

Zaleganie pokrywy śnieżnej i jego zmienność w polskiej części Sudetów i na ich przedpolu

*Duration of snow cover and its variability in the Polish part
of the Sudetes Mts. and their foreland*

GRZEGORZ URBAN

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy
51-616 Wrocław, ul. Parkowa 30; grzegorz.urban@imgw.pl

Zarys treści. Artykuł zawiera charakterystykę pokrywy śnieżnej w profilu pionowym polskiej części Sudetów i na ich przedpolu w sezonach 1965/66-2007/08. Podstawą charakterystyki były daty początku i końca pokrywy śnieżnej, rzeczywisty i potencjalny okres jej występowania oraz jej trwałość w poszczególnych latach (sezonach zimowych) na 20 stacjach IMGW. Wyznaczono pionowy profil analizowanych wskaźników w odniesieniu do wszystkich analizowanych stacji. Przedstawione w pracy równania regresji mają charakter ogólny, nie uwzględniają specyfiki warunków lokalnych. Określono także zmienność zalegania pokrywy śnieżnej w różnych strefach hipsometrycznych w sezonach 1951/52-2007/08 na 4 reprezentatywnych stacjach. Uzyskane wyniki stanowią ważny element regionalnej oceny współczesnego klimatu Polski. Mogą posłużyć do oceny warunków śniegowych w opracowaniach z zakresu ochrony środowiska, leśnictwa, turystyki, gospodarki przestrzennej, etc.

Słowa kluczowe: pokrywa śnieżna, Sudety, równanie regresji, tendencje zmian, projekt „KLIMAT”.

Wstęp

Pokrywa śnieżna wywiera istotny wpływ na środowisko przyrodnicze i na różne sfery działalności człowieka. W związku z jej rolą w modyfikowaniu strumienia energii i wilgoci pomiędzy powierzchnią ziemi a atmosferą uważana jest za jeden z głównych komponentów globalnego systemu klimatycznego (Brown i Goodison, 2005). Ponadto stanowi dobry wskaźnik zmian klimatu okresu zimowego, gdyż podlega jednoczesnemu bezpośredniemu i pośredniemu oddziaływaniu szeregu elementów i czynników klimatu, a zarazem jej obecność lub brak działa na niektóre elementy klimatu (Foster i inni, 1983). Poznanie długookresowych trendów pokrywy śnieżnej w Polsce wydaje się być ważne chociażby z uwagi na rosnący, istotny statystycznie trend temperatury powietrza, głównie w zimie (Kozuchowski i Żmudzka, 2001; Wibig i Głowicki, 2002).

Stan i zmienność czasowa pokrywy śnieżnej w Polsce, głównie nizinnej, są już dość dobrze rozpoznane (Bednorz, 2002; Falarz, 2004, 2007, 2010; Kaspro-wicz, 2010). Na większości obszaru Polski w drugiej połowie XX wieku stwierdza się niewielką ujemną tendencję czasu zalegania i grubości pokrywy śnieżnej. Dodatnim trendem, w przypadku czasu zalegania pokrywy śnieżnej, cechują się tylko niektóre regiony górskie, a w przypadku jej grubości – Polska północno-wschodnia (Falarz, 2004).

Powstało wiele opracowań na temat przestrzennych uwarunkowań rozkładu pokrywy śnieżnej w Sudetach. Podkreśla się w nich wzrost czasu zalegania i grubości pokrywy śnieżnej wraz z wysokością bezwzględną (Reunier, 1935; Kosiba, 1949; Kwiatkowski, 1978, 1985; Hładny i Sýkora, 1983) i zwraca również uwagę na wpływ lokalnej rzeźby terenu i szaty roślinnej na zróżnicowanie miąższości i czasu zalegania śniegu. Zróżnicowanie charakterystyk pokrywy śnieżnej nawet na stosunkowo niewielkich obszarach jest bardzo duże z uwagi na pokrycie terenu i ekspozycję (Bac, 1961; Szarejko, 1984a, b; Mrugasiewicz i Sobik, 2000; Sobik i inni, 2009; Ojrzyńska i inni, 2010; Urban i Richterová, 2009, 2010; Urban i inni, 2011). Wciąż jednak wydaje się niewystarczająca, głównie dla obszarów górskich, liczba opracowań zmienności pokrywy śnieżnej dla długich serii danych.

Poza Polską, wyniki badań długookresowych trendów pokrywy śnieżnej, w skali kraju, opublikowano w innych europejskich państwach, np. w Słowacji (Lapin i Faško, 1996), Szwajcarii (Beniston, 1997; Beniston i inni, 1994) czy Estonii (Jaagus, 1997).

Niniejsza praca jest jednym z wyników zrealizowanego przez IMGW projektu badawczo-rozwojowego nr POIG 01.03.01-14-011/08-00 „KLIMAT” (współfinansowanym przez Unię Europejską) pt.: „Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo (zmiany, skutki i sposoby ich ograniczania, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego)”.

Celem pracy jest charakterystyka zalegania pokrywy śnieżnej w polskich Sudetach i na ich przedpołu. Skoncentrowano się głównie na ogólnych prawidłowościach dotyczących czasu pojawiania się i zaniku pokrywy śnieżnej na gruncie oraz zmienności tego czasu.

Materiał źródłowy i metodyka

Podstawą charakterystyki zalegania pokrywy śnieżnej były daty początku i końca (średnia, najwcześniejsza i najpóźniejsza), rzeczywisty (liczba dni z pokrywą śnieżną ≥ 1 cm) i potencjalny (liczba dni pomiędzy pierwszym i ostatnim pojawieniem się pokrywy śnieżnej) okres występowania pokrywy śnieżnej oraz jej trwałość.

Analizowane parametry wyznaczono dla poszczególnych lat (sezonów zimowych). Za sezon zimowy przyjęto przedział czasu od 1 sierpnia danego roku do 31 lipca roku następnego. Analogiczne podejście zastosowała wcześniej

M. Falarz (2000/2001). Do wyznaczenia analizowanych wskaźników wykorzystano codzienne dane o wysokości pokrywy śnieżnej z godz. 6.00 GMT z wybranych stacji pomiarowych IMGW w polskiej części Sudetów i ich przedpola z 43 kolejnych sezonów zimowych (1965/66-2007/08). Wybór stacji był uwarunkowany przede wszystkim możliwością zgromadzenia długich serii danych oraz kompletnością ciągów pomiarowych. Jednolita we wszystkich analizowanych stacjach była także metodyka pomiarów pokrywy śnieżnej, zgodna z wytycznymi dla Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej (Janiszewski, 1988). Ponadto stacje dobrano w taki sposób, aby nie było istotnych zmian ich lokalizacji oraz aby reprezentowały różne strefy wysokościowe Sudetów (tab. 1, ryc. 1).

Tabela 1. Wykaz stacji wykorzystanych do charakterystyk pokrywy śnieżnej z obszaru polskiej części Sudetów i ich przedpola

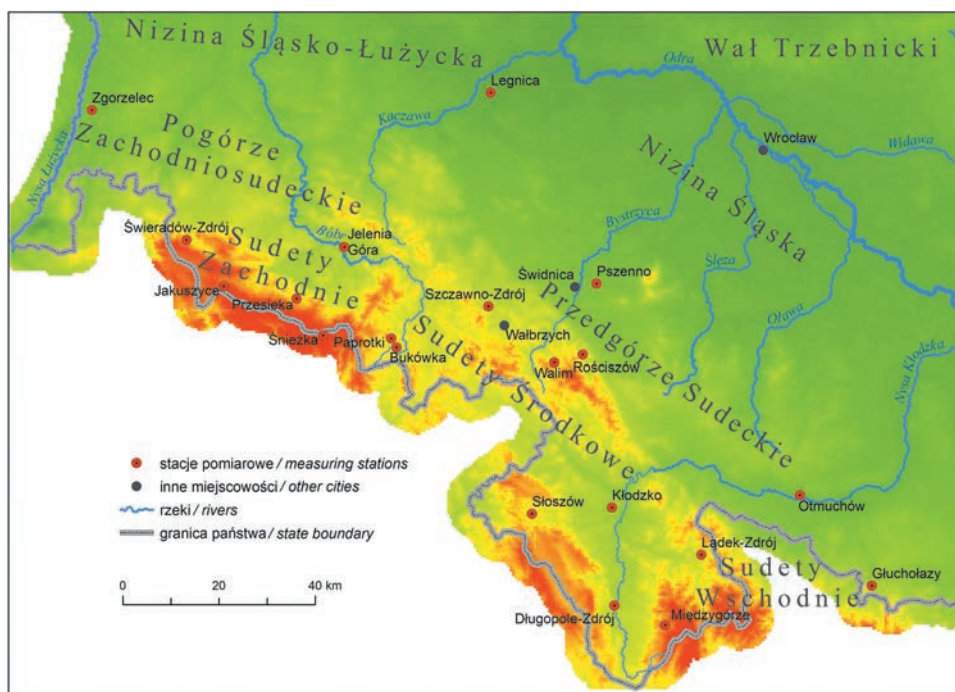
List of stations in the Polish part of the Sudetes and their foreland, used in characterising snow cover

