

Częstość występowania i grubość pokrywy śnieżnej u podnóża masywu Babiej Góry w sezonach zimowych 1960/61–2014/15*

Frequency and thickness of snow cover at the foot of the Babia Góra Massif in the winter seasons 1960/61 to 2014/15

Paweł Franczak

Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków; Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Tarnowie, Instytut Matematyczno-Przyrodniczy, ul. Mickiewicza 8, 33-100 Tarnów

Tel. +48 12 6645263, e-mail: p.franczak@uj.edu.pl

Abstract. The aim of the study was to further our knowledge on changes in the nival conditions prevailing in the lower part of the Babia Góra massif during winter. Data on snow cover thickness in the winter season was recorded daily in the years 1960/61 to 2014/15 by a meteorological station established by the Institute of Meteorology and Water Management – National Research Institute in Zawoja (697 m altitude).

Based on the long-term measurements carried out in Zawoja, the average duration of the snow cover with a thickness of ≥ 1 cm was determined to be 104 days. Snow cover duration was subject to considerable variability ranging from only 47 days in 2013/14 to 145 days in 1993/94 and was observed to have shortened from an average of 118 days in the decade 1960/61–1969/70 to 96 days in the previous decade (2000/01–2009/10). The potential maximum duration of snow cover was 157 days on average, with the most snowy months being January and February, when a snow cover was present on 75% and 81% of all days, respectively. During these two months, also the maximum thickness was recorded reaching a maximum of 178 cm (January 30, 1976). In contrast, snow was never observed in July, August and September. The studied time period was furthermore characterized by a high variability of the winter snowiness index ranging from 1.61 in 2013/14 to 8.00 in 1962/63.

In summary, a distinct periodicity (16–19 years) with regard to the number of days with snow cover, the average and total snow cover as well as the winter snowiness was observed over the examined time frame.

Keywords: snow cover, winter, climate change, precipitation, mountains, Carpathians

*Tezy zawarte w niniejszym artykule zostały zaprezentowane na III Ogólnopolskiej Konferencji pt. "Klimatyczne uwarunkowania życia lasu", zorganizowanej przez SGGW, Wydział Leśny, w CEPL w Rogowie w dniach 1–3 czerwca 2017.

1. Wstęp

Pokrywa śnieżna jest efektem opadów atmosferycznych w postaci śniegu, jednak o jej uformowaniu, a następnie o czasie jej trwania decydują głównie warunki temperaturowe, a w skali lokalnej i regionalnej także prędkość wiatru (Czarnecka 2012) oraz rzeźba terenu oraz jego ekspozycja i użytkowanie, w tym typ pokrywy roślinnej (Leśniak 1980; Nowosad 1994).

Pokrywa śnieżna odgrywa ważną rolę zarówno w środowisku abiotycznym, jak i w przypadku organizmów żywych. Powoduje zmianę w bilansie wodnym oraz cieplnym, co wynika z faktu, iż śnieg słabo absorbuje promienie krótkofalowe.

Powierzchnia terenu z pokrywą śnieżną jest znacznie jaśniejsza od powierzchni jej pozbawionej, dlatego znacznie silniej odbija promieniowanie słoneczne. Bardzo silne odbijanie promieni słonecznych i duże wypromieniowanie ciepła powoduje schładzanie powietrza nad nią i inwersję (Kossowska-Cezak, Bajkiewicz-Grabowska 2008). Śnieg jest złym przewodnikiem ciepła, dlatego chroni glebę przed głębokim przemarzaniem (Nowosad 1994; Kossowska-Cezak, Bajkiewicz-Grabowska 2008). Długotrwałe zanikanie pokrywy śnieżnej na wiosnę opóźnia wzrost temperatury powietrza powyżej 0°C (strata ciepła na sublimację i topnienie śniegu) i początek okresu wegetacyjnego roślin (Nowosad 1994; Keller et al. 2005; Bartoszek 2007). Pokrywa śnieżna od-

Wpłynęło: 20.11.2017 r., recenzowano: 10.01.2018 r., zaakceptowano: 12.04.2018 r.

grywa także ważną rolę w gospodarce wodnej, co widoczne jest na obszarach górskich poprzez wzrost retencji w zimie oraz wzrost odpływu podczas roztopów wiosennych i śród-zimowych wezbrań (Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski 2007; Vavrus 2007; Holko et al. 2011).

W literaturze polskiej jest wiele publikacji dotyczących zmienności czasowej i zróżnicowania przestrzennego występowania pokrywy śnieżnej w różnych regionach Polski. Warunki śniegowe w skali całego kraju były przedmiotem badań m.in. Milaty (1937, 1950), Chomicza (1953), Madany (1961), Hessa (1965), Paczosa (1982, 1987), Chrzanowskiego (1986, 1988), Bednorz (2004), Kasprówic i Farat (2010), Czarneckiej (2011, 2012), Falarz (2004, 2007, 2010) oraz Falarz i Marsza (2005). Sporo uwagi poświęcono badaniu pokrywy śnieżnej w polskich Karpatach (Hess 1965; Leśniak 1984; Niedźwiedz, Obrębska-Starkłowa 1991; Obrębska-Starkłowa et al. 1995). Najbogatsza literatura z tego zakresu odnosi się do Bieszczadów (Nowosad 1987, 1991, 1994), zlewni górnej Wisły, zwłaszcza dorzecza Dunajca (Bury-Zalewska 1960, 1964; Lewińska 1963; Leśniak 1973, 1975, 1981, 1984), a także Tatr (Milata 1950; Falarz 1999, 2001, 2002). Pojedyncze prace dotyczyły występowania pokrywy śnieżnej w masywie Babiej Góry (Obrębska-Starkłowa 1982; Łajczak 2004), w Gorcach (Obrębska-Starkłowa 1968) oraz w Beskidzie Śląskim (Kozak, Łepko 2015).

Celem badań było poznanie zmian pokrywy śnieżnej w dolnej części północnego stoku Babiej Góry w Zawoi.

2. Obszar badań

Babia Góra jest najwyższym wydzwigniętym masywem w Zewnętrznych Karpatach Zachodnich (Kondracki 2000), której kulminacja Diablak wznosi się na wysokości 1725 m n.p.m. (ryc. 1). Masyw ten wyniesiony został ok. 500 m względem sąsiednich pasm górskich (ryc. 2A), wskutek izostatycznego dźwignania elementu wiszącego skrzydła, w systemie uskoków normalnych (Jankowski, Margielewski 2014). Doprowadziło to do uformowania północnego stoku masywu jako kuesty, o nachyleniu od 20 do ponad 45°. Większym nachyleniem charakteryzują się górne partie masywu (ryc. 2B), co wynika z jego budowy geologicznej. Górne partie Babiej Góry (powyżej ok. 1000 m n.p.m.) zbudowane są z odpornych gruboławic-

cowych piaskowców magurskich, z kolei dolny jej fragment tworzą cienkoławicowe warstwy hieroglifowe. W dnach głównych dolin zalegają miększe pokrywy osadów czwartorzędowych, tworzące terasy plejstoceńskie i holocenijskie oraz stożki napływowe (Książkiewicz 1974a,b).

