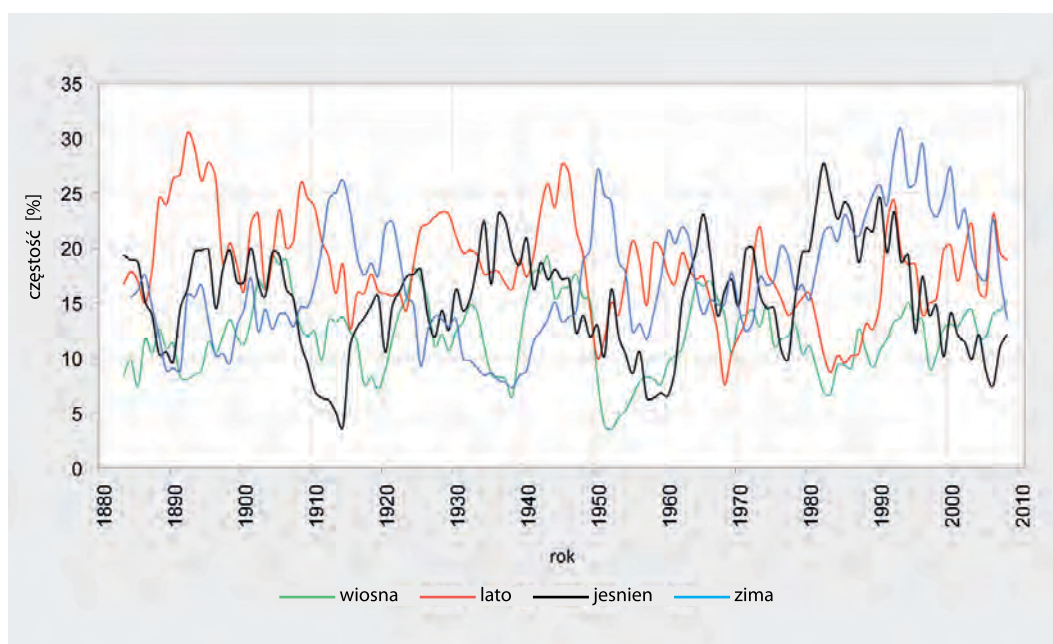
Typ	Opis typu cyrkulacji atmosferycznej	Udział [%]
Wc	zachodnia cyklonalna	15.7
HM	antycyklonalna z centrum wyżu nad Europą Środkową („Hoch Mitteleuropa“)	8.9
BM	układ baryczny z wałem wysokiego ciśnienia o osi równoleżnikowej nad Europą Środkową („Hochdruckbrücke Mitteleuropa“)	7.9
Wa	zachodnia antycyklonalna	5.8
NWc	północno-zachodnia cyklonalna	4.8
TRM	układ baryczny z bruzdą niskiego ciśnienia, rozciągniętą południkowo nad Europą Środkową („Trog Mitteleuropa“)	4.5
TRW	południkowa bruzda niskiego ciśnienia nad Europą Zachodnią blokowana układami wysokiego ciśnienia z centrum nad środkowym Atlantykiem oraz nad zachodnią Rosją („Trog Westeuropa“)	3.6
SWc	południowo – zachodnia cyklonalna	2.7
	razem	53.9%

Tabela 23
Typy cyrkulacji atmosferycznej dominujące w latach 1881–2010

Ryc. 42
Średnia dekadowa
częstość wybranych typów
cyrkulacji atmosferycznej
wg Hessa i Brezowsky'ego
w latach 1881–2010



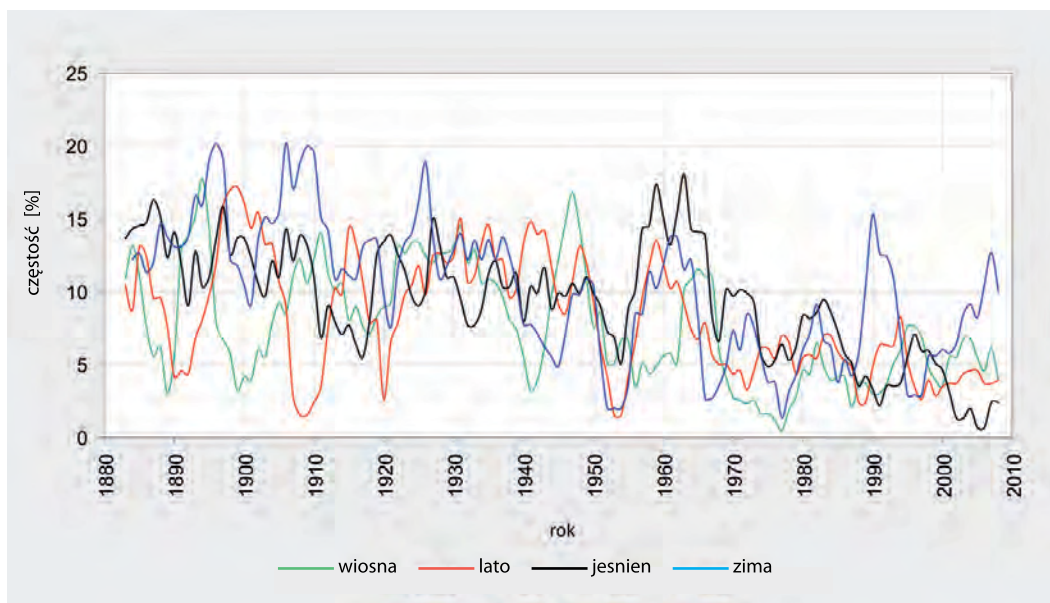
Ryc. 43
Procentowy udział
cyrkulacji atmosferycznej
typu Wc w kwartalowych
porach roku w latach
1881–2010



Trzy spośród siedmiu najczęściej występujących typów cyrkulacji tj. BM, TRM i TRW, a także cyrkulacja SWc zaznaczyły się w ostatnich dekadach minionego stulecia wyraźnym wzrostem frekwencji. Typ cyrkulacji (HM) z centrum wyżu nad Europą Środkową wykazał istotną tendencję spadkową (Ryc. 42). Pomimo, że częstość dominującej cyrkulacji Wc utrzymywała się w normie, to w skali XXw. nastąpiła radykalna zmiana ze znacznego jej udziału w sezonie letnim na wyraźną dominację w okresach

zimy (grudzień-luty). Taka przebudowa pola barycznego nad Europą miała wpływ na warunki klimatyczne jakie panowały pod koniec XXw. i w następnej dekadzie (KYSLEY and HUTH 2006).

Typ „Wc” to cyrkulacja cyklonalna z adwekcją mas powietrza z zachodu generowana przez niż usytuowany między Islandią a Płw. Skandynawskim. Sezon letni pozostający pod wpływem tej cyrkulacji jest chłodniejszy, z opadami powyżej normy. Zima jest



Ryc. 44
Procentowy udział
cyrkulacji atmosferycznej
typu HM w kwartałowych
porach roku w latach
1881–2010.

cieplejsza niż zwykle i także z nadwyżką opadów. W skali wielolecia częstość tej cyrkulacji utrzymywała się w normie, jednak w drugiej połowie XXw. nastąpiła istotna zmiana, gdyż przestała ona odgrywać istotną rolę w okresie lata, a zaczęła wpływać w większym stopniu na warunki zimowe (Ryc. 43). Udział tego typu cyrkulacji wynosił średnio 15.7% ($s=4.4$) lecz w kolejnych latach wahał się od 3 do 30%.