Lp.	Stacja / Station	H [m n.p.m.] H [m a.s.l.]	Makroregion fizycznogeograficzny wg Kondrackiego (1988) <i>Physico-geographical macroregion according to Kondracki's classification (1988)</i>	Piętro klimatyczne wg Hessa i innych (1980) <i>Climatological zone according to Hess et al. (1980)</i>
1	Legnica	122	Nizina Śląsko-Łużycka	umiarkowanie ciepłe
2	Zgorzelec	203	Pogórze Zachodniosudeckie	umiarkowanie ciepłe
3	Otmuchów	212	Przedgórze Sudeckie	umiarkowanie ciepłe
4	Pszemno	225	Przedgórze Sudeckie	umiarkowanie ciepłe
5	Jelenia Góra	342	Sudety Zachodnie	umiarkowanie ciepłe
6	Głucholazy	350	Sudety Wschodnie	umiarkowanie ciepłe
7	Kłodzko	360	Sudety Środkowe	umiarkowanie ciepłe
8	Długopole-Zdrój	393	Sudety Środkowe	umiarkowanie ciepłe
9	Szczawno-Zdrój	430	Sudety Środkowe	umiarkowanie ciepłe
10	Łądek-Zdrój	461	Sudety Wschodnie	umiarkowanie ciepłe
11	Walim	490	Sudety Środkowe	umiarkowanie ciepłe
12	Bukówka	510	Sudety Środkowe	umiarkowanie ciepłe
13	Paprotki	540	Sudety Środkowe	umiarkowanie ciepłe
14	Świeradów-Zdrój	550	Sudety Zachodnie	umiarkowanie ciepłe
15	Słeszów	555	Sudety Środkowe	umiarkowanie ciepłe
16	Rościszów	575	Sudety Środkowe	umiarkowanie chłodne
17	Przesieka	650	Sudety Zachodnie	umiarkowanie chłodne
18	Międzygórze	675	Sudety Wschodnie	umiarkowanie chłodne
19	Jakuszyce	860	Sudety Zachodnie	umiarkowanie chłodne
20	Śnieżka	1603	Sudety Zachodnie	bardzo chłodne

Źródło wszystkich tabel: opracowanie własne.

Source of all tables: author's own work.

Posługując się równaniami regresji liniowych wyznaczono pionowy profil dla średnich dat początku i końca pokrywy śnieżnej dla całej populacji analizowanych stacji z wielolecia 1965/66-2007/08. Równania opisują zmiany średnich dat w profilu wysokościowym, dla całego obszaru polskich Sudetów i ich przedpola. Wyznaczone równania regresji mają charakter ogólny, nie uwzględniają specyfiki warunków lokalnych, uwarunkowanych m.in. formą rzeźby terenu, ekspozycją,



Ryc. 1. Rozmieszczenie stacji uwzględnionych w opracowaniu

Mapa utworzona na podstawie warstw ogólnodostępnych w internecie [<http://download.geofabrik.de/europe/poland.html>] oraz numerycznego modelu terenu udostępnionego przez Uniwersytet Wrocławski.

Locations of the stations taken account of in this work

Map based on the open access map layers [<http://download.geofabrik.de/europe/poland.html>] and numerical terrain model, courtesy by University of Wrocław.

zycją, czy pokryciem przez roślinność, które powodują znaczne zróżnicowanie topoklimatyczne. Ponadto relatywnie mała liczebność stacji i silna ich dysproporcja (lub wręcz ich brak) w rozmieszczeniu w poszczególnych piętrach hipsometrycznych (tab. 1), wyklucza możliwość szczegółowych analiz. Analogiczne podejście dla Sudetów zastosowała wcześniej S. Dusza (1977). Metodę regresji w badaniu warunków klimatycznych Sudetów wykorzystali m.in.: A. Kosiba (1949), M. Hess i inni (1980), Z. Ustrnul (1991) i K. Migała (2005, 2008).

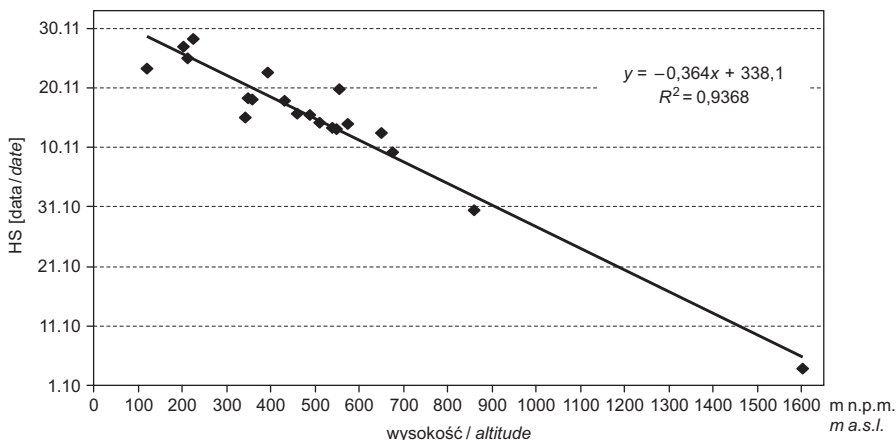
Przeprowadzono także analizę zmienności analizowanych charakterystyk śnieżnych w sezonach 1951/52-2007/08 dla wybranych stacji, co do których dysponowano homogenicznym ciągiem danych, a reprezentujących różne warunki klimatyczne oraz formy morfologiczne (Śnieżka – strefa szczytowa, Łądek-Zdrój – dolna strefa stoków, Jelenia Góra – dno dużych kotlin śródsudeckich i Zgorzelec – pogórze, przedpole Sudetów). Z wyznaczonych równań prostych regresji uzyskano wielkość tendencji. Za pomocą testu *t-Studenta* sprawdzono istotność statystyczną tendencji na poziomie istotności 0,05.

Wyniki

Daty początku i końca występowania pokrywy śnieżnej oraz ich zmienność

Analiza średniej daty pierwszego w sezonie wystąpienia pokrywy śnieżnej w pionowym profilu w polskiej części Sudetów i ich przedpola wskazuje, że na każde 100 m przyrostu wysokości nad poziomem morza pokrywa śnieżna pojawia się o 3,6 dnia wcześniej. Najwcześniej śnieg na gruncie pojawia się na Śnieżce i w rejonie Jakuszyce, przeciętnie odpowiednio około 4 i 31 października. W pozostałych stacjach w profilu pokrywa śnieżna pojawia się w 2 lub 3 dekadzie listopada (ryc. 2). W wieloleciu 1965/66-2007/08 najwcześniej śnieg spadł 25.08.1980 r. – na Śnieżce. Średnia data zaniku pokrywy śnieżnej w profilu hipsometrycznym następuje o 4,8 dnia później na każde 100 m przyrostu wysokości bezwzględnej. Średnia data ostatniego wystąpienia pokrywy śnieżnej w partiach szczytowych, reprezentowanych przez Śnieżkę, przypada na 30 maja, w rejonie Jakuszyce i Międzygórza odpowiednio na 29 i 18 kwietnia, w dolnych partiach stoków mniej więcej na pierwszą dekadę kwietnia, a na Przedgórzu Sudeckim – na ostatnią dekadę marca (ryc. 3).