Charakterystyczną cechą północnych podnóży Babiej Góry jest wachlarzowy, zbieżny układ sieci rzecznej (Łajczak 1998, 2004). Tworzą go potoki Jaworzyna i Czatożanka (Skawica), które łączą się w Zawoi Widłach. Jego wewnętrzną część tworzą ich główne dopływy: Urwisko, Marków Potok, Rybny Potok, Dejaków Potok i Norczak. Ponadto dopływają do nich potoki odwadniające części Pasma Policy oraz Grupy Mędralowej i Pasma Jałowieckiego. Poniżej węzła hydrograficznego w Zawoi Widłach dolina Skawicy zmienia charakter rzeźby i główny kierunek z północnego na północno-wschodni (ryc. 2A).

Masyw Babiej Góry, ze względu na znaczne wydzwignięcie n.p.m., stanowi wyraźną barierę orograficzną. Jednakże stosunkowo największy obszar północnych stoków masywu położony jest w jej dolnych częściach. Największa powierzchnia północnego stoku znajduje się w przedziale wysokościowym 700–800 m n.p.m. Do wysokości ok. 900 m n.p.m. zalicza się około połowa powierzchni północnych stoków Babiej Góry (Łajczak 2016).

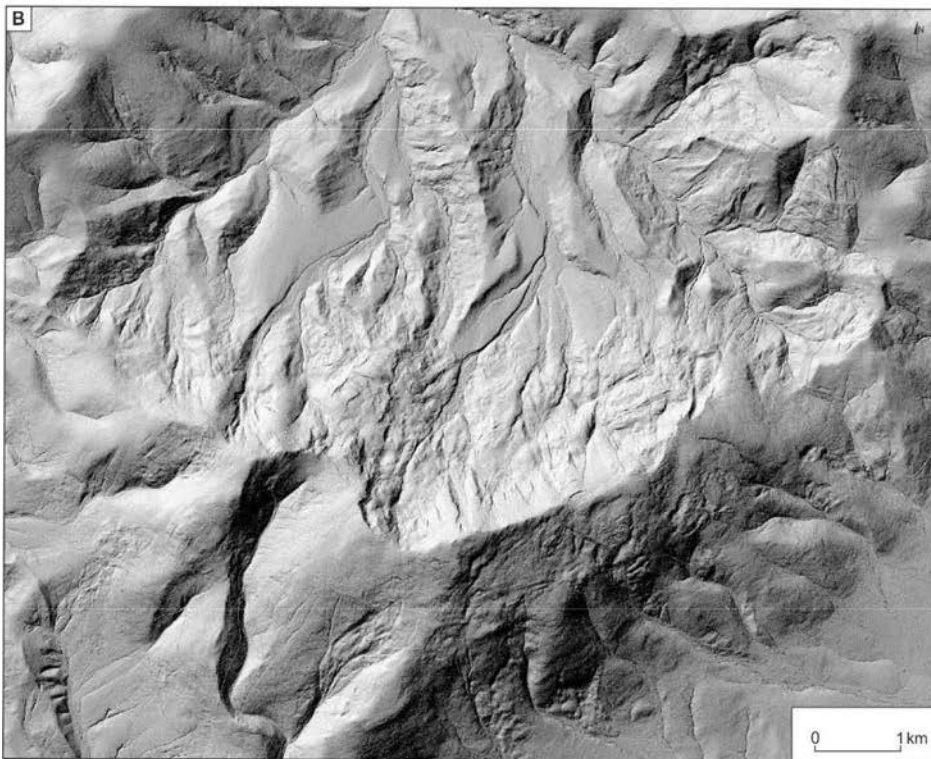
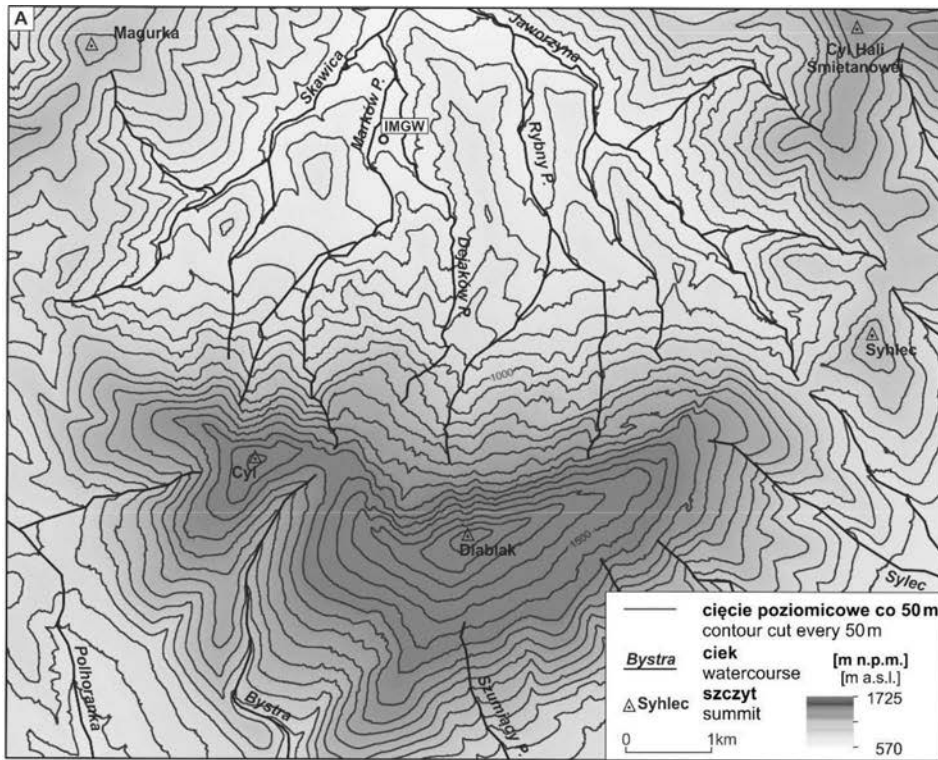
Rzeźba Babiej Góry i okolicznych pasm górskich oraz jej położenie w Zewnętrznych Karpatach Zachodnich wpływa na warunki klimatyczne występujące na tym obszarze (Obrębska-Starkłowa 1963). W latach 1961–2015 średnia roczna temperatura powietrza w Zawoi wyniosła 6,4°C. Typową cechą tego obszaru jest bardzo krótkie termiczne lato (okres ze średnią dobową temperaturą powyżej 15°C). U północnych podnóży Babiej Góry w Zawoi we wspomnianym okresie trwało ono średnio przez 41 dni. Natomiast najdłuższą trwającą porą roku była zima (97 dni). Warto jednak wspomnieć, że liczba dni z temperaturą nieprzekraczającą 5,0°C przypadającą na przedzimie, zimę i przedwiośnie wynosiła w roku średnio aż 163 dni (Sulikowska et al. 2017).