Typ „HM” – cyrkulacja antycyklonalna z centrum wyżu nad Europą Środkową jest typem, który do końca XXw. zdecydowanie, bo o ponad połowę zmniejszył swoją częstość, z 9.8–12.1% w pierwszej połowie XXw. do 4.9–5.2% w latach 1971–2010 (Ryc. 44). W skali całego roku sumy opadów atmosferycznych są poniżej normy. Latem i jesienią charakterystyczne jest ocieplenie, natomiast zimą duże dobowe amplitudy, z maksymalną temperaturą powyżej normy i z minimalną temperaturą poniżej przeciętnej. W dekadzie 2000–2010 cyrkulacja ta zaczęła wyraźniej zaznaczać swoją obecność w okresie zimy i może być ona przyczyną umiarkowanego wzrostu temperatury w wyżej usytuowanych obszarach.

Typ „BM” jest układem barycznym z wałem wysokiego ciśnienia nad Europą Środkową („Hochdruckbrücke Mitteleuropa”), który w drugiej połowie XXw. kształtował pogodę poprzez zdecydowany wzrost swojej częstości (Ryc. 45). Ten typ cyrkulacji powoduje w skali całego roku opady poniżej normy, decyduje o cieplejszej wiosnie, lecie i jesieni oraz o

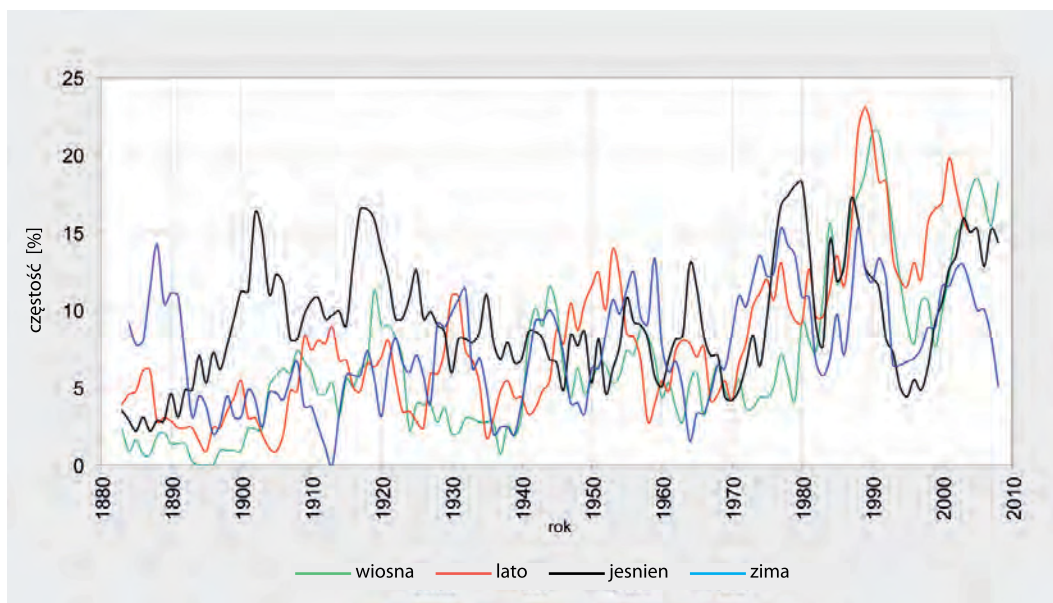
chłodniejszym sezonie zimowym. Wzrost częstości typu „BM” od 6.0–7.2% udziału w pierwszej połowie XXw. do 10.1–14.6% w okresie 1971–2010 znacząco wpłynął na warunki termiczne półrocza letniego.

Typ „TRM” to układ baryczny z bruzdą niskiego ciśnienia, rozciągniętą południkowo nad Europą Środkową („Trog Mitteleuropa”), uformowaną przez wyższe ciśnienie zalegające nad wschodnią częścią Północnego Atlantyku oraz nad Niziną Rosyjską. Na znacznym obszarze typ „TRM” kształtuje opady powyżej normy (poza zachodnią częścią Europy), charakterystyczne jest także to, że wszystkie pory roku są chłodniejsze za wyjątkiem zimy we wschodniej części Europy Środkowej. W ostatnich trzech dekadach udział typu tej cyrkulacji zaczął rosnąć z 3.6% do 9.5%. W okresie 1981–2010 jego udział tego typu był większy w okresie wiosny i lata oraz zimy (Ryc. 46).

Typ „TRW” jest układem barycznym z południkową bruzdą niskiego ciśnienia nad Europą Zachodnią blokowaną układami wysokiego ciśnienia z centrum nad środkowym Atlantykiem oraz nad zachodnią Rosją. Bruzda ta osłaniana jest przez układy wysokiego ciśnienia występujące nad środkowym Atlantykiem oraz nad Niziną Rosyjską, co powoduje, że od Płw. Iberyjskiego po Płw. Skandynawski południkowo rozciąga się rozległa strefa stacjonarnych frontów atmosferycznych z adwekcją z sektora SW-SSW ciepłych i wilgotnych mas powietrza, co w przeważającej części roku (poza zimą) przynosi nadmiar opadów atmosferycznych. Nasilenie się

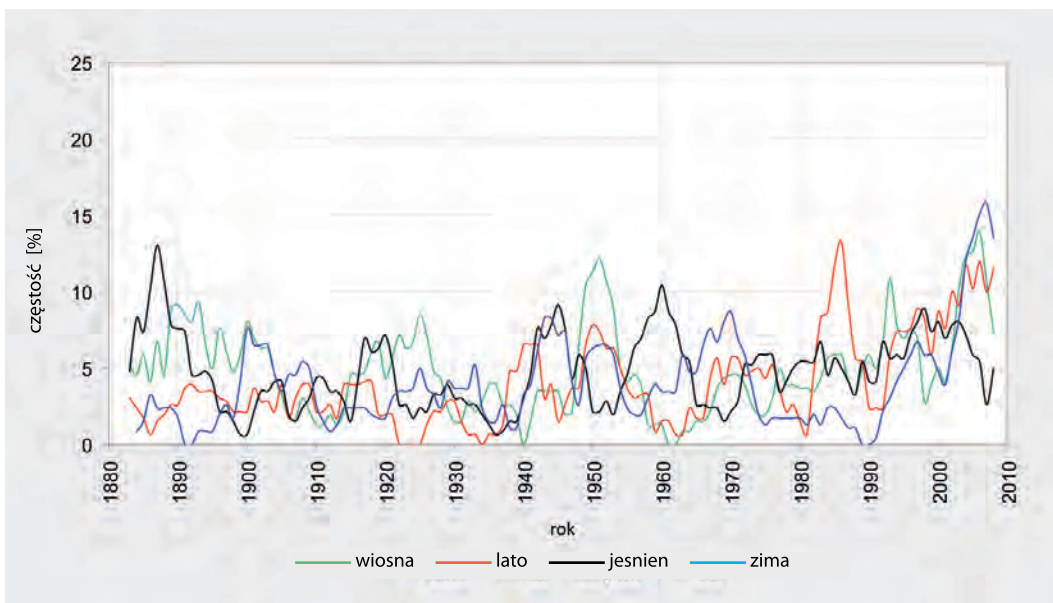
Ryc. 45

Procentowy udział
cyrkulacji atmosferycznej
typu BM w kwartałowych
porach roku w latach
1881–2010



Ryc. 46

Procentowy udział
cyrkulacji atmosferycznej
typu TRM w kwartałowych
porach roku w latach
1881–2010