Analiza zmienności dat początku występowania pokrywy śnieżnej w czterech reprezentatywnych stacjach w profilu wysokościowym Sudetów wskazuje, że na Śnieżce i w Łądku-Zdroju wystąpiła niewielka tendencja wzrostowa, czyli pokrywa śnieżna pojawia się tam o około 1 dzień/10 lat później. Natomiast w stacjach niżej położonych (Jelenia Góra i Zgorzelec) zauważalna jest niewielka tendencja spadkowa, rzędu 1,1÷1,4 dnia na 10 lat (ryc. 4). Wyznaczone tendencje nie są istotne statystycznie na poziomie 0,05. Daty początku i końca pokrywy śnieżnej charakteryzuje generalnie mała zmienność. Współczynniki zmienności opisujące pierwszy dzień z pokrywą śnieżną są jednak dużo mniejsze ($4,7\% \div 6,4\%$) niż współczynniki zmienności dla ostatniego dnia z pokrywą śnieżną ($10,0\% \div 23,8\%$) na danej stacji (tab. 2). Zatem w pionowym profilu Sudetów zakres współczynnika zmienności jest dużo mniejszy dla daty początku pokrywy śnieżnej niż dla daty jej końca. Ponadto współczynnik zmienności dat końca pokrywy śnieżnej jest tym większy, im stacja leży niżej nad poziomem morza. Analogicznie sytuacja wygląda z odchyleniem standardowym, które w przypadku stacji nisko położonych, przy ostatnim wystąpieniu pokrywy śnieżnej, przekracza 20 dni (tab. 2).

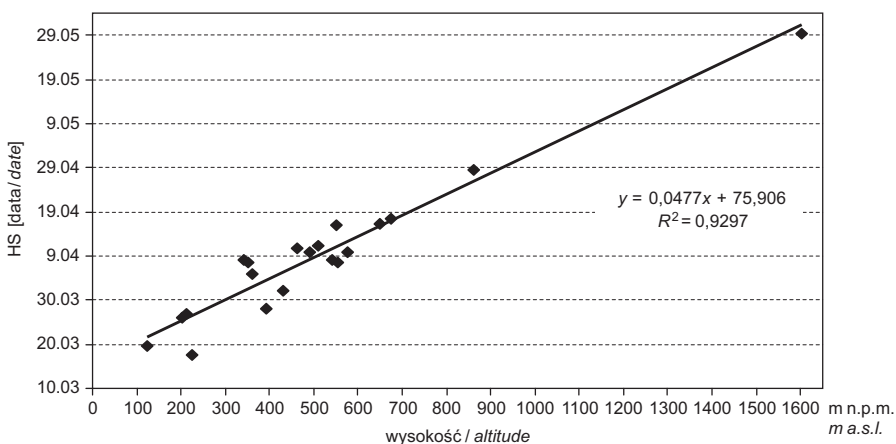


Ryc. 2. Zależność pomiędzy średnią datą początku występowania pokrywy śnieżnej (HS) a wysokością n.p.m. w polskiej części Sudetów i na ich przedpoiu w wieloleciu 1965/66-2007/08

Ryciny 2-8 – opracowanie własne

Correlation between the mean start dates of periods of occurrence of snow cover (HS) and altitude in the Polish part of the Sudetes and their foreland in the winter seasons of the 1965/66-2007/08 period

Figures 2-8 – author's own work

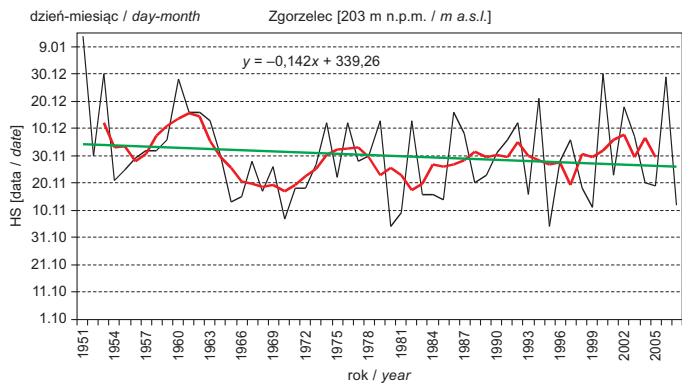
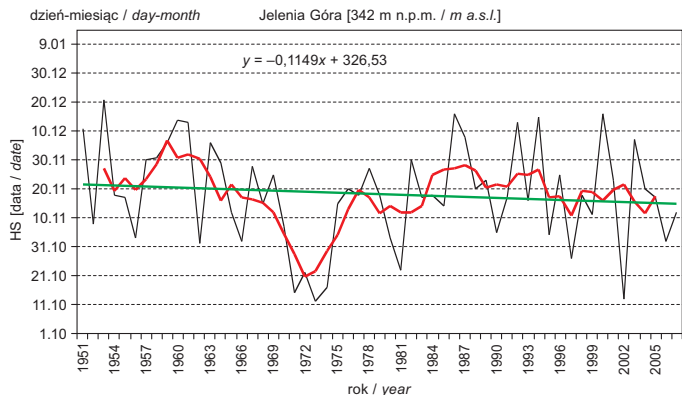
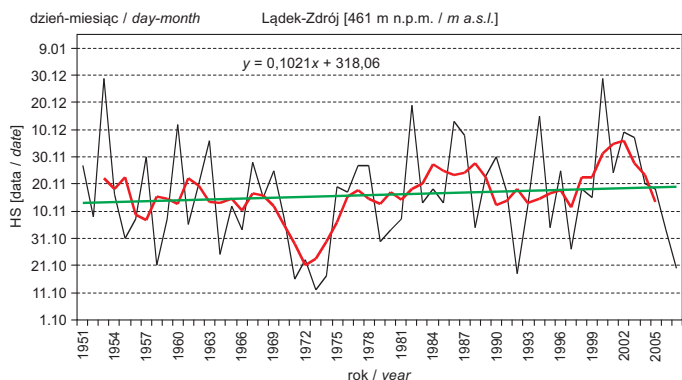
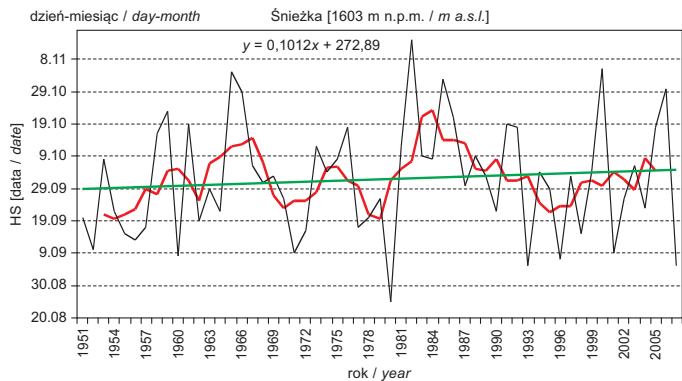


Ryc. 3. Zależność pomiędzy średnią datą końca występowania pokrywy śnieżnej (HS) a wysokością n.p.m. w polskiej części Sudetów i na ich przedpoiu w wieloleciu 1965/66-2007/08

Correlation between the mean final dates of periods of occurrence of snow cover (HS) and altitude in the Polish part of the Sudetes and their foreland in the winter seasons of the 1965/66-2007/08 period

Ryc. 4. Zmienność dat początku występowania pokrywy śnieżnej (HS) w wybranych stacjach w polskiej części Sudetów i na ich przedpoiu wraz z linią trendu (linia zielona) i równaniem regresji oraz 5-letnią średnią konsekwtywną (linia czerwona) w wieloleciu 1951/52-2007/08

Variability to the start dates of periods of occurrence of snow cover (HS) at selected stations in the Polish part of the Sudetes and their foreland, along with (green) trend line and regression equation and consecutive 5-year averages (red line) in the winter seasons of the 1951/52-2007/08 period



Z kolei przebieg dat końca pokrywy śnieżnej wykazuje tendencję spadkową w reprezentatywnych stacjach profilu hipsometrycznego Sudetów, od około 0,4 dnia na 10 lat na Śnieżce do około 3,7 dnia na 10 lat w Łądku-Zdroju – zatem, w analizowanym wieloleciu, o tyle dni wcześniej zanikała pokrywa śnieżna w ciągu 10 lat (ryc. 5, tab. 2). Jedynie dla Łądku-Zdroju tendencja jest istotna statystycznie na poziomie 0,05.