W Zawoi w okresie 1961–2015 średnia roczna suma opadów atmosferycznych wyniosła 1225,6 mm. W poszczególnych latach wahała się od 893,3 (1973 r.) do 1796,3 mm (2010 r.). Od listopada do kwietnia średnia suma opadów atmosferycznych wyniosła 461,1 mm (47,6% sumy rocznej).



Rycina 1. Lokalizacja obszaru badań na tle polskich Karpat

Figure 1. Localization of research area on the background of the Polish Carpathians



Rycina 2. Mapa hipsometryczna masywu Babiej Góry i jego północnych podnóży (A) oraz Numeryczny Model Terenu badanego obszaru (B)

Figure 2. Hypsometric map of the Babia Góra massif and its northern foothills (A) and the Numeric Area Model of the studied area (B)

Źródło / Source: Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (CODGiK)

Najwyższe średnie miesięczne sumy opadów przypadają na czerwiec – 156,9 mm, natomiast najniższe na luty – 63,5 mm. Opad atmosferyczny występował średnio podczas 185 dni w roku (Sulikowska et al. 2017).

W obrębie północnych stoków Babiej Góry wykształcił się klasyczny układ pięter roślinnych: pogórze, regiel dolny,

regiel górny, kosodrzewina i piętro halne (Wołoszyn et al. 2000; Pasierbek et al. 2009). Do wysokości 550–600 m n.p.m. sięga piętro pogórze, w którym zachowały się resztki lasów łąkowych, a pozostały teren zajęły osadnictwo i rolnictwo (Parusel 2017). Do wysokości 1150 m n.p.m. występuje piętro regla dolnego; do 1390 m n.p.m. piętro regla górnego; do

1650 m n.p.m. piętro kosodrzewiny, a powyżej piętro halne (Łajczak 2016).

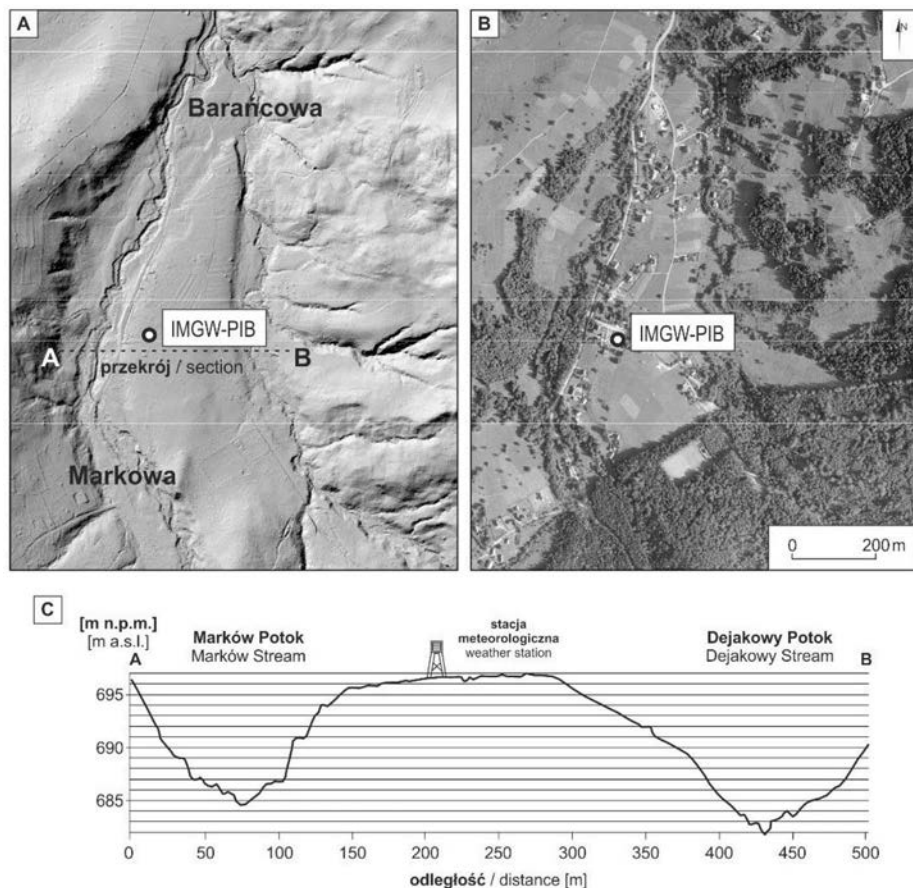
Lasy stanowią główny element środowiska przyrodniczego masywu Babiej Góry. Na obszarze Babiogórskiego Parku Narodowego zbiorowiska leśne i zaroślowe pokrywają 95% masywu (Holeksa et al. 2004). W reglu dolnym u północnych podnóży masywu dominują lasy świerkowo-bukowo-jodłowe z dużym udziałem jaworu *Acer pseudoplatanus* L., olszy szarej *Alnus incana* (L.) Moench i jesionu wyniosłego *Fraxinus excelsior* L. (Czaja, Kaczka 2014; Łajczak 2016). Las dolnoreglowy wykazuje największe zróżnicowanie struktury i składu gatunkowego w obrębie całego masywu Babiej Góry. Dominuje świerk pospolity *Picea abies* (L.) H. Karst, który tworzy 52% drzewostanu, a następne w kolejności buk zwyczajny *Fagus sylvatica* L. – 34% i jodła pospolita *Abies alba* Mill. – 7%. Zagęszczenie drzew w dolnej części regla dolnego wynosi 785 sztuk/ha, a w górnej jest znacznie większe – 986 sztuk/ha (Szwagrzyk et al. 1999). W reglu dolnym drzewa są znacznie cieńsze i ich zagęszczenie jest znacznie większe niż w starszych drzewostanach regla górnego (Holeksa et al. 2004).

W dolnych partiach stoków masywu Babiej Góry występują duże obszary bezleśne, zajęte przez stałe osadnictwo oraz pola uprawne i łąki intensywnie zarastające. Na badanym obszarze występują one głównie w obrębie dolnych odcinów dolin oraz na grzbietach.

3. Materiały i metody

Charakterystykę pokrywy śnieżnej na badanym obszarze opracowano na podstawie pomiarów dobowej grubości pokrywy śnieżnej z 55-letniej serii sezonów zimowych 1960/61–2014/15 ze stacji meteorologicznej IMGW-PIB w Zawoi. Taka seria danych uważana jest za miarodajną do wykonania charakterystyki zmienności pokrywy śnieżnej. Stacja ta zlokalizowana jest w dolnej części północnego stoku Babiej Góry w obrębie Ficków Grzbietu, w widłach Marków Potoku i Dejaków Potoku, na wysokości 697 m n.p.m. (ryc. 3). Wyniki z tej stacji reprezentują warunki śniegowe obszarów położonych przy górnej granicy klimatu umiarkowanie ciepłego.