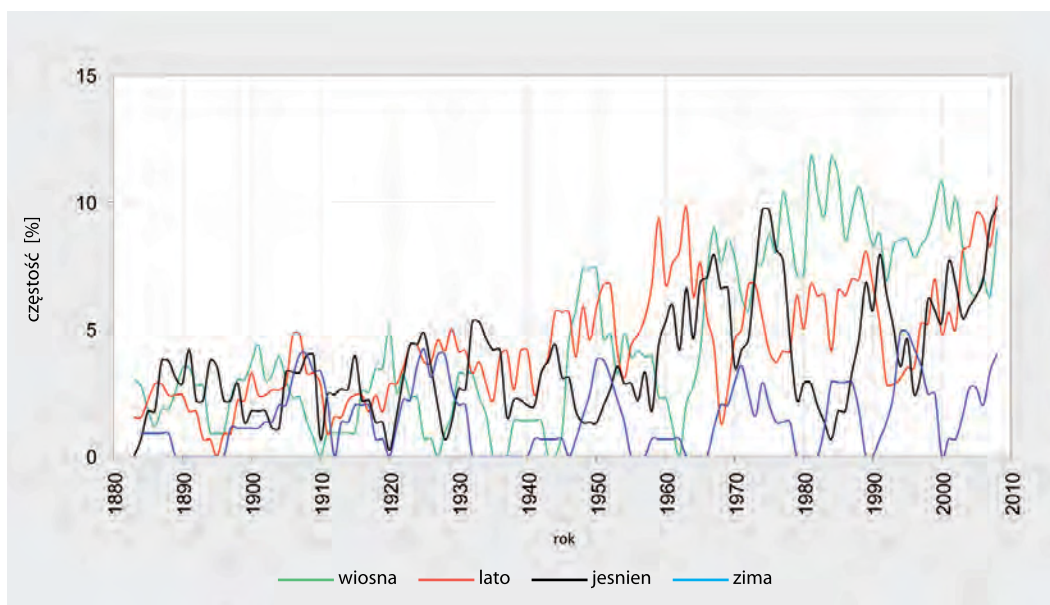


tego typu cyrkulacji pojawiało się zwykle w maju, a minimum przypadało na styczeń. Udział typu TRW wzrósł od 2,6–2,9% w pierwszej połowie XXw. do 5,3–7,1% w latach 1981–2010, był on szczególnie duży latem i jesienią (Ryc. 47).

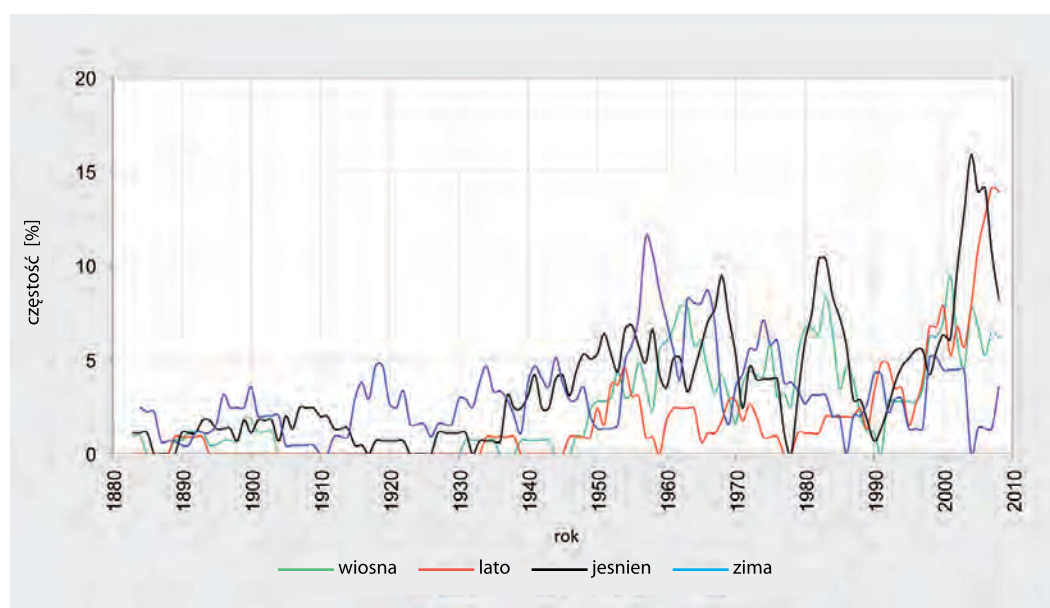
Typ „SWc” to cyrkulacja cyklonalna z południowo-zachodnim kierunkiem adwekcji, z licznymi frontami atmosferycznymi przebiegającymi z SW na NE (od Azorów poprzez obszar Bałtyku i Skandynawię). Taki typ cyrkulacji dość wyraźnie wpływa

na zmianę pogody w Europie Środkowej, ponieważ przynosi ocieplenie i nadmiar opadów atmosferycznych. Zwykle maksimum częstości tej cyrkulacji przypadało na styczeń a minimum na lipiec. Udział typu SWc wzrósł od 1,0–2,1% w pierwszej połowie XXw. do 4,1–7,8% w latach 1981–2010. Ten wzrost jest zauważalny w skali całego roku, ale szczególnie w okresie lata, jesieni, ale również wiosną (Ryc. 48).

Podsumowując można ocenić, że ogólna zmiana częstości typów cyrkulacji atmosferycznej spo-



Ryc. 47
Procentowy udział
cyrkulacji atmosferycznej
typu TRW w kwartałowych
porach roku w latach
1881–2010



Ryc. 48
Procentowy udział
cyrkulacji atmosferycznej
typu SWc w kwartałowych
porach roku w latach
1881–2010

wodowała nie tylko ocieplenie w skali roku, ale większą częstość suchych sezonów wiosennych i letnich. Zmiana taka z jednej strony spowodowała wcześniejszą wegetację, lecz z drugiej strony przyniosła zagrożenie suszą fizjologiczną w okresie lata. Ponadto, w okresie zimowym zmalała częstość układów antycyklonalnych nad centralną częścią Europy, co ograniczyło częstość dni mroźnych, wpływając na wzrost średniej temperatury tego sezonu.

Makrotypy cyrkulacji atmosferycznej w roku 1980 i 2006.

Pod względem skrajności warunków agroklimatologicznych, wyjątkowo długi i ciepły okazał się sezon wegetacyjny w 2006 roku. Najmniej sprzyjającym wegetacji był rok 1980. Warunki termiczne obu sezonów ukształtowała dominacja określonych typów cyrkulacji atmosferycznej (Tabela 24).