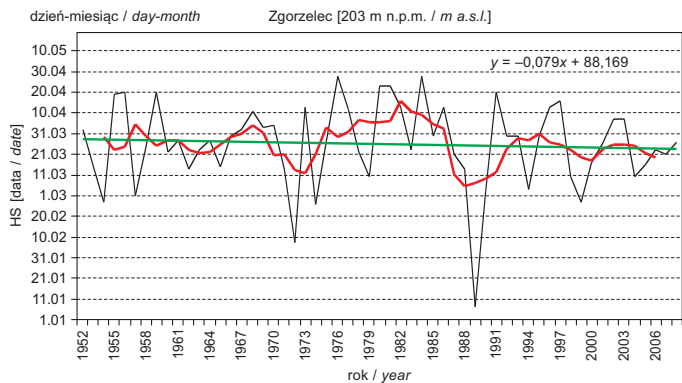
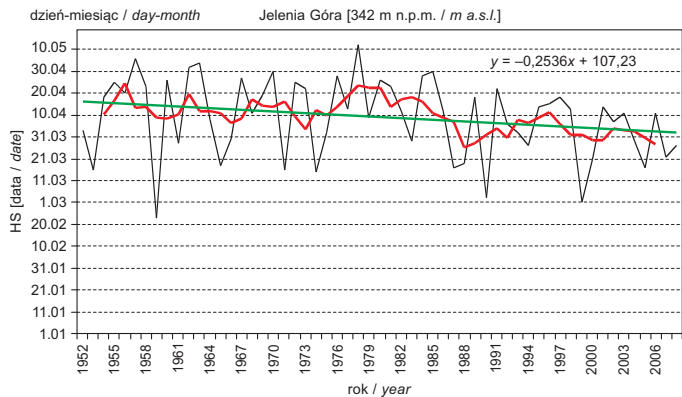
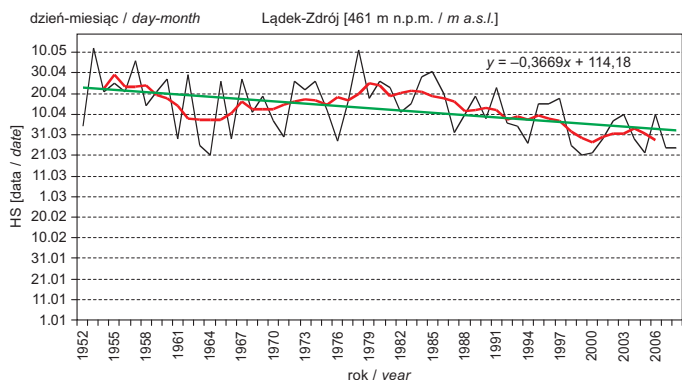
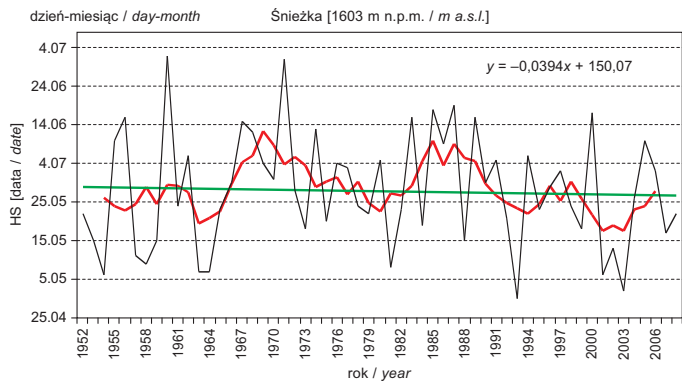
Tabela 2. Wybrane charakterystyki dat początku i końca pokrywy śnieżnej w wieloleciu 1951/52-2007/08

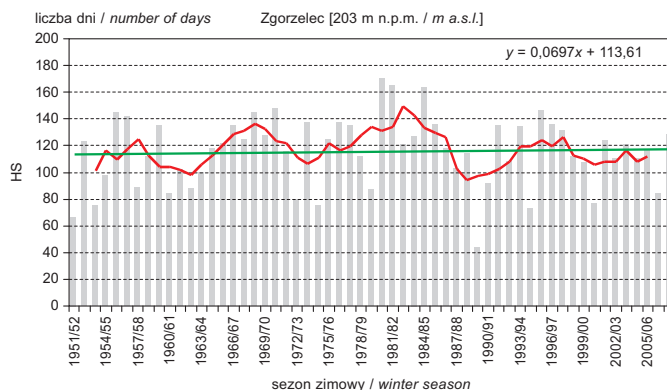
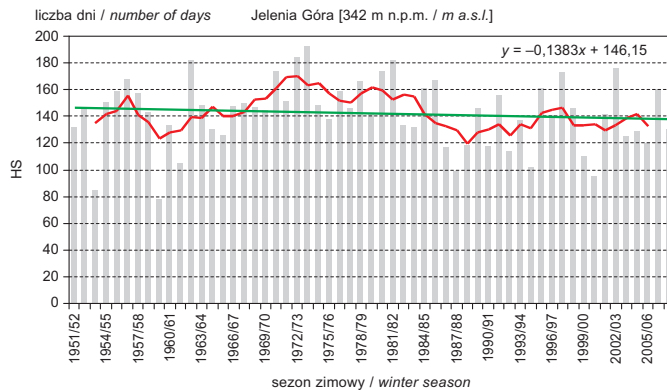
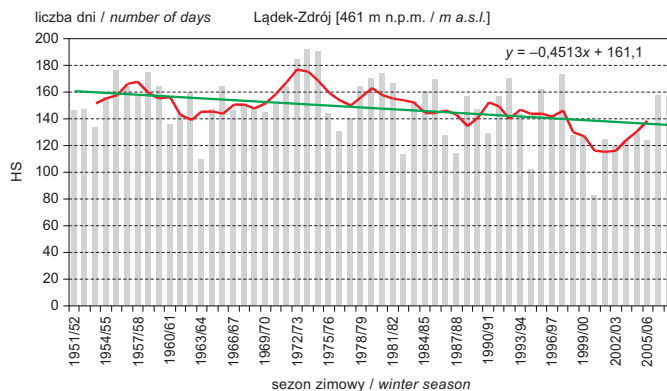
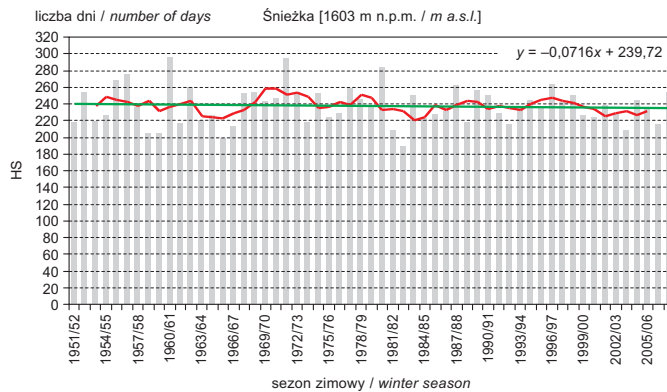
Selected characteristics of the start and final dates of periods of snow cover in the winter seasons of the 1951/52-2007/08 period

Stacja Station	Daty początku pokrywy śnieżnej / <i>Starting dates of snow cover</i>							
	Średnia [data] <i>Average [date]</i>	Najwcześniejsze <i>The earliest one</i>		Najpóźniejsze <i>The latest one</i>		Odchylenie standardowe <i>Standard deviation</i> [dni / <i>days</i>]	Współczynnik zmienności <i>Variation coefficient</i> [%]	Zmiana [dni] / 10 lat <i>Change [days] / 10 years</i>
		data <i>date</i>	rok <i>year</i>	data <i>date</i>	rok <i>year</i>			
Śnieżka	2.10	25.08	1980	14.11	1982	17,7	6,4	1,01
Łądek-Zdrój	16.12	12.10	1973	29.12	2000	18,3	5,7	1,02
Jelenia Góra	18.11	12.10	1973	21.12	1953	17,4	5,4	−1,15
Zgorzelec	30.11	4.12	1995	13.01	1952	15,6	4,7	−1,42
Stacja Station	Daty końca pokrywy śnieżnej / <i>Final dates of snow cover</i>							
	Średnia [data] <i>Average [date]</i>	Najwcześniejsze <i>The earliest one</i>		Najpóźniejsze <i>The latest one</i>		Odchylenie standardowe <i>Standard deviation</i> [dni / <i>days</i>]	Współczynnik zmienności <i>Variation coefficient</i> [%]	Zmiana [dni] / 10 lat <i>Change [days] / 10 years</i>
		data <i>date</i>	rok <i>year</i>	data <i>date</i>	rok <i>year</i>			
Śnieżka	28.05	30.04	1993	1.07	1971	14,9	10,0	−0,39
Łądek-Zdrój	13.04	21.03	1964 /1999	12.05	1953	13,6	13,1	−3,67
Jelenia Góra	9.04	23.02	1959	12.05	1978	17,8	17,8	−2,54
Zgorzelec	26.03	7.01	1989	28.04	1984	20,5	23,8	−0,79