Do wyznaczenia analizowanych wskaźników wykorzystano codzienne dane o grubości pokrywy śnieżnej z godziny 6.00 GMT. Dane wejściowe zostały sprawdzone pod względem kompletności. Rozpatrzono liczbę dni z pokrywą śnieżną, średnią i maksymalną grubość pokrywy śnieżnej w ciągu sezonu śnieżnego, a także grubość uśrednioną dla wszystkich dni analizowanego okresu 1960–2015, w tym także dni bez pokrywy (Paczos 1982; Falarz 2004; Kasprowicz, Farat 2010; Czarnecka 2012). Jako liczbę dni z pokrywą śnieżną przyjęto sumę dni w ciągu sezonu zimowego, za dzień z pokrywą śnieżną uznawano taki, gdy na co najmniej połowie badanego gruntu zalegała ponad 1-centymetrowa warstwa śniegu (Kossowska-Cezak, Bajkiewicz-Grabowska 2008).



Rycina 3. Lokalizacja stacji meteorologicznej IMGW-BIP w Zawoi (N 49°36'42, E 19°31'7) na tle Numerycznego Modelu Terenu (A) i ortofotomapy (B); profil poprzeczny przez Ficków Groń, na którym mieści się stacja meteorologiczna (C)

Figure 3. Location of the meteorological station in Zawoja (N 49°36'42 E 19°31'7) against the background of the Numerical Terrain Model (A) and orthophotomap (B); cross profile by Ficków Groń, on which the meteorological station is located (C)

Do dni z trwałą pokrywą śnieżną zaliczono te okresy, gdy śnieg utrzymywał się co najmniej przez pięć dni bez przerwy (Lorenc 1964; Niedźwiedź 1998). Do obliczenia średniej miesięcznej i sezonowej miąższości pokrywy śnieżnej wybrano wyłącznie dni z pokrywą śnieżną. Skupiono się na okresie od pierwszego dnia pojawiania się pokrywy śnieżnej do ostatniego dnia z pokrywą śnieżną w sezonie. Obliczono czas zalegania pokrywy śnieżnej w poszczególnych miesiącach. Zbadano także potencjalny okres jej występowania oraz współczynnik trwałości, rozumianej jako iloraz rzeczywistego czasu zalegania pokrywy śnieżnej do długości czasu potencjalnego występowania (stosowany m.in. w pracach Leśniak 1981; Falarz 2010; Urban 2015). Śnieżność zim scharakteryzowano, opierając się na wartościach wskaźnika śnieżności zim zaproponowanego przez Paczosa (1982):

$$W_{sn} = 0,0409d_{ps} + 0,0246d_{ps20} + 0,00007S_{ws}$$

gdzie:

W_{sn} – wskaźnik śnieżności zimy (0–10),

d_{ps} – liczba dni z pokrywą śnieżną o grubości ≥ 1 cm w okresie XII–III,

d_{ps20} – liczba dni z pokrywą śnieżną o grubości ≥ 20 cm w okresie XII–III,

S_{ws} – suma wysokości pokrywy śnieżnej w cm w okresie XII–III.

Zbadano także dobowe zmiany grubości pokrywy śnieżnej (rozwoju pokrywy, jak i jej wytapiania), poprzez analizę ich różnic zachodzących z dnia na dzień.

Zmienność badanych charakterystyk określono za pomocą średniej arytmetycznej, odchylenia standardowego oraz współczynnika zmienności. Z wyznaczonych równań prostych regresji uzyskano wielkość tendencji. Istotność statystyczną tendencji sprawdzono za pomocą testu t-Studenta. Obliczenia wykonano w programie Microsoft Excel (2010).

4. Wyniki

4.1. Liczba dni z pokrywą śnieżną

U północnych podnóży masywu Babiej Góry pokrywa śnieżna o grubości ≥ 1 cm utrzymywała się w Zawoi Górnej przez średnio 104 dni. Długość jej zalegania wahała się podczas poszczególnych sezonów zimowych od 47 dni podczas zimy 2013/14 do 145 dni w sezonie 1993/94. W wieloleciu 1960/61–2014/15 częstość dni z pokrywą śnieżną wykazywała tendencję spadkową. Tempo skracania wynosiło około 5 dni na 10 lat. Najbardziej śnieżne było dziesięciolecie 1960/61–1969/70, gdy pokrywa śnieżna utrzymywała się średnio 118 dni w ciągu sezonu zimowego. W wieloleciu 2010/11–2014/15, pokrywa śnieżna utrzymywała się najkrócej – średnio przez 81 dni. W poprzednim dziesięcioleciu (2000/01–2009/10) pokrywa śnieżna zalegała średnio przez 96 dni. Do okresów z najdłuższą zalegającą pokrywą śnieżną zaliczały się zimy: 1993/94 (145 dni), 1981/82 (144 dni), 1966/67 (143 dni) i 1962/63 (138 dni). Natomiast najkrócej zalegała pokrywa śnieżna podczas zim: 2013/14 (47

dni), 1989/90 (58 dni) i 2006/07 (58 dni). Średnia liczba dni z pokrywą śnieżną wynosząca co najmniej 5 cm była krótsza i wynosiła dla badanego wielolecia 91 dni. W dziesięcioleciu 1960/61–1969/70 pokrywa ta utrzymywała się najdłużej, średnio przez 106 dni w ciągu sezonu zimowego. W ostatnich dziesięcioleciach w sezonie zimowym obserwowano wzrost udziału dni z pokrywą śnieżną nieosiągającą 5 cm. Rekordowy pod tym względem był sezon 1993/94, gdy pokrywa śnieżna o miąższości nieprzekraczającej 5 cm występowała przez 64% dni (ryc. 4).

4.2. Potencjalny czas trwania pokrywy śnieżnej i współczynnik trwania pokrywy śnieżnej

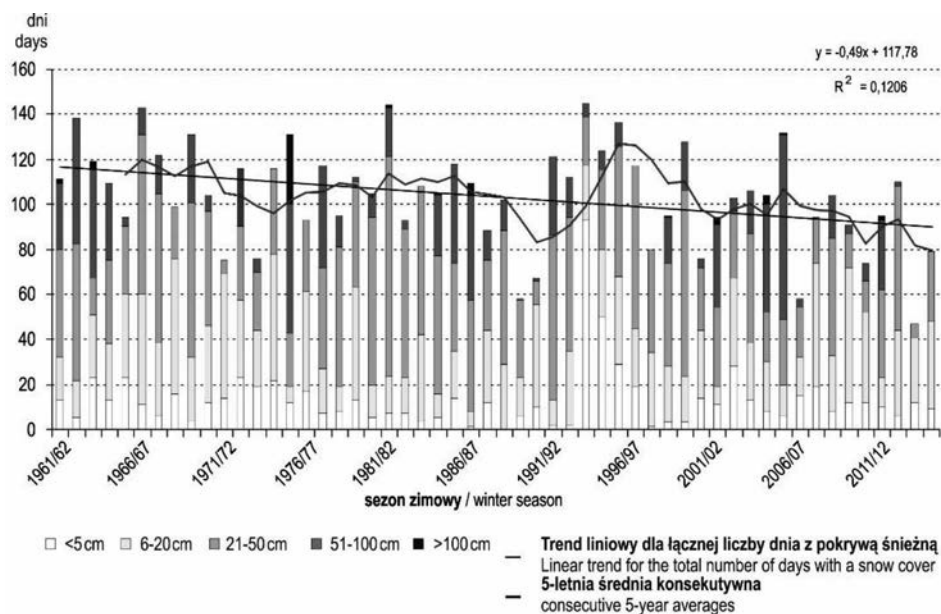
Średnia długość potencjalnego czasu zalegania pokrywy śnieżnej w wieloleciu 1960/61–2014/15 wynosiła niespełna 157 dni, przy minimalnym okresie 111 dni (2013/14) i maksymalnym okresie 214 dni (1960/61). Natomiast potencjalny okres zalegania pokrywy śnieżnej ulegał skróceniu. Tempo skracania wynosiło około 7 dni na 10 lat. Współczynnik zmienności opisujący potencjalny czas trwania pokrywy śnieżnej wynosi 8,8%, natomiast odchylenie standardowe 13,7 dni (ryc. 5).