W 2006 roku 66,8% sytuacji (123 dni) półrocza letniego związanych było z typami cyrkulacji atmosferycznej powodujących adwekcje cieplejszego niż zwykle powietrza. W grupie typów cyrkulacji

decydujących o wzroście temperatury przeważała cyrkulacja cyklonalna z kierunku SW. W czerwcu typ ten stanowił 33% przypadków, a w październiku ponad połowę. Korzystne warunki termiczne kształtował także układ baryczny z wałem wysokiego ciśnienia o osi równoleżnikowej nad Europą Środkową (typ BM, wg klasyfikacji Hessa i Brezovsky'ego, 1977). W czerwcu i lipcu 2006 roku udział cyrkulacji wyżowych wynosił 38–40% (kilkoprocentowy udział typu HM – wyż z centrum nad Europą Środkową). Znaczącą rolę w półroczu ciepłym 2006 odegrał także nierzadko pojawiający się układ baryczny z południkową bruzdą niskiego

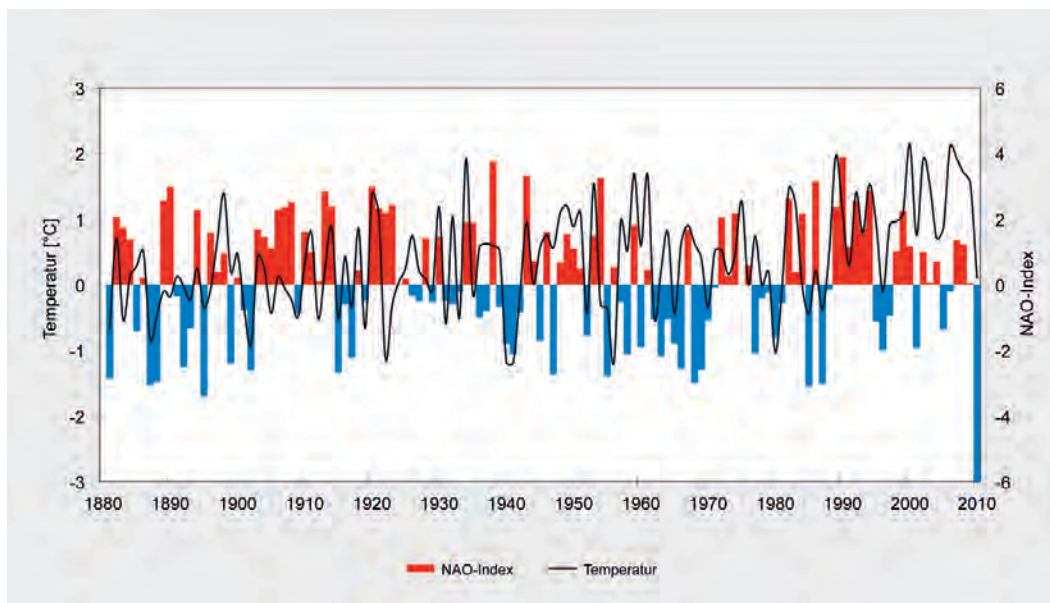
Tabela 24

Częstość makrotypów cyrkulacji atmosferycznej w okresie maj – październik w 1980 i 2006 roku

(C – typ przynoszący ocieplenie, Z – typ przynoszący ochłodzenie)

Makrotyp cyrkulacji atmosferycznej ^{*)}	1980		2006	
	C [%]	Z [%]	C [%]	Z [%]
Wa	2.2			
Wc		26.6		3.3
Ws		4.9		2.2
WW				
SWc			1.6	
SWc			16.8	
NWa				
NWc				2.7
HM	3.8		4.3	
BM	11.4		15.2	
TM		3.3		4.9
Na		3.8		
Nc		7.6		2.2
HNa				1.6
HNc		1.6		
HB				6.5
TRM		1.6		9.8
NEa	3.8			
NEc				
HFa		4.3		
HFc	7.1			
HNFa	4.9		1.6	
HNFc				
SEa	3.3		7.6	
SEc	0.0		2.2	
Sa	3.3		6	
Sc				
TB	2.7			
TRW	3.8		11.4	
	46.2%	53.8%	66.8%	33.2%
	100% = 184 days		100% = 184 days	

*) wg klasyfikacji Hessa Brezovsky'ego (1977)



Ryc. 49
Przebieg średnich
rocznych wartości
wskaźnika NAO i
temperatury powietrza
na Śnieżce w latach
1881–2010

ciśnienia nad Europą Zachodnią, przynoszący ciepłe i wilgotne masy powietrza z sektora SW-SSW (typ TRW wg klasyfikacji Hessa i Brezowsky'ego, 1977). Swoją obecność zaznaczył kilkunastoprocentowym udziałem adwekcji ciepłego powietrza z południowo-wschodu i południa (typy SEa, SEc i Sa).

W 1980 roku proporcje pomiędzy udziałem typów cyrkulacji przynoszących cieplejsze powietrze a tych powodujących niższe niż zazwyczaj temperatury, były bardziej wyrównane. W tym niekorzystnym pod względem warunków termicznych sezonie, udział typów cyrkulacji atmosferycznej wpływających na obniżenie temperatury powietrza w półroczu letnim (V-X) wynosił nieco ponad połowę bo 53,8% przypadków. Dużą częstością wyróżniała się także cyrkulacja zachodnia cyklonalna (typ Wc), która w lipcu i w październiku stanowiła blisko połowę przypadków. Na poziomie 15% kształtował się udział adwekcji powietrza z północy (typy Na, Nc oraz HFa). Te typy cyrkulacji decydowały o mniej korzystnych warunkach agroklimatologicznych w wieloleciu 1971–2010.

Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (wskaźnik NAO)

Cechą klimatu południowo-zachodniej części Polski i przygranicznej niemieckiej Saksonii jest duża międzysezonowa zmienność pogód będąca efektem wpływu i wzajemnego oddziaływania dwóch ważnych ośrodków barycznych zalegających nad północną częścią Oceanu Atlantyckiego – Wyżu Azorskiego i Niżu Islandzkiego. Wskaźnik NAO, który jest liczony (m.in. wg HURRELA 1995, 2013) jako różnica ciśnienia atmosferycznego pomiędzy stacją meteorologiczną na Azorach i na Islandii dobrze opisuje te zależności (Ryc. 49). Badany obszar znajduje się pod bezpośrednim wpływem cyrkulacji strefowej i oddziaływania morskich mas powietrza znad północnej części Atlantyku, co wyraża silna zależność pomiędzy średnią roczną temperaturą powietrza na Śnieżce i wskaźnikiem NAO (SOBIK i in. 2013). Dużo słabsze korelacje obserwuje się dla obszaru Karpat i Alp (MIGAŁA 2005). Obserwowane są 2–3 letnie oraz 7–8 letnie cykle fluktuacji temperatury powietrza.

4

Podsumowanie





Na podstawie danych obserwacyjnych ze stacji niemieckich, polskich i czeskich stwierdzono znaczącą tendencję do ocieplenia klimatu. Wzrost temperatury powietrza jest zróżnicowany w zależności od pory roku i wysokości nad poziomem morza, przyjmując największe wartości wiosną i latem, zwłaszcza w regionie pogórza i grzbietów górskich. Jednakże podczas zimy żaden istotny trend nie wystąpił. W ujęciu dekadowym silny trend ocieplający wystąpił w okresie 1971–2000, podczas gdy w ostatniej dekadzie 2001–2010 wzrost temperatury był umiarkowany. Zaobserwowany w obszarze badań znaczący wzrost liczby dni gorących i upalnych jest zgodny ze stwierdzonym trendem wzrostowym temperatury powietrza. Natomiast liczba dni przymrozkowych albo nie wykazuje istotnego trendu, albo trend jest regionalnie odmienny. Podczas gdy liczba dni przymrozkowych w obszarach wysoko położonych wykazuje trend malejący, o tyle w obszarze nizin i równin falistych trend jest rosnący. Dni mroźne na obszarze projektu wykazują słaby trend rosnący z wyjątkiem obszaru gór. Dodatkowo suma chłodu rośnie w obszarze równin falistych i pogórza. Z kolei w obszarze nizin i gór zaobserwowano trend odwrotny z coraz łagodniejszymi zimami. Ponadto percentyle liczby dni upalnych i nocy gorących wskazują na względnie wysoką temperaturę panującą na większej wysokości. Jak widać prawie wszystkie regiony są w równej mierze poddane trendowi ocieplającemu. Wraz z rosnącą częstością dni charakterystycznych, znacząco dłuższe stają się fale upałów i długość okresu bezprzymrozkowego. Także długość fal mrozów wykazuje tendencję rosnącą, jednak zmiany te nie są istotne statystycznie.