Ryc. 5. Zmienność dat końca występowania pokrywy śnieżnej (HS) w wybranych stacjach w polskiej części Sudetów i na ich przedpolu wraz z linią trendu (linia zielona) i równaniem regresji oraz 5-letnią średnią konsekwentną (linia czerwona) w wieloleciu 1951/52-2007/08

Variability to the final dates of periods of occurrence of snow cover (HS) at selected stations in the Polish part of the Sudetes and their foreland, along with (green) trend line and regression equation and consecutive 5-year averages (red line) in the winter seasons of the 1951/52-2007/08 period





Zmienność potencjalnego czasu trwania pokrywy śnieżnej

W analizowanym wieloleciu potencjalny okres zalegania pokrywy śnieżnej w profilu Sudetów i na ich przedpołu wykazywał tendencję do skracania się. Tempo jego skracania się wynosiło od około 0,7 dnia na 10 lat w strefach szczytowych i na przedpołu do aż około 4,5 dnia na 10 lat w dolnych partiach stoków (ryc. 6). Tylko dla Łądko-Zdroju wyznaczona tendencja okazała się być istotna statystycznie na poziomie 0,05. Średnia długość potencjalnego okresu zalegania pokrywy śnieżnej w polskich Sudetach w sezonach 1951/52-2007/08 wynosi od 116 dni w Zgorzelcu do 238 dni na Śnieżce. Zmienność tej charakterystyki ma analogiczny charakter jak w przypadku liczby dni z pokrywą śnieżną – jest odwrotnie proporcjonalna do wysokości bezwzględnej (tab. 3). W rzeczywistości czas zalegania pokrywy śnieżnej (wyrażony liczbą dni z pokrywą śnieżną) jest i tak wyraźnie krótszy niż czas potencjalny, a różnica pomiędzy czasem potencjalnym a rzeczywistym w zaleganiu pokrywy śnieżnej jest tym większa, im stacja leży niżej nad poziomem morza (ryc. 7).

Tabela 3. Wybrane charakterystyki potencjalnego czasu zalegania pokrywy śnieżnej w wieloleciu 1951/52-2007/08

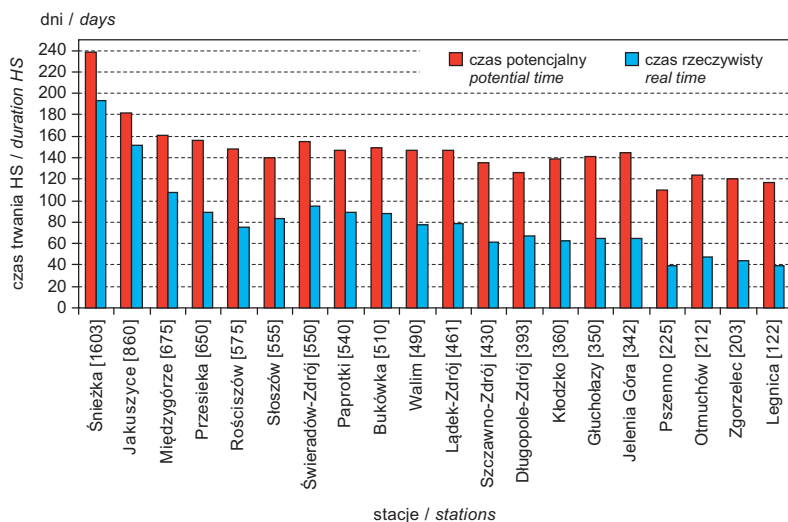
Selected characteristics of the potential time of occurrence of snow cover in the winter seasons of the 1951/52-2007/08 period

Stacja Station	Potencjalny czas występowania pokrywy śnieżnej <i>Potential time of occurrence of snow cover</i>							
	Średnia [dni] <i>Average [days]</i>	Najwcześniej <i>The earliest one</i>		Najpóźniej <i>The latest one</i>		Odchylenie standardowe <i>Standard deviation [dni / days]</i>	Współczynnik zmienności <i>Variation coefficient [%]</i>	Zmiana [dni] / 10 lat <i>Change [days] / 10 years</i>
		dni <i>days</i>	sezon <i>season</i>	dni <i>days</i>	sezon <i>season</i>			
Śnieżka	238	297	1960/61	190	1982/83	22,8	9,6	-0,72
Łądek-Zdrój	148	192	1973/74	83	2000/01	22,2	15,0	-4,51
Jelenia Góra	142	192	1973/74	78	1959/60	25,3	17,8	-1,38
Zgorzelec	116	170	1980/81	44	1989/90	26,1	22,6	0,70



Ryc. 6. Zmienność potencjalnego czasu trwania pokrywy śnieżnej (HS) w wybranych stacjach w polskiej części Sudetów i na ich przedpołu wraz z linią trendu (linia zielona) i równaniem regresji oraz z 5-letnią średnią konsekutywną (linia czerwona) w wieloleciu 1951/52-2007/08

Variability to the potential duration time of snow cover (HS) at the selected stations in the Polish part of the Sudetes and their foreland, along with (green) trend line, regression equation and consecutive 5-year averages (red line) in the winter seasons of the 1951/52-2007/08 period



Ryc. 7. Potencjalny i rzeczywisty czas trwania pokrywy śnieżnej (HS) na stacjach w polskiej części Sudetów i na ich przedpolu w wieloletniu 1965/66-2007/08

Potential and real durations of snow cover at stations in the Polish part of the Sudetes and their foreland in the winter seasons of the 1965/66-2007/08 period