Czas zalegania pokrywy śnieżnej jest wyraźnie krótszy od potencjalnego czasu trwania pokrywy śnieżnej. Średnia wieloletnia wartość współczynnika trwałości pokrywy śnieżnej wynosiła w analizowanym okresie 67,1%. Najniższą wartość tego współczynnika (35,6%) odnotowano w sezonie zimowym 1989/90, natomiast maksymalną możliwą wartość (100%) – w sezonie zimowym 1993/94. Niskie wartości tego współczynnika (<50%) zaobserwowano także podczas sezonów zimowych: 1971/72, 1973/74, 1990/91, 2006/07, 2009/10, 2010/11, 2013/14. Z kolei bardzo wysoki współczynnik (>90%) występowania pokrywy śnieżnej w stosunku do potencjalnego czasu jego zalegania obserwowano w sezonach: 1962/63, 1999/00, 2005/06. W analizowanym okresie obserwowano skrócenie czasu trwania pokrywy śnieżnej o 0,4% na 10 lat.

4.3. Okres występowania pokrywy śnieżnej

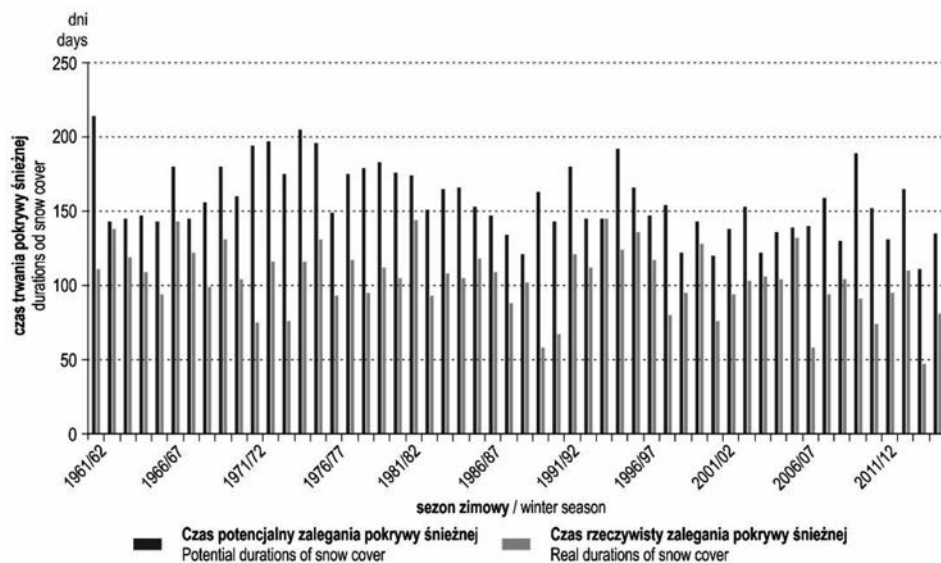
W wieloleciu 1960/61–2014/15 u północnego podnóża masywu Babiej Góry najbardziej śnieżnym miesiącem był luty, podczas którego pokrywa śnieżna występowała przez 81% dni oraz styczeń (75% dni). Przez ponad połowę dni w miesiącu pokrywa śnieżna utrzymywała się także w grudniu (65% dni) i marcu (58% dni). W pozostałych miesiącach udział dni z pokrywą śnieżną był krótszy, natomiast miesiącami bez pokrywy śnieżnej były lipiec, sierpień i wrzesień. W maju pokrywę śnieżną o miąższości przekraczającej 5 cm obserwowano przez jeden dzień (30 maja 1966 r.), natomiast w czerwcu nie osiągnęła ona 5 cm miąższości.

W rozpatrywanym 55-leciu pierwszy dzień z pokrywą śnieżną (ryc. 6B) wystąpił najwcześniej 3 października 1972 i 1974 r., a najpóźniej 17 grudnia 2000 r. Średnio miał on miejsce 7 listopada. Ostatni dzień z pokrywą śnieżną



Rycina 4. Roczna liczba dni z pokrywą śnieżną o różnej grubości w Zawoi (1961/62–2014/15)

Figure 4. Annual number of days with a snow cover of varying thickness in Zawoja (1961/62–2014/15)



Rycina 5. Potencjalny i rzeczywisty czas trwania pokrywy śnieżnej w Zawoi w wieloletniu 1961/62–2014/15

Figure 5. Potential and real durations of snow cover in Zawoja in the winter seasons of the 1961/62–2014/15 period

(ryc. 6A) wystąpił najpóźniej 7 czerwca (1962 r.), a najwcześniej 20 lutego (1989 r.). Średnio pokrywa śnieżna zanikała 14 kwietnia. Należy jednak zaznaczyć, iż dość późne występowanie pokrywy śnieżnej w okresie od kwietnia do czerwca poprzedzane było krótszymi bądź dłuższymi okresami bezśnieżnymi. Natomiast dni z pokrywą śnieżną w maju bądź czerwcu zwykle występowały pojedynczo lub w ciągach kilkudniowych.