Dla całego obszaru projektu w okresie 1971–2010, obliczono także trzy wskaźniki agroklimatologiczne, które przedstawiono w postaci map. Te wskaźniki to suma temperatury aktywnej (SAT), stopniodni okresu wegetacyjnego (GDD) i wskaźnik hydrotermiczny Selianinowa (HTC). Rozkład przestrzenny każdego z tych trzech wskaźników pozostaje pod silnym wpływem wysokości nad poziomem morza. SAT i GDD, oparte o temperaturę powietrza, maleją wraz z wysokością. Podobnie wartości HTC obniżają się wraz z wysokością osiągając -0,7 na grzbietach gór w obszarze projektu. Odnotowano dużą zmienność czasową przy porównaniu lat ekstremalnych dobranych dla każdego wskaźnika z osobna. Ten istotny aspekt oznacza, że można oczekiwać bardzo dużej zmienności SAT, GDD i HTC, co jest ważne w planowaniu działalności rolniczej na tym obszarze. Z drugiej strony stwierdzono istotny statystycznie trend rosnący wartości SAT i GDD, co pozostaje w zgodzie z obserwowanym wzrostem temperatury mierzonej na stacjach meteorologicznych w badanym obszarze. Trend rosnący jest szczególnie widoczny w części nizinnej, a jednocześnie mniej wyraźny w górach. Wszystkie te fakty są ważne w kontekście przyszłej adaptacji do zmieniającego się klimatu np. w rolnictwie i leśnictwie.

Analiza makroskalowej cyrkulacji atmosferycznej ukazuje korelację pomiędzy zmianami temperatury i zmianami w częstości określonych typów cyrkulacji, np. wzrastająca częstość typów SWc, HM i BM wpływa na wzrost temperatury w obszarze projektu. Zmniejszona w zimie częstość antycyklonalnych typów cyrkulacji w okresie 1971–2000 przyczyniła się do spadku liczby dni przymrozkowych i mroźnych. Z kolei malejąca częstość typu Wc w dekadzie 2001–2010 prawdopodobnie spowodowała wystąpienie warunków zimniejszych i jest odpowiedzialna za złagodzenie trendu ocieplającego w ostatnich 10 latach. Rozkład ciśnienia atmosferycznego, decydujący o pogodzie w Europie Środkowej, jest określony przez relację pomiędzy Nizem Islandzkim i Wyżem Azorskim.

Zróżnicowanie wysokościowe i cyrkulacyjne regionu przyczynia się również do zróżnicowania warunków bioklimatycznych. Niżej położone obszary odznaczają się zwykle bardziej komfortowymi warunkami w porównaniu do gór. Jest to szczególnie zauważalne zwłaszcza w półroczu chłodnym, gdy na nizinach obserwowana jest mniejsza liczba dni odznaczających się stresem zimna. W tym

przypadku liczba dni z komfortem termicznym maleje wraz z wysokością bezwzględną. Natomiast w sezonie letnim liczba dni z komfortem termicznym wzrasta wraz z wysokością bezwzględną, dni ze stresem gorąca niemal w ogóle nie są notowane w najwyższych partiach gór, podobnie jak dni parne.

Użyteczność warunków pogodowych dla turystyki w okresie letnim w niżej położonych obszarach jest obniżona wskutek stosunkowo dużego zachmurzenia, znacznej częstości występowania opadów atmosferycznych oraz pojawiania się stresu gorąca. Z tego względu, w świetle przedstawionych wskaźników (UTCI, STI, PET, WSI) oraz kalendarza użyteczności warunków pogodowych, najlepsze warunki na nizinach są notowane wiosną i jesienią. W najwyższych partiach gór z kolei najlepsze warunki dla turystyki przypadają na sierpień.

Stres zimna nie obniża użyteczności warunków pogodowych dla form rekreacji związanych ze zwiększonym metabolizmem. Jednocześnie jednak formy te są znacząco narażone na oddziaływanie stresu gorąca, który znacznie obniża użyteczność warunków pogodowych dla tych form, zwłaszcza w okresie letnim.

Średnie roczne wartości omówionych wskaźników biotermicznych w okresie wieloletnim charakteryzują się tendencją wzrostową, zarówno na nizinach, jak i w obszarach górskich. Jednakże w niektórych przypadkach trendy te odznaczały się brakiem istotności statystycznej.

Obszary górskie w regionie badań projektu charakteryzują się dobrymi warunkami dla turystyki narciarskiej, z uwagi na występowanie długotrwałej i wysokiej pokrywy śnieżnej. W tym przypadku szczególnie dobre warunki są obserwowane w Górach Izerskich, gdzie liczba dni z pokrywą śnieżną jest porównywalna nawet ze szczytową partią Karkonoszy. Należy jednak zaznaczyć, że w najwyższych piętrach Karkonoszy użyteczność warunków pogodowych dla narciarstwa podczas zimy jest ograniczona wskutek występowania niekorzystnych warunków biotermicznych, wietrznych i opadowych. Występowanie pokrywy śnieżnej ($SN > 10$ cm i $SN > 30$ cm) w analizowanym wieloleciu charakteryzuje się tendencją spadkową, nieistotną statystycznie.



Spis literatury

- ALEXANDERSSON H (1986): A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology* 6, S. 661–675.
- AMERINE M.A., WINKLER A.T., 1944, Composition and quality of musts and wines of California grapes, *Hilgardia* 15, 493–673.
- ÅNGSTRÖM A. (1924): Solar and terrestrial radiation. Report to the international commission for solar research on actinometric investigations of solar and atmospheric radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 50 (210), 121–126.
- ARNOLD C.Y., 1960, Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat unit, *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 76, 292–682.
- ATV-DVWK DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V. (Hrsg.) (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. ATV-DVWK-M 238, Bonn, 135 S.
- ATV-DVWK DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V. (Hrsg.) (2002): Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden. ATV-DVWK-M 504, Hennef, 108 S.
- BECKER N.J., 1985, Site selection for viticulture in cool climates using local climatic information, In: *Proceeding of the International Symposium on Cool Climate Viticulture and Enology*, June 25–28, 1984, Oregon State University Agricultural Experiment Station, Technical Publication 7628, 20–34.
- BERNHOFER C. und FRANKE J. (2013): Aufbereitung meteorologischer Daten für die Verwendung im Klimamodell im Rahmen des Projektes NEYMO. Abschlussbericht, Dresden: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 42 S.
- BIOKLIMA©2.6., Software, www.igipz.pan.pl/geoeokoklimat/blaz/bioklima.htm.
- BŁĄŻEJCZYK K., 2004, Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce, *Pr. Geogr.*, 192, 291
- BŁĄŻEJCZYK K., 2006, MENEX_2005 – the Revised Version of Man-Environment Heat Exchange Mode, www.igipz.pan.pl/geoeokoklimat/blaz/menex.htm.
- BŁĄŻEJCZYK K., BRODE P., FIALA D., HAVENITH G., HOLMER I., JENDRITZKY, KAMPMANN B., KUNERT A., 2010, Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European Scale, *Miscellanea Geographica*, 14, 91–102.
- BŁĄŻEJCZYK K., KUNERT A., 2010, Obciążenie cieplne organizmu człowieka podczas letnich i zimowych wędrówek po Tatrach, [w:] Z. Krzan (red.), *Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem, Materiały IV Konferencji nt. „Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a Człowiek”*, 14–16.10.2010, Zakopane, t. III, Nauki o Ziemi, TPN – PTPNoZ, Zakopane, 61–68.
- BŁĄŻEJCZYK K., MATZARAKIS A., 2007, Assessment of bioclimatic differentiation of Poland based on the human heat balance, *Geographia Polonica*, vol. 80 No. 1, Spring 2007, 63–82.
- BONHOMME R., 2000, Bases and limits to using “degree.day” units, *European Journal of Agronomy* 13, 1–10.
- BOOTSMA, A., GAMEDA, S. and MCKENNEY, D. W. 2005. Impacts of potential climate change on selected agroclimatic indices in Atlantic Canada. *Can. J. Soil Sci.* 85: 329–343.
- CROSS H.Z., ZUBER M.S., 1972, Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units, *Agron. J.* 64, 351–355.
- DEGETANO A. T., KNAPP W. W., 1993, Standardization of weekly growing degree day accumulations based on differences in temperature observation time and method, *Agricultural and Forest Meteorology* 66, 1–19.
- EASTERLING D.R., 2002, Recent changes in frost days and the frost-free season in The United States, *Bulletin of American Meteorological Society*, Sept 2002, 1327–1332.
- FLOHN H. (1954): Witterung und Klima in Mitteleuropa. In: *Forschungen zur Deutschen Landeskunde*, 2. Auflage, Hirzel Verlag, Stuttgart, 214 S.
- GILMORE E.C. Jr., ROGERS J.S., 1958, Heat units as a method of measuring maturity in corn, *Agron. J.* 50, 611–615.
- GLADSTONES J., 1992, *Viticulture and Environment WineTitles*: Adelaide, Australia, 310 p.
- HESS P., BREZOWSKY H., 1952. *Katalog der Großwetterlagen Europas*. Ber. Dt. Wetterd. in der US-Zone 33.
- HESS P., BREZOWSKY H., 1977: *Katalog der Großwetterlagen Europas 1881–1976*, 3. Auflage, *Berichte des Dtsch. Wetterd.*, 113.