Zmienność współczynnika trwałości pokrywy śnieżnej

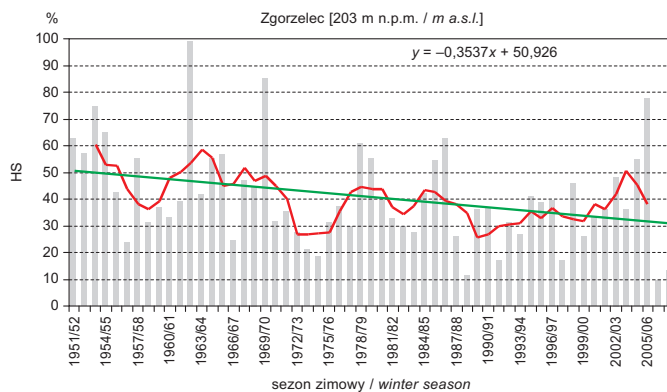
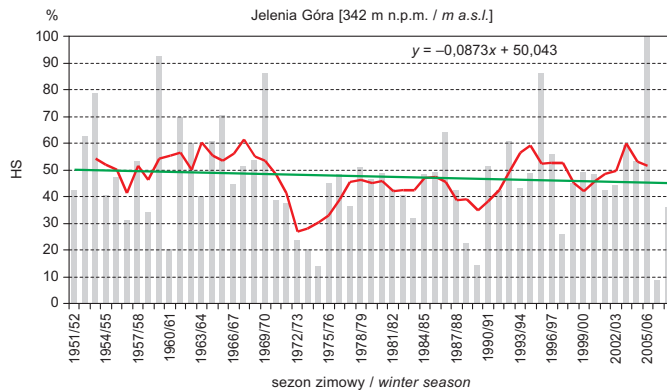
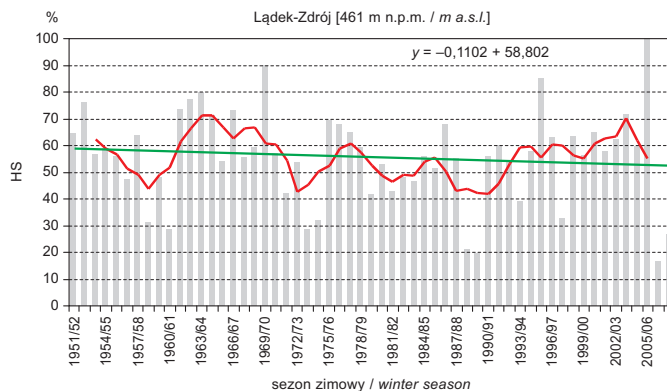
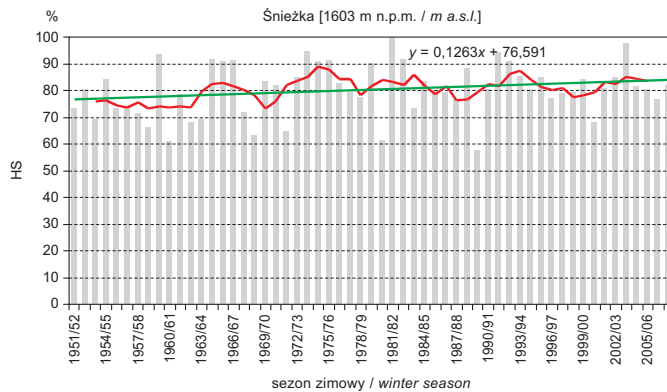
W niniejszej pracy trwałość pokrywy śnieżnej jest rozumiana jako wyrażony w procentach iloraz rzeczywistego czasu zalegania pokrywy śnieżnej do długości jej czasu potencjalnego w danym sezonie, zatem jej wartości zawierają się w przedziale od 1 do 100% (taki wskaźnik zastosowano w wielu innych pracach: Leśniak, 1981; Nowosad, 1992; Falarz, 1993, 2000-2001, 2010). Średnia wieloletnia wartość współczynnika trwałości pokrywy śnieżnej wynosi od około 40% w strefie Pogórza Zachodniosudeckiego (Zgorzelec) do 80% w strefie szczytowej (tab. 4). Współczynnik trwałości pokrywy śnieżnej na Śnieżce osiągnął najniższą wartość 58% w sezonie zimowym 1989/90, przy czym w zasadzie nie spada poniżej 70%. Natomiast w Jeleniej Górze i w Zgorzelcu, podczas zimy 2006/07, osiągnął 10%. Maksymalna możliwa wartość (100%) współczynnika trwałości pokrywy śnieżnej wystąpiła w wielu stacjach sudeckich (np. Śnieżka, Łądek-Zdrój, Jelenia Góra) w sezonie 2005/06, a wysokie wartości także podczas sezonów: 1969/70, 1962/63, 1995/96. Najmniejsza jego wartość w większości analizowanych stacji w całym profilu przypadła na sezon 2006/07, a niskie wartości dotyczyły też sezonów: 1988/89, 1989/90 i 1974/75. Ponadto w analizowanym wieloletniu pokrywę śnieżną w polskiej części Sudetów – poza strefą szczytową (Śnieżka) – cechowało

zmniejszanie się jej trwałości o 0,9% na 10 lat w Jeleniej Górze do 3,5% /10 lat w Zgorzelcu (ryc. 8; tab. 4). Tylko dla Zgorzelca wyznaczona tendencja jest istotna statystycznie na poziomie 0,05. W drugiej połowie XX w. ujemnym trendem współczynnika trwałości pokrywy śnieżnej cechowała się cała Polska, poza Śnieżką (Falarz, 2010). Na Dolnym Śląsku występuje znaczny poziomy gradient wartości wieloletniego współczynnika trwałości pokrywy śnieżnej. Związany jest z bliskim sąsiedztwem obszarów o ekstremalnie różnych warunkach zalegania pokrywy śnieżnej, np. rejon Zgorzelca o bardzo ubogich warunkach niwalnych i pobliska, kontrastowa pod względem grubości i czasu zalegania pokrywy strefa szczytowo-wierzchowinowa Sudetów Zachodnich.

Tabela 4. Wybrane charakterystyki trwałości pokrywy śnieżnej w wieloleciu 1951/52-2007/08
Selected characteristics of the durability of snow cover in the winter seasons
of the 1951/52-2007/08 period

Stacja <i>Station</i>	Współczynnik trwałości pokrywy śnieżnej <i>Coefficient of the durability of snow cover</i>							
	Średnia <i>Average</i> [%]	Największy <i>The largest one</i>		Najmniejszy <i>The least one</i>		Odchylenie standardowe <i>Standard deviation</i> [%]	Współczynnik zmienności <i>Variation coefficient</i> [%]	Zmiana [%] / 10 lat <i>Change [%] / 10 years</i>
		%	sezon <i>season</i>	%	sezon <i>season</i>			
Śnieżka	80	100	1981/82	58	1989/90	9,8	12,2	1,26
Lądek-Zdrój	56	100	2005/06	17	2006/07	17,3	31,1	-1,10
Jelenia Góra	48	100	2005/06	9	2006/07	18,6	39,2	-0,87
Zgorzelec	41	99	1962/63	10	2006/07	18,2	44,7	-3,54

Wbrew pozorom wysokie wartości współczynnika notuje się nie tylko w stacjach najwyżej położonych, lecz również na Pogórzu i w kotlinach śródgórskich. Przykładem mogą być sezony: 2005/06, 1995/96 czy 1969/70, kiedy współczynnik trwałości pokrywy śnieżnej w Jeleniej Górze był wyższy niż na Śnieżce. Jego wartości w Jeleniej Górze wyniosły odpowiednio: 100%, 86%, i 86%, natomiast na Śnieżce: 80%, 85% i 84%. W sezonie 2005/06 nawet w nisko położonym Zgorzelcu (203 m n.p.m.) współczynnik trwałości osiągnął 78%, a w sezonach 1962/63 i 1969/70 był wyższy niż na Śnieżce, odpowiednio o 31% i 1%, osiągając wartości 99% i 85% (ryc. 8). Wynik ten jest zbieżny z wcześniejszymi wynikami B. Leśniak (1981), która analogiczne prawidłowości wykazała w dorzeczu górnej Wisły. Autorka tłumaczy ten fakt odnawianiem się pokrywy śnieżnej na krótki czas na większych wysokościach podczas wiosennych nawrotów chłodu. Wydłuża to niekiedy dość wyraźnie czas potencjalnego zalegania pokrywy przy nie-



znacznym wydłużeniu czasu rzeczywistego. W piętrze podgórskim warunki termiczne podczas wiosennych nawrotów chłodu o wiele rzadziej sprzyjają ponownemu utworzeniu się pokrywy śnieżnej. Podobnie jest jesienią, kiedy w wyższych piętrach pokrywa na krótko pojawia się dość wcześnie (wrzesień–październik), przez co znacznie wydłuża potencjalny czas zalegania.

Podsumowanie i wnioski

Pokrywa śnieżna w polskiej części Sudetów i na ich przedpolu wykazuje bardzo dużą zmienność czasową i przestrzenną. Niestabilność występowania okresów z pokrywą śnieżną dotyczy głównie dolnej części profilu wysokościowego Sudetów i ich przedpola.

Wyniki analizy średniej daty początku wystąpienia pokrywy śnieżnej na gruncie wskazują, że na każde 100 m przyrostu wysokości nad poziomem morza pojawia się ona o 3,6 dnia wcześniej. Najwcześniej śnieg występuje na Śnieżce i w rejonie Jakuszyca, przeciętnie odpowiednio około 4 i 31 października. W pozostałych stacjach sudeckich śnieg spada w 2 lub 3 dekadzie listopada.

Średnia data końca występowania pokrywy śnieżnej na gruncie przypada o 4,8 dnia później na każde 100 m przyrostu wysokości bezwzględnej. W partiach szczytowych przypada na 30 maja, w okolicy Jakuszyca i Międzygórza odpowiednio na 29 i 18 kwietnia, w dolnych partiach stoków na pierwszą dekadę kwietnia, a na Przedgórzu Sudeckim na ostatnią dekadę marca.

Współczynniki zmienności opisujące pierwszy dzień z pokrywą śnieżną są dużo mniejsze ($4,7\% \div 6,4\%$) niż współczynniki zmienności dla ostatniego dnia z pokrywą śnieżną ($10,0\% \div 23,8\%$) w danej stacji. Ponadto są one dla dat końca pokrywy śnieżnej tym większe, im stacja leży niżej nad poziomem morza.