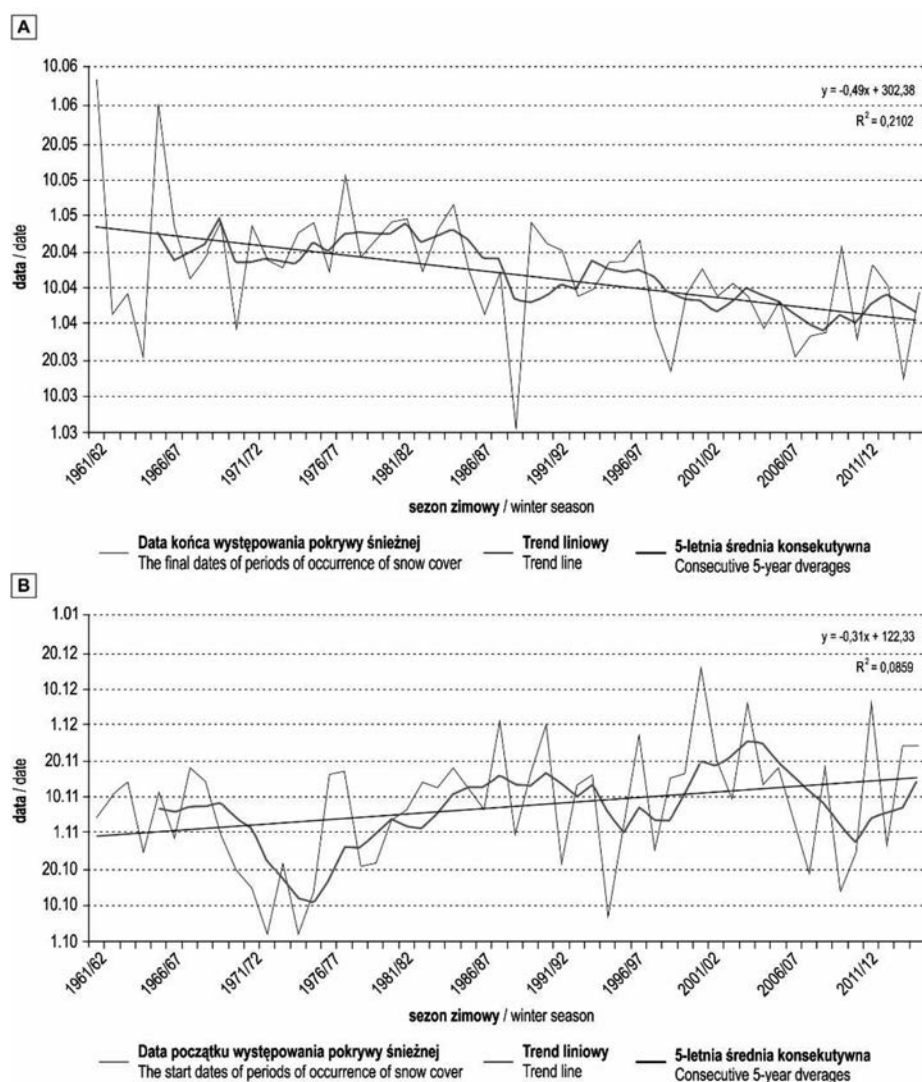
Analiza zmienności (tab. 1) dat początku występowania pokrywy śnieżnej wskazuje tendencję wzrostową, czyli pokrywa śnieżna pojawia się tam o około 3,1 dnia/10 lat później. Z kolei zanik pokrywy śnieżnej następuje o około 4 dni wcześniej na 10 lat. Współczynnik zmienności opisujący pierwszy dzień z pokrywą śnieżną jest większy (5,2%) niż współczynnik zmienności dla ostatniego dnia z pokrywą śnieżną (2,0%). Odchylenie standardowe w przypadku

pierwszego dnia z pokrywą śnieżną dochodzi do niemal 7 dni, a w przypadku ostatniego dnia do 6 dni.

4.4. Grubość pokrywy śnieżnej

Średnia grubość pokrywy śnieżnej w poszczególnych dniach systematycznie wzrastała od pierwszych dni października do połowy lutego, gdy osiągała najwyższą średnią miąższość. Najwyższa średnia grubość pokrywy śnieżnej przypadła w badanym okresie na 16 lutego – 34,8 cm. Średnią miąższość pokrywy śnieżnej przekraczającą 30 cm notowano na przełomie stycznia i lutego oraz w drugiej połowie lutego. Od przełomu lutego i marca obserwowano szybki spadek średniej miąższości pokrywy śnieżnej (ryc. 7).

Zaobserwowano spadek miąższości średniej pokrywy śnieżnej w poszczególnych dekadach i skrócenie czasu jej



Rycina 6. Zmienność dat początku występowania (B) i zaniku (A) pokrywy śnieżnej w Zawoi w wieloleciu 1961/62–2014/15

Figure 6. Variability to the start dates (A) and final dates (B) of periods of occurrence of snow cover in Zawoja in the winter seasons of the 1961/62–2014/15 period

Tabela 1. Wybrane charakterystyki dat początku i końca pokrywy śnieżnej w Zawoi w sezonach zimowych 1960/61–2014/15

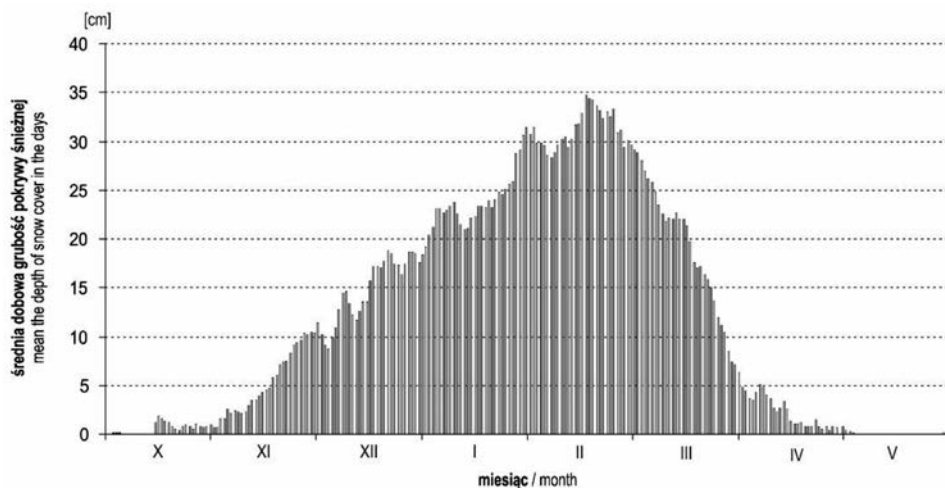
Table 1. Selected characteristics of the start and final dates of periods of snow cover in Zawoja in the winter seasons of the 1960/61–2014/15 period

Data Date	Średnia [data] Average [date]	Najwcześniej The earliest one		Najpóźniej The latest one		Odchylenie standardowe [dni] Standard deviation [days]	Współ- czynnik zmienności Variation coeffi- cient [%]	Zmiana [dni/10 lat] Change [days/10 years]
		data date	rok year	data date	rok year			
Data począt- ku pokrywy śnieżnej Starting dates of snow cover	7.11	3.10	1972 1974	17.12	2000	6,8	5,2	3,1
Data końca pokrywy śnieżnej Final dates of snow cover	14.04	20.02	1989	7.06	1962	5,9	2,0	-4,0

występowania. W dekadzie 1960/61–1969/70 pokrywa śnieżna rozwijała się od początku listopada, by osiągnąć maksymalną miąższość 28 lutego (49,3 cm). Z kolei w okresie 2010/11–2014/15 pokrywa śnieżna zaczynała intensywnie przyrastać od końca listopada, po czym w drugiej połowie