- HIPEL K.W., MCLEOD A.I., 2005, Time series modeling of water resources and environmental systems. Electronic reprint of book originally published in 1994. <URL: <http://www.stats.uwo.ca/faculty/aim/1994Book/>>
- HÖPPE P., 1999, The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment, *Int. J. of Biometeorology*, 43, 71–75.
- HURRELL, J.W., 1995. Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation. *Science*: Vol. 269, pp.676–679.
- HURRELL, JAMES & NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH STAFF (Eds). Last modified 08 Oct 2013. The Climate Data Guide: Hurrell North Atlantic Oscillation (NAO) Index (station-based), Resived from <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based>
- IPCC (2013): Climate Change 2013. The physical science basis, Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.
- JONES G.V., DAVIS R.E., 2000, Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France, *Amer. J. Vitic. Enol.* 51, 249–261.
- JONES G.V., WHITE M.A., COOPER O.R., STORCHMANN K-H., 2004, Climate and wine: quality issues in a warmer world, *Proceedings of the XI OEconometrics Conference, Vineyard Data Quantification Society, Dijon, France. May 21–22, 2004.*
- JONES G.V., 2006, Climate and Terroir: Impacts of Climate Variability and Change on Wine. In: *Fine Wine and Terroir – The Geoscience Perspective*. Eds. Macqueen R.W., Meinert L.D., Geological Association of Canada: St. John's, Newfoundland, 203–216.
- KENDALL M.G. (1976): *Rank Correlation Methods*. 4th Ed. Griffin.
- KUNKEL, K. E., D. R. EASTERLING, K. HUBBARD, and K. REDMOND (2004), Temporal variations in frost-free season in the United States: 1895–2000, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L03201, doi:10.1029/2003GL018624.
- KYSELY J., and HUTH R., 2006. Changes in atmospheric circulation over Europe detected by objective and subjective methods. *Theor. Appl. Climatol.* 85, 19–36.
- KWIATKOWSKI J., HOŁDYS T. (1985): *Klimat [w:] Karkonosze Polskie*, red A. Jahn, Ossolineum, 87-116.
- LINDNER K., 2011, Assessment of sensible climate in Warsaw using UTCI, *Prace i Studia Geograficzne*, 2011, T. 47, 285–291.
- MANN H.B. (1945): Nonparametric tests against trend, *Econometrica*, 13, 245–259.
- MASLE J., DOUSSINALUT G., FARQUHAR G.D., Sun B., 1989, Foliar stage in wheat correlates better to photothermal time than to thermal time, *Plant. Cell Environ.* 12, 235–247.
- MATZARAKIS A., 2007, Assessment method for climate and tourism based on daily data, [in:] A. Matzarakis, C.R. de Freitas, D. Scott (ed.), *Developments in tourism climatology*. ISBN 978-3-00-0241100–9.
- MATZARAKIS, A., RUTZ, F., 2005: Application of RayMan for tourism and climate investigations, *Annalen der Meteorologie* 41, Vol. 2, 631–636.
- MATZARAKIS A., HÄMMERLE M., KOCH E., RUDEL E., 2012, The climate tourism potential of Alpine destinations using the example of Sonnblick, Rauris and Salzburg, *Theor. Appl. Climatol.* (2012) 110: 645–658.
- MAKOŚA A., MICHALSKA B., 2010, Evaluation of bio-thermal conditions in Central-West Poland on the basis of the Subjective Temperature (STI), *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin. 2010, Agric., Aliment., Pisc., Zootech.* 279 (15), 53–62,
- McMASTER G.S., SMIKA D.E., 1988, Estimation and evaluation of winter wheat phenology in the central Great Plains, *Agricultural and Forest Meteorology* 43, 1–18.
- McMASTER G.S., WILHELM W.W., 1997, Growing degree-days: one equation, two interpretations, *Agricultural and Forest Meteorology* 87, 291-300.
- MIECZKOWSKI Z., 1985, The tourism climatic index: a method of evaluating world climates for tourism, *The Canadian Geographer* 29: 220–233.
- MIGAŁA K., 2005. Piętra klimatyczne w górach Europy a problem zmian globalnych, *Acta Univ. Wratisl.* 2718, *Studia Geograficzne* 78, Wyd. Uni. Wroc.: s.140.