W wieloleciu 1951/52-2007/08, w reprezentatywnych stacjach pomiarowych w profilu wysokościowym Sudetów wraz z ich przedpołem zaznaczyła się niewielka ujemna tendencja daty ostatniego wystąpienia pokrywy śnieżnej na gruncie – następował jej wcześniejszy zanik, od około 0,4 dnia na 10 lat na Śnieżce do blisko 3,7 dnia na 10 lat w Łądku-Zdroju.

Analogiczna prawidłowość dotyczy potencjalnego czasu zalegania pokrywy śnieżnej. Tempo jego skracania się wynosiło od około 0,7 dnia na 10 lat w strefach szczytowych i na przedpolu do aż około 4,5 dnia na 10 lat w dolnych partiach stoków. Zmienność tej charakterystyki jest odwrotnie proporcjonalna do wysokości bezwzględnej.



Ryc. 8. Zmienność współczynnika trwałości pokrywy śnieżnej (HS) w wybranych stacjach w polskiej części Sudetów i na ich przedpolu wraz z linią trendu (linia zielona) i równaniem regresji oraz z 5-letnią średnią konsekwentną (linia czerwona)

Variability of the snow cover durability index (HS) at selected stations in the Polish part of the Sudetes and their foreland, along with (green) trend line, regression equation and consecutive 5-year averages (red line) in the winter seasons of the 1951/52-2007/08 period

Rzeczywisty czas zalegania pokrywy śnieżnej jest wyraźnie krótszy niż czas potencjalny, a różnica jest tym większa, im stacja leży niżej nad poziomem morza. Od tej zasady zdarzają się wyjątki, jak w sezonach zimowych 2005/06, 1995/96, 1969/70 i 1962/63, kiedy trwałość pokrywy śnieżnej w stacjach nisko położonych (Jelenia Góra, Zgorzelec) była większa niż w strefie szczytowej (Śnieżka). Pokrywę śnieżną w polskiej części Sudetów – poza strefą szczytową (Śnieżka) – cechowało zmniejszanie się jej trwałości.

Wyznaczone tendencje analizowanych w pracy parametrów pokrywy śnieżnej okazały się być istotne statystycznie na poziomie istotności 0,05 jedynie w przypadku dat końca wystąpienia pokrywy śnieżnej i jej potencjalnego czasu trwania w Łądku-Zdroju oraz dla jej współczynnika trwałości w Zgorzelcu.

Uzyskane wyniki badań warunków śniegowych w profilu pionowym polskiej części Sudetów wraz z ich przedpołem stanowią ważny element regionalnej oceny współczesnego klimatu Polski. W połączeniu z analizą innych czynników – zarówno meteorologicznych, jak i morfologicznych – mogą posłużyć do oceny warunków śniegowych do uprawiania różnych form narciarstwa i turystyki zimowej. Dodatkowo wyniki zmian warunków śnieżnych mogą zostać wykorzystane m.in. do zbadania czy i na ile obserwowane globalne i regionalne tendencje wzrostu temperatury powietrza przekładają się na zmiany np. czasu zalegania pokrywy śnieżnej. Ponadto stanowią one zaplecze do różnych opracowań z zakresu ochrony środowiska, leśnictwa, turystyki, gospodarki przestrzennej, etc.

Zmiany niektórych współczynników pokrywy śnieżnej, np. trwałości pokrywy, są w polskiej części Sudetów i na ich przedpołu, podobnie jak na większości obszaru Polski (Falarz, 2010), stosunkowo niewielkie i nie powinny być przyczyną negatywnych skutków w przyrodzie i gospodarce człowieka.

Przedstawione w pracy wyniki i wyznaczone związki mogą służyć jako podstawa do dalszych szczegółowych badań (przy uwzględnieniu pokrycia terenu i lokalnych warunków morfologicznych, etc.) nad pokrywą śnieżną Sudetów. Mogą również być użyteczne do porównań warunków śniegowych w polskich Sudetach i w innych górach.

Piśmiennictwo / References

- Bac S. jr., 1961, *Szata śnieżna w zlewni źródłkowej Bobru*, Zeszyty Naukowe WSR we Wrocławiu, 19, s. 61-72.
- Bednorz E., 2002, *Snow cover in western Poland and macro-scale circulation conditions*, International Journal of Climatology, 22, s. 533-541.
- Beniston M., 1997, *Variations of snow depth and duration in the Swiss Alps over the last 50 years: links to changes in large-scale climatic forcings*, Climate Change, 36, s. 281-300.
- Beniston M., Rebetz M., Giorgi F., Marinucci MR., 1994, *An analysis of regional climate change in Switzerland*, Theoretical and Applied Climatology, 49, s. 135-159.
- Brown R. D., Goodison B.E., 2005, *Snow cover*, [w:] *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, red. M. G. Andersen i J. J. McDonnell, Wiley & Sons Ltd., 4, s. 2463-2474.

- Dusza S., 1977, *Prawdopodobieństwo występowania dobowych sum opadów o określonych wartościach w profilu pionowym Sudetów*, Zakład Klimatologii, UJ, Kraków, maszynopis.
- Falarz M., 1993, *O warunkach meteorologicznych zimowania roślin uprawnych w Karpatach Zachodnich*, Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich, 36, s. 75-88.
- Falarz M., 2000-2001, *Zmienność wieloletnia występowania pokrywy śnieżnej w polskich Tatrach*, [w:] Folia Geographica, seria: Geographica Physica, 31-32, s. 101-123.
- Falarz M., 2004, *Variability and trends in the duration and depth of snow cover in Poland in the 20th century*, International Journal of Climatology, 24, 13, s. 1713-1727.
- Falarz M., 2007, *Potencjalny okres występowania pokrywy śnieżnej w Polsce i jego zmiany w XX wieku*, [w:] K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, IGiGP UJ, Kraków, s. 205-213.
- Falarz M., 2010, *Współczynnik trwałości pokrywy śnieżnej w Polsce – rozkład przestrzenny, ekstrema, zmiany wieloletnie*, [w:] E. Bednorz (red.), *Klimat Polski na tle klimatu Europy. Warunki termiczne i opadowe*, seria: Studia i Prace z Geografii i Geologii, 15, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 167-179.
- Foster J., Owe M., Rango A., 1983, *Snow cover and temperature relationships in North America and Eurasia*, Journal of Climate and Applied Meteorology, 22, s. 460-469.
- Hess M., Niedźwiedz T., Obrebska-Starkłowa B., 1980, *O prawidłowościach piętrowego zróżnicowania stosunków klimatycznych w Sudetach*, Rocznik Naukowo-Dydaktyczny WSP w Krakowie, 71, Prace Geograficzne, 8, s. 167-201.
- Hladný J., Sýkorá B., 1983, *Klimatologie, hydrologie, sněhová pokraka*, [w:] B. Sýkorá (red.), *Krkonoský Národní Park, Státní zemědělské nakladatelství*, Praha, s. 33-44.
- Jaagus J., 1997, *The impact of climate change on the snow cover pattern in Estonia*, Climate Change, 36, s. 65-77.
- Janiszewski F., 1988, *Instrukcja dla stacji meteorologicznych*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Kasprowicz T., 2010, *Prawidłowości przestrzenne występowania pokrywy śnieżnej Polsce i próba ich regionalizacji*, [w:] E. Bednorz (red.), *Klimat Polski na tle klimatu Europy. Warunki termiczne i opadowe*, seria: Studia i Prace z Geografii i Geologii, 15, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 181-198.
- Kondracki J., 1988, *Geografia fizyczna Polski*, PWN, Warszawa.
- Kosiba A., 1949, *Częstość szaty śnieżnej na Ziemiach Śląskich*, Prace Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego, B, 21, Wrocław, ss. 91.
- Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001, *Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku*, Przegląd Geofizyczny, 46, 1-2, s. 81-122.
- Kwiatkowski J., 1978, *Pokrywa śnieżna Sudetów, jej gęstość i zawarty w niej zapas wody*, Czasopismo Geograficzne, 49, 4, s. 419-435.
- Kwiatkowski J., 1985, *Szata śnieżna, szadź i lawiny*, [w:] A. Jahn (red.), *Karkonosze Polskie*, Ossolineum, Wrocław, s. 117-144.
- Lapin M., Faško P., 1996, *Snow cover and precipitation changes in Slovakia in the 1921-1996 period*, [w:] *Proceedings of the 24th International Conference on Alpine Meteorology*, red. J. Rakovec, M. Zagar, HMI of Slovenia, Bled, s. 259-266.
- Leśniak B., 1981, *Współczynnik trwałości pokrywy śnieżnej na obszarze dorzecza górnej Wisty*, Folia Geographica, seria: Geographica Physica, XIV, s. 89-102.
- Migała K., 2005, *Piętra klimatyczne w górach Europy a problem zmian globalnych*, Acta Universitatis Wratislaviensis, 2718, Studia Geograficzne, 78.