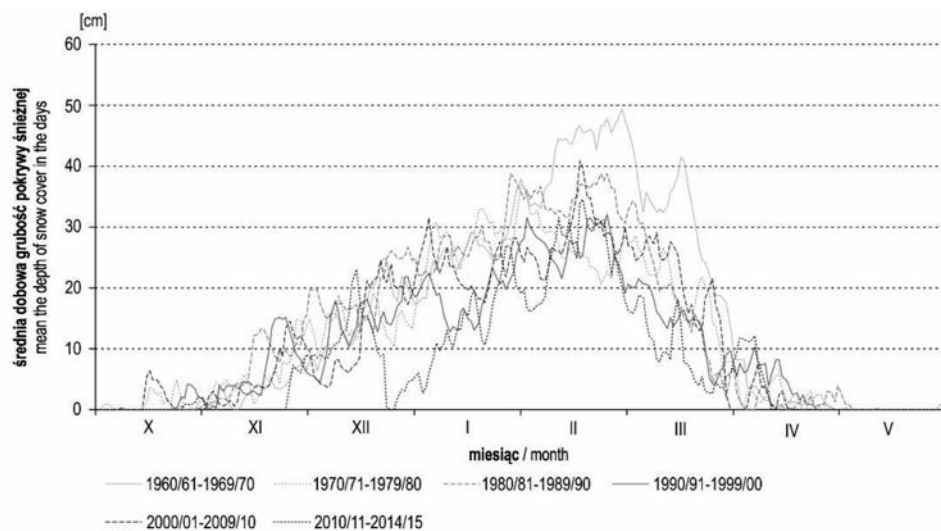
grudnia następowało jej całkowite wytopienie i ponowne tworzenie się. Najwyższa średnia miąższość osiągnięta była w połowie lutego (17 lutego) i wynosiła 34,2 cm (ryc. 8).

Pokrywa śnieżna ≥ 100 cm występowała od połowy stycznia do połowy lutego (ryc. 9). Największa miąższość pokry-



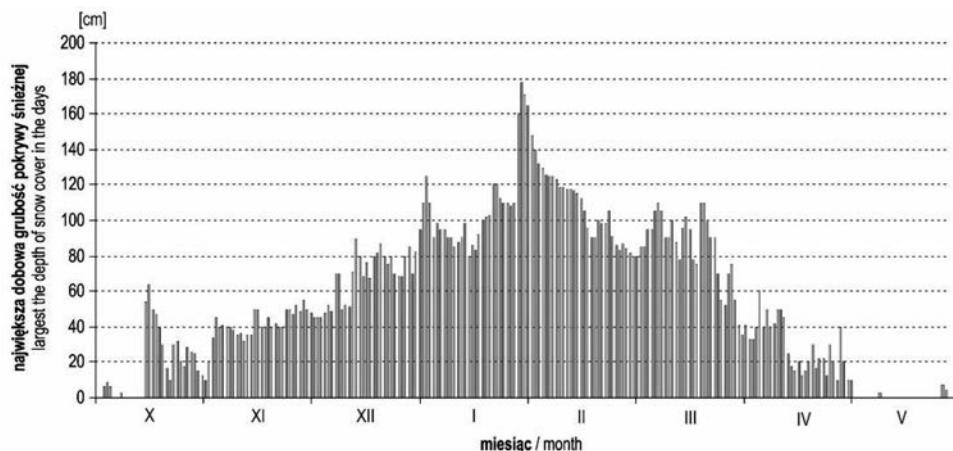
Rycina 7. Średnia dobowa grubość pokrywy śnieżnej w Zawoi (1961/62–2014/15)

Figure 7. Mean thickness of snow cover in particular days in Zawoja (1961/62–2014/15)



Rycina 8. Średnia dobowa grubość pokrywy śnieżnej w Zawoi w wieloleciu 1961/61–2014/15

Figure 8. Mean the depth of snow cover in the days of its occurrence in Zawoja in the winter seasons of the 1961/62–2014/15 period



Rycina 9. Największa dobowa grubość pokrywy śnieżnej w Zawoi (1961/62–2014/15)

Figure 9. The largest daily thickness of snow cover in the days of its occurrence in Zawoja (1961/62–2014/15)

wy śniegu odnotowana została 30 stycznia 1976 r. i wyniosła 178 cm. Druga w kolejności największa miąższość pokrywy śnieżnej (125 cm) wystąpiła w styczniu 1987 i 2002 r. W badanym okresie pojawiły się 53 dni z pokrywą śnieżną mierzącą ≥ 100 cm, z czego aż 31 z nich odnotowano podczas zimy 1975/76.

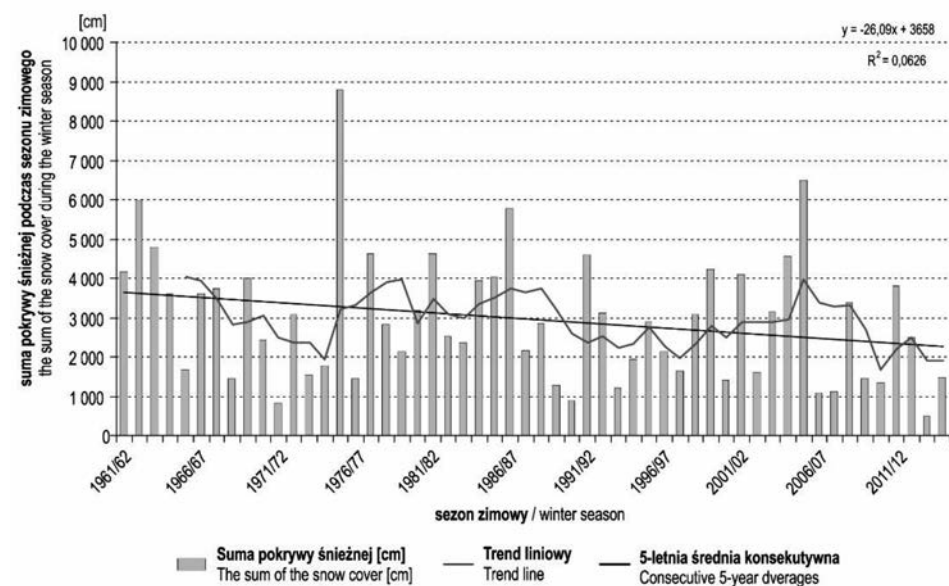
Grubość pokrywy śnieżnej w zależności od panujących warunków atmosferycznych zmieniała się stopniowo bądź bardzo gwałtownie. Najwyższy dobowy wzrost grubości pokrywy śnieżnej wyniósł 54 cm – było to 15 października 2009 r. (pojawiła się świeża pokrywa śnieżna) i 16 lutego 2012 r. (pokrywa śnieżna wzrosła z 46 do 100 cm). Nie wiele mniejszy dobowy wzrost grubości pokrywy śnieżnej (o 50 cm) zdarzył się 29 stycznia 1976 r. (pokrywa śnieżna wzrosła z 110 do 160 cm). Z drugiej strony najszybsze wytopianie pokrywy śnieżnej zaobserwowano 6 marca 1962 r., gdy zmniejszyła się ona w stosunku do dnia poprzedniego o 47 cm i pokrywa śnieżna uległa całkowitemu wytopieniu. Ponadto dobowe zmniejszenie miąższości pokrywy śnieżnej

o co najmniej 30 cm obserwowano w badanym okresie czasu jeszcze 12 razy.