- MISZUK B., OTOP I., OWCZAREK M., 2012, Warunki bioklimatyczne Sudetów jako czynnik kształtujący potencjał rekreacyjny Sudetów, *Przegl. Geogr.* 2012, 3, 437–446.
- NOVAK M., 2011, UTCI – first test in the Czech Republic, *Prace i Studia Geograficzne*, 2011, T. 47, 319–325.
- OSUCHOWSKA-KLEIN B., 1973, Analiza rocznych przebiegów częstości występowania w Polsce makrotypów cyrkulacji atmosferycznej. *Przegl. Geofiz.* 18 (3-4): 223–242.
- PELECH S., 2013, Warunki biotermiczne w Tatrach Polskich, *Pr. Geogr.*, z.133, IGiGP UJ, Kraków, 7–19.
- PROJECT TEAM ECA&D (2012): Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD), European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) project document, version 10.5, Royal Netherlands Meteorological Institute KNMI, 45 pp.
- PRUESS K.P., 1983, Day-degree methods for pest management, *Environ. Ent.* 12, 613–619.
- RICHTER D (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 194, 93 S.
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (SMUL)(Hrsg.) (2008): Sachsen im Klimawandel – Eine Analyse. Dresden; 211 S.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (2000): *Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler*. 3. Aufl., Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, 289 S.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (2003): *Klimatologie*; Ulmer UTB 1793. 2. Auflage 2003, 440 S.
- SELYANINOV G.T., 1937, *Methods of Climate Description to Agricultural Purposes*. [In:] *World Climate and Agriculture Handbook*, Leningrad – Moscow.
- SCOTT D. McBOYLE G., 2001, Using a 'tourism climate index' to examine the implications of climate change for climate as a tourism resource, [w:] *International Society of Biometeorology Proceedings of the First International Workshop on Climate, Tourism and Recreation* (www.mif.uni-freiburg.de/isb/ws/report.htm).
- SOBIK M., BŁAŚ M., MIGAŁA K., GODEK M., NASIÓŁKOWSKI T., 2013 (in press): *Klimat Karkonoszy*. [in:] *Przyroda Karkonoskiego Parku Narodowego*, Wyd. Karkonoski Park Narodowy, Jelenia Góra.
- SZYMANOWSKI M., KRYZA M., 2012, Local regression models for spatial interpolation of urban heat island-an example from Wrocław, SW Poland, *Theoretical and Applied Climatology* 007/s00704-011-0517-6
- SZYMANOWSKI M., KRYZA M., SPALLEK W., 2013, Regression-based air temperature spatial prediction models: an example from Poland, *Meteorologische Zeitschrift* (in press)
- SZYMANOWSKI, M., M. KRYZA, W. SPALLEK, 2012: *Air temperature atlas for Poland: the methodical approach*. – *Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego* 26, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław (in Polish, English summary).
- TOBLER, W., 1970, A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, pp. 234–240.
- WANG J.Y., 1960, A critique of the heat unit approach to plant response studies, *Ecology* 41, 785–790.
- WERNER P.C., GERSTENGARBE F.W., 2010. *Katalog der Grosswetterlagen Europas (1881–2009)* nach Paul Hess und Helmut Brezowsky 7. Verbesserte und Ergänzte Auflage, PIK Report 119: 146pp.
- ŻMUDZKA E., 2004, *The Climatic Background Of Agricultural Production in Poland (1951–2000)*.

Spis rycin

Ryc. 1	
Obszar badań projektu KLAPS	7
Ryc. 2	
Użytkowanie terenu w regionie badań projektu KLAPS	8
Ryc. 3	
Diagramy klimatyczne wg WALTER/LIETH dla wielolecia 1971–2000	9
Ryc. 4	
Wieloletni trend temperatury powietrza w zachodniej części Polski (50.63 N, 16.48 E) w okresie 1750–2012	10
Ryc. 5	
Lokalizacja wybranych stacji meteorologicznych do analiz klimatu i bioklimatu w obszarze badań projektu	13
Ryc. 6	
Rozmieszczenie stacji meteorologicznych, na których dokonywane są pomiary temperatury powietrza (TX, TN, TM) wraz z informacją na temat dostępności danych z okresu 1971–2010	19
Ryc. 7	
Struktura danych meteorologicznych w obszarze badań projektu	20
Ryc. 8	
Średnia roczna temperatura powietrza [°C] w regionie badań dla lat 1971–2000	25
Ryc. 9	
Średnia temperatura powietrza [°C] wiosny (górze) oraz lata (dół) w regionie badań dla lat 1971–2000	26
Ryc. 10	
Średnia temperatura powietrza [°C] jesieni (górze) oraz lata (dół) w regionie badań dla lat 1971–2000	27
Ryc. 11	
Średnia roczna temperatura maksymalna (TX) regionu badań dla lat 1971–2000 [°C]	28
Ryc. 12	
Średnia roczna temperatura minimalna (TN) w regionie badań dla lat 1971–2000 [°C]	28
Ryc. 13	
Przebieg roczny temperatury powietrza [°C] w regionie badań dla lat 1971–2000	29
Ryc. 14	
Zmienność średniej rocznej temperatury powietrza w latach 1971–2010 w Görlitz	29



Ryc. 15	
Zmienność rocznej temperatury maksymalnej (góra, z lewej), średniej (góra, z prawej) i minimalnej powietrza (dół, z lewej) w poszczególnych dekadach lat 1971–2000	30
Ryc. 16	
Trendy zmian średniej temperatury maksymalnej [°C] (góra, z lewej), rocznej (góra, z prawej) oraz minimalnej (dół, z lewej) w latach 1971–2010	31
Ryc. 17	
Trendy zmian średniej temperatury powietrza dla wiosny (góra, z lewej), lata (dół, z lewej) i zimy (dół, z prawej) dla lat 1971–2010	33
Ryc. 18	
Trendy zmian średniej temperatury powietrza dla zimy (DJF) na przykładzie stacji Görlitz dla lat 1971–2010	34
Ryc. 19	
Zróznicowanie średniej temperatury powietrza w poszczególnych dekadach lat 1971–2010 dla wiosny (góra, z lewej), lata (góra, z prawej), jesieni (dół, z lewej) i zimy (dół, z prawej) w regionie badań projektu	34
Ryc. 20	
Względny trend [%] występowania dni gorących (górną lewą), dni upalnych (górną prawą), nocy gorących (lewą środkową), dni przymrozkowych (prawą środkową), dni mroźnych (dolną lewą) i sum temperatur ujemnych (dolną prawą) w okresie 1971–2010	36
Ryc. 21	
Względny trend [%] występowania fal upału (górną lewą), fal chłodu (górną prawą), okresów bezprzymrozkowych (dolną lewą) i okresów z przymrozkiem (dolną prawą) w okresie 1971–2010	38
Ryc. 22	
Względny trend [%] dla ciepłych nocy (lewy) i ciepłych dni (prawy) w okresie 1971–2010	39
Ryc. 23	
Stopniodni okresu wegetacyjnego (GDD) w obrębie domeny projektu KLAPS dla dwóch skrajnych lat: 1980 (jeden z najchłodniejszych, mapa górna) i 2006	41
Ryc. 25	
Suma temperatur aktywnej dla domeny projektu KLAPS w latach ekstremalnych: 1980 (jeden z najchłodniejszych, mapa górna) i 2006 (jeden z najcieplejszych, mapa dolna)	44
Ryc. 26	
Bezwzględna wielkość trendu SAT w wieloleciu 1971–2010 oraz jego istotność statystyczna	45
Ryc. 27	
Wartości najniższego sezonowego wskaźnika HTC w roku suchym (górną) i mokrym (dół)	46