- Migała K., 2008, *Prognoza zmian pluwio-termicznych w piętrach roślinno-klimatycznych na obszarze średniogórza europejskiego*, [w:] *Monitoring ekosystemów leśnych w Karkonoskim Parku Narodowym*, Wydawnictwo ARGi, Wrocław, KPN, Jelenia Góra, s. 72-81.
- Mrugasiewicz P., Sobik M., 2000, *Morfologiczne i środowiskowe uwarunkowania pokrywy śnieżnej w polskiej części zlewni Izery*, *Acta Universitatis Wratislaviensis*, 2269, *Studia Geograficzne*, 74, s. 159-172.
- Nowosad M., 1992, *Pokrywa śnieżna w Bieszczadach i warunki jej występowania*, maszynopis w UMCS, Lublin.
- Ojrzyńska H., Błaś M., Kryza M., Sobik M., Urban G., 2010, *Znaczenie lasu oraz morfologii terenu w rozwoju pokrywy śnieżnej w Sudetach Zachodnich na przykładzie sezonu zimowego 2003/2004*, *Sylvan*, 154 (6), s. 412-428.
- Reunier H., 1935, *Höhe und Andauer der Schneedecke im Riesengebirge*, *Meteorologische Zeitschrift*, 52, 3.
- Sobik M., Urban G., Błaś M., Kryza M., Tomczyński K., 2009, *Uwarunkowania zalegania pokrywy śnieżnej w Sudetach Zachodnich w sezonach zimowych 2001/2002-2005/2006*, *Wiadomości MHGW*, 3, 2-3, s. 31-47.
- Szarejko Z., 1984a, *Obserwacje nad zanikaniem pokrywy śnieżnej na terenie zlewni górnej Kamiennej*, [w:] *Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe: Problematyka hydrologiczna i meteorologiczna małych zlewni rzecznych*, Wrocław, 27-29 września 1984 r., Polskie Towarzystwo Geofizyczne, Wrocław, s. 230-231.
- Szarejko Z., 1984b, *Struktura przestrzenna pokrywy śnieżnej na terenie zlewni górnej Kamiennej*, [w:] *Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe: Problematyka hydrologiczna i meteorologiczna małych zlewni rzecznych*, Wrocław, 27-29 września 1984 r., Polskie Towarzystwo Geofizyczne, Wrocław, s. 232-233.
- Urban G., Richterová D., 2009, *Assessment of snow conditions for skiing on selected examples from the Polish-Czech border area in the Western Sudetes Mountains*, [w:] A. Pribullová, S. Bičárová (red.), *Sustainable Development and Bioclimate, Reviewed Conference Proceedings*, 5-8.10.2009, *Stará Lesná*, Geophysical Institute of the SAS, Stará Lesná, s. 60-61.
- Urban G., Richterová D., 2010, *Warunki śniegowe a uprawianie narciarstwa w Sudetach Zachodnich na polsko-czeskim pograniczu*, *Wiadomości MHGW*, 3, 1-4, s. 3-28.
- Urban G., Richterová D., Vajskebr V., 2011, *Pokrywa śnieżna w październiku 2009 w Sudetach Zachodnich jako przykład zjawiska ekstremalnego*, *Wiadomości MHGW*, 5, 4, s. 75-96.
- Ustrnul Z., 1991, *Porównawcza analiza stosunków termicznych Tatr i Karkonoszy*, *Acta Universitatis Wratislaviensis*, 1213, 4, s. 173-178.
- Wibig J., Głowicki B., 2002, *Trends of minimum and maximum temperature in Poland*, *Climate Research*, 20, s. 123-133.

[Wpłynęło: grudzień 2014; poprawiono: marzec 2015 r.]

GRZEGORZ URBAN

DURATION OF SNOW COVER AND ITS VARIABILITY
IN THE POLISH PART OF THE SUDETES MTS. AND THEIR FORELAND

This article represents part of the output of the “KLIMAT” research-development project (No. POIG 01.03.01-14-011/08-00) implemented by Poland’s Institute of Meteorology and Water Management (IMGW) and co-financed by the European Regional Development Fund. The full name of the project is: “The impact of climate change on the environment, economy and society (changes, effects and solutions to reducing them, applications for science, engineering practices and economic planning)”.

The characterisation of snow-cover duration encompassed beginning and end dates, real and potential period of occurrence and stability. The winter half-year was first identified as the period from August 1 (of a given current year) to July 31 (of the following year). In order to determine relevant indicators, daily data on snow cover from 6.00 GMT were used, these being obtained from selected meteorological stations located in the Polish part of the Sudetes Mountains and their foreland. Some 43 winter seasons (1965/66-2007/08) were considered, with the selection of stations based primarily around the availability of sufficiently long and complete data series. Furthermore, the stations selected – to represent various hypsometric zones in the range – were those that had not been through a change of location over the period of study.

Snow cover in the Polish part of the Sudetes Mts. and their foreland display a very high degree of temporal and spatial variability. Marked instability to the length and timing of periods during which snow cover occurs can particularly be observed in the lower part of the Mountains’ altitudinal profile and in the foreland areas.

Analysis of results for the mean date of the onset of snow cover on the ground indicates that, with each 100 m increase in altitude, snow cover appears 3.6 days earlier on average. The earliest occurrence of snow is noted on Śnieżka and in the Jakuszyce region, respectively on 4th and 31st October on average. At the other stations in the Mountains, snow tends to fall first in the second or last third of November.

The mean date on which snow cover of the ground melts away to nothing displays a 4.8-day delay for each 100 m increase in altitude. Thus, in the summital parts of the Mountains here, the average end date is 30th May; in the Jakuszyce and Międzygórze regions it is on 28th or 18th April respectively; on the lower parts of the slopes the date is within the first third of April; and in the Sudeten foreland as early as in the final third of March.

Variability coefficients describing the day of onset of snow cover are found to assume much lower values ($4.7\div6.4\%$) than those relating to the last day on which snow cover remains at a given station ($10.0\div23.8\%$). Furthermore, in the case of the snow-cover final days, values for coefficients are higher at lower altitudes.

In the multi-annual period 1951/2-2007/8, it is possible to note a slight downward trend for end dates of snow cover occurrence, which is to say earlier disappearance of snow. Specifically, with each successive 10-year period, the duration of snow cover was shorter by 0.4 days on Śnieżka and by some 3.7 days in Łądek-Zdrój.

An analogous regularity was to be observed in regard to the duration of snow cover. The rate at which this duration declined over the study period was found to range

between 0.7 days/10 years in the summital zones and foreland and 4.5 days/10 years on the lower parts of slopes. The variability associated with this parameter is thus inversely proportional to altitude.

The real time over which snow persists is thus visibly shorter than the potential period over which snow cover might occur. In general, this difference between potential and actual snow cover duration is greater at lower-altitude stations. Exceptions were, however, to be noted in the 2005/6, 1995/6, 1969/70 and 1962/3 winter seasons, during which snow cover was actually more prolonged at the low-altitude stations (Jelenia Góra, Zgorzelec) than on the peak of Mt. Śnieżka (whose name means snow). Overall, snow cover in the Polish part of the Sudetes (away from the summital zone of Śnieżka) has been characterised by decreasing persistence over time.

The trends identified for the parameters analysed only achieve statistical significance (at $p < 0.05$) in the case of snow-cover final dates and potential durations in Łądek-Zdrój, as well as the duration coefficient in Zgorzelec.

The presented results of the analysis of snow conditions along a hypsometric profile characterising the Polish part of the Sudetes and their foreland constitute a key element to a regional assessment of the current climate in Poland. If combined with the results of an analysis of causal meteorological and morphological factors the findings from the work described here may be used to assess snow conditions for different kinds of skiing and winter tourism. Additionally, the results of analysis regarding fluctuations of snow conditions may serve in determining the degree to which observed global and regional trends towards increasing air temperature affect parameters like the duration of snow cover. They may also offer a background for a variety of research in such fields as environmental protection, forestry, tourism, spatial planning, etc.