Ryc. 28	
Trend absolutny wskaźnika HTC w latach 1971–2010 i jego istotność statystyczna.	47
Ryc. 29	
Średnie miesięczne wartości UTCI dla wybranych stacji meteorologicznych dla lat 1971–2010	48
Ryc. 30	
Częstość występowania dni z poszczególnymi klasami obciążeń cieplnych w poszczególnych miesiącach, na podstawie wartości UTCI dla stacji: Lindenberg (a), Jelenia Góra (b), Zinnwald (c) i Śnieżka (d) w okresie 1971–2010	49
Ryc. 31	
Średnie roczne wartości UTCI i ich tendencja w Lindenbergu i Jeleniej Górze w latach 1971–2010	49
Ryc. 32	
Częstość występowania dni z poszczególnymi klasami odczuć cieplnych w poszczególnych miesiącach, na podstawie wartości STI dla stacji: Lindenberg (a), Jelenia Góra (b), Zinnwald (c) i Śnieżka (d) w okresie 1971–2010	50
Ryc. 33	
Średnie roczne wartości STI i ich tendencje zmian dla Lindenbergu i Jeleniej Góry dla lat 1971–2010	51
Ryc. 34	
Częstość występowania dni z poszczególnymi klasami odczuć cieplnych w poszczególnych miesiącach, na podstawie wartości PET dla stacji: Lindenberg (a), Jelenia Góra (b), Zinnwald (c) i Śnieżka (d) w okresie 1971–2010	51
Ryc. 35	
Średnie roczne wartości PET i ich tendencje zmian dla Lindenbergu i Jeleniej Góry dla lat 1971–2010	52
Ryc. 36	
Przebieg roczny wartości wskaźnika WSI dla kąpiei słonecznych (SB), kąpiei powietrznych (AB), łagodnych (MR) i intensywnych (AR) form rekreacji oraz dla turystyki narciarskiej (ST) na wybranych stacjach meteorologicznych dla lat 1971–2010	53
Ryc. 37	
Ocena użyteczności warunków pogodowych na podstawie CTIS dla stacji: Lindenberg (a), Jelenia Góra (b), Zinnwald (c) i Śnieżka (d) w poszczególnych dekadach lat 1971–2010	55
Ryc. 38	
Częstość występowania pokrywy śnieżnej (SN>10 cm) w poszczególnych dniach dla wybranych stacji meteorologicznych obszaru badań w latach 1971–2010	56
Ryc. 39	
Częstość występowania pokrywy śnieżnej (SN>30 cm) w poszczególnych dniach dla wybranych stacji meteorologicznych obszaru badań w latach 1971–2010	57



Ryc. 40	
Zmienność i trend zmian częstości występowania dni z SN>10 cm (październik-maj) w Jakuszycach i Zinnwald w latach 1971–2010	58
Ryc. 41	
Zmienność i trend zmian częstości występowania dni z SN>30 cm (październik-maj) w Jakuszycach i Zinnwald w latach 1971–2010	58
Ryc. 42	
Średnia dekadowa częstość wybranych typów cyrkulacji atmosferycznej wg Hessa i Brezowsky'ego w latach 1881–2010.	62
Ryc. 43	
Procentowy udział cyrkulacji atmosferycznej typu Wc w kwartałowych porach roku w latach 1881–2010.	62
Ryc. 44	
Procentowy udział cyrkulacji atmosferycznej typu HM w kwartałowych porach roku w latach 1881–2010.	63
Ryc. 45	
Procentowy udział cyrkulacji atmosferycznej typu BM w kwartałowych porach roku w latach 1881–2010.	64
Ryc. 46	
Procentowy udział cyrkulacji atmosferycznej typu TRM w kwartałowych porach roku w latach 1881–2010.	64
Ryc. 47	
Procentowy udział cyrkulacji atmosferycznej typu TRW w kwartałowych porach roku w latach 1881–2010.	65
Ryc. 48	
Procentowy udział cyrkulacji atmosferycznej typu SWc w kwartałowych porach roku w latach 1881–2010.	65
Ryc. 49	
Przebieg średnich rocznych wartości wskaźnika NAO i temperatury powietrza na Śnieżce w latach 1881–2010	67

Spis tabel

Tabela 1	
Dostępność wybranych danych klimatologicznych z dobową rozdzielczością czasową	12
Tabela 2	
Opis dni charakterystycznych termicznie według wartości progowych wyznaczonych na podstawie dobowej temperatury maksymalnej TX i minimalnej TN	13
Tabela 3	
Klasyfikacja surowości zim według „sum chłodu” tj. sum ujemnych wartości średniej dobowej temperatury powietrza	13
Tabela 4	
Opis wskaźników klimatologicznych opartych o klasyfikację według percentyli	14
Tabela 5	
Opis okresów charakterystycznych	14
Tabela 6	
Średnia suma temperatur aktywnych (SAT) oraz zalecane odmiany uprawy winorośli o różnym czasie dojrzewania	15
Tabela 7	
Warunki dostępności wody dla roślinności w zależności od wartości współczynnika Selianinowa	16
Tabela 8	
Skala obciążeń cieplnych wg UTCI (z lewej); skala odczuć cieplnych wg STI (na środku) i PET (z prawej)	17
Tabela 9	
Klasy istotności statystycznej (SCHÖNWIESE, 2000)	21
Tabela 10	
Wartości średniej miesięcznej i rocznej temperatury powietrza [°C] w latach 1971–2000	24
Tabela 11	
Klasyfikacja pięter wysokościowych oraz liczba stacji meteorologicznych	24
Tabela 12	
Trend zmian temperatury powietrza [°C] w poszczególnych piętrach wysokościowych w latach 1971–2010	31
Tabela 13	
Trend zmian temperatury powietrza [°C] w poszczególnych piętrach wysokościowych w latach 1971–2010	32
Tabela 14	
Średnia częstość występowania dni charakterystycznych, średnie sumy temperatur ujemnych oraz bezwzględny trend liniowy w okresie 1971–2010	35
Tabela 15	
Średnia częstość występowania fal upału/chłodu i okresów bezprzymrozkowych i z przymrozkami w okresie referencyjnym 1971–2000 oraz ich trend bezwzględny	37



Tabela 16	
Liczba dni, seria dni/nocy ciepłych i bezwzględny trend liniowy dla dni/nocy ciepłych w okresie 1971–2010	39
Tabela 17	
Wskaźniki Sum of Active Temperatures (SAT) i Growing Degree Days (GDD) w relacji do wyznaczonych przedziałów wysokościowych	40
Tabela 18	
Obszary uprawy winorośli w odniesieniu do stopniodni okresu wegetacyjnego	42
Tabela 19	
Średnia suma temperatur aktywnych (SAT) [°C] w odniesieniu do możliwości uprawy odmian winorośli o różnym czasie dojrzewania	43
Tabela 20	
Przeciętne wartości minimów sezonowych HTC w okresie 1971–2010	45
Tabela 21	
Wartości TCI oraz użyteczność warunków klimatycznych na podstawie danych z wybranych stacji meteorologicznych dla lat 1971–2010	53
Tabela 22	
Kalendarz ogólnej użyteczności warunków pogodowych dla turystyki i rekreacji (wg WSITOT) na wybranych stacjach meteorologicznych dla lat 1971–2010	60
Tabela 23	
Typy cyrkulacji atmosferycznej dominujące w latach 1881–2010.	61
Tabela 24	
Częstość makrotypów cyrkulacji atmosferycznej w okresie maj – październik w 1980 i 2006 roku.	66

Notatka bibliograficzna

Wydawnictwo:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Redakcja:

Susann Mehler, Maciej Kryza, Irena Otop

Zdjęcie na okładce:

Widok na „Landeskronen” w pobliżu Görlitz z północnego wschodu.
Licencja: Nugnesis na podstawie CC BY-SA 3.0
(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.de>)

Przygotowanie do druku:

Hoch3 GmbH

Druk:

LaserLine

Data wydania:

05.03.2014

Nakład:

200 egzemplarzy

Papier:

papier certyfikowany ekologicznie

Publikacja może być uzyskana nieodpłatnie z:

Zentraler Broschürenversand der Sächsischen Staatsregierung
Hammerweg 30, 01127 Dresden
Telefon: +49 351 2103-671
Telefax: +49 351 2103-681
E-Mail: publikationen@sachsen.de
www.publikationen.sachsen.de

Informacje ogólne:

Niniejsza publikacja została wydana przez Rząd Saksonii w ramach konstytucyjnego obowiązku informowania społeczeństwa. Materiały nie mogą być wykorzystane przez partie polityczne, kandydatów w wyborach lub osób zaangażowanych w wybory w inny sposób w okresie sześciu miesięcy przed nadchodzącymi wyborami. Dotyczy to wszystkich wyborów.