Średnia wieloletnia suma grubości pokrywy śnieżnej wynosiła w badanym okresie 2968 cm (ryc. 10). Wartość ta informująca o śnieżności zim ulegała jednak z roku na rok znacznemu zróżnicowaniu, przy malejącym trendzie zmian. Minimalną sumę miąższości pokrywy śnieżnej 477 cm odnotowano w sezonie zimowym 2013/14. Zimy o niskiej sumie grubości pokrywy śnieżnej miały miejsce w latach: 1971/72 (824 cm) i 1991/92 (874 cm). Z kolei rekordową sumę grubości pokrywy śnieżnej 8800 cm odnotowano zimą 1975/76. Podczas innych śnieżnych zim wartość ta wynosiła: 6508 cm (2005/06), 5970 cm (1962/63) oraz 5777 cm (1986/87).

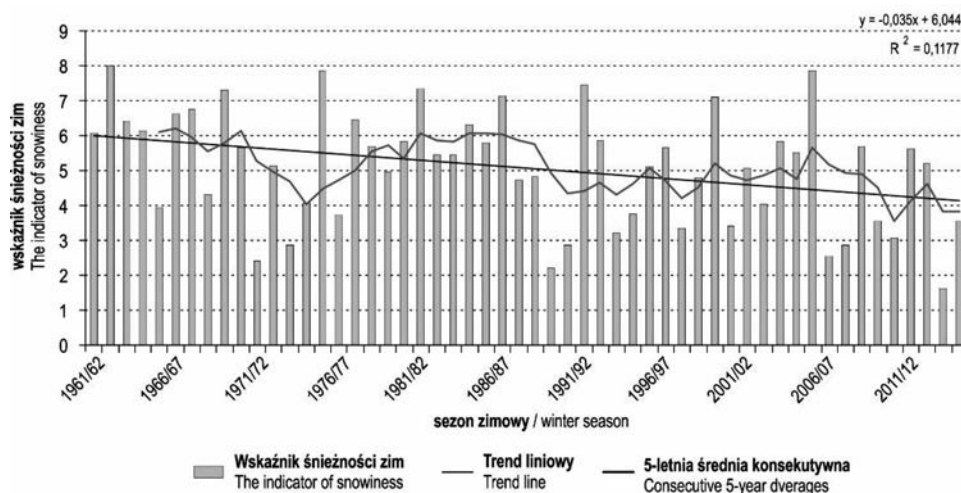
4.5. Śnieżność zim

O śnieżności zim informuje współczynnik śnieżności zim obliczany dla okresu od grudnia do marca (ryc. 11). Wskaźnik ten najwyższą wartość 8,00 (w 10 stopniowej klasyfika-



Rycina 10. Suma miąższości pokrywy śnieżnej w Zawoi podczas poszczególnych sezonów zimowych (1961/62–2014/15)

Figure 10. The sum of the snow cover thickness in Zawoja during particular winters (1961/62–2014/15)



Rycina 11. Wskaźnik śnieżności zim (1961/62–2014/15) w Zawoi

Figure 11. The indicator of snowiness in Zawoja (1961/62–2014/15)

cji osiągnął podczas zimy 1962/63. Bardzo wysokie wartości osiągnął on także dla zim: 2005/06 (7,87) i 1975/76 (7,86). Najniższy natomiast był zimą 2013/14 (1,61). Jednak zima ta nie była odosobnionym przypadkiem, ponieważ w badanym wieloleciu obserwowany był wyraźny trend malejącej śnieżności zim, a kilka z najmniej śnieżnych zim odnotowano w XXI wieku.

5. Dyskusja

Masyw Babiej Góry zalicza się do obszarów o najdłuższym czasie zalegania pokrywy śnieżnej w Polsce (Leśniak 1980; Leśniak, Obrębska-Starkłowa 1983; Falarz 2007; Łajczak 2017). Wznosi się on w Beskidzie Żywieckim w dorzeczach górnej Skawy i górnej Orawy, które, jak wykazała Leśniak (1980), charakteryzują się najdłuższym czasem zalegania pokrywy śnieżnej, na tych samych wysokościach w polskich Karpatach. W badanym 55-leciu (1960/61–2014/15) pokrywa śnieżna występowała u podnóża masywu Babiej Góry w Zawoi przez średnio 118 dni. W analogicznym okresie w Bieszczadach, Beskidzie Niskim czy Beskidzie Śląskim długość okresu z pokrywą śnieżną była o kilka dni krótsza (Leśniak, Obrębska-Starkłowa 1983; Nowosad 1994; Laszczak et al. 2011).

Analiza długoterminowej zmienności występowania pokrywy śnieżnej w Zawoi nie wykazała statystycznie istotnych tendencji. W wieloleciu 1960/61–2014/15 obserwowano skrócenie okresu występowania pokrywy śnieżnej, co potwierdzają także wyniki badań prowadzonych przez innych autorów w podobnych okresach w innych obszarach górskich w Europie (m.in. Nowosad 1994; Lapin, Fasko 1996; Beniston et al. 2003; Brown, Petkova 2007; Micu 2009; Birsan, Dumitrescu 2014; Urban 2015). U podnóża masywu Babiej Góry w dziesięcioleciu 2000/01–2009/10 średnia liczba dni z pokrywą śnieżną w porównaniu do lat 60. XX w. uległa skróceniu o 22 dni (o 18,6%). Podobny trend zaobserwowali inni autorzy na obszarach górskich w Polsce m.in. w Bieszczadach (Nowosad 1994) oraz Sudetach (Urban 2015), ale i w innych regionach Europy (m.in. Beniston 1997; Hyvärinen 2003; Cazacioc, Cazacioc 2005; Bojariu, Dinu 2007; Brown, Petkova 2007; Popova 2007; Durand et al. 2009; Micu 2009; Marity, Blanchet 2012). Z kolei Falarz (2004) wykazała rosnący trend długości zalegania pokrywy śnieżnej na Orawie, położonej na południe od masywu Babiej Góry. Przedstawione powyżej wyniki badań obejmują jednak głównie okres od połowy XX w. bądź krótszy, podczas którego obserwowano skrócenie liczby dni z występowaniem pokrywy śnieżnej. Jak wykazała Falarz (2002a,b, 2007) na przykładzie dłuższych serii pomiarowych pochodzących z Krakowa (od 1921/22) i Zakopanego (od 1914/15), w okresie 80–100 lat brak jest istotnych zmian w czasie występowania pokrywy śnieżnej od lat 20. XX w.

Średnia długość potencjalnego czasu zalegania pokrywy śnieżnej w badanym wieloleciu wykazywała bardzo duże zróżnicowanie. Różnica pomiędzy początkiem a końcem zalegania pokrywy śnieżnej w Zawoi, między skrajnymi lata-

mi wynosiła ponad 100 dni. W 55-leciu (1960/61–2014/15) potencjalny okres występowania pokrywy śnieżnej wynosił średnio 157 dni. Pod tym względem badany obszar charakteryzuje się takimi samymi warunkami jak inne regiony położone na tej samej wysokości n.p.m. w Karpatach, w których wg Falarz (2007) potencjalny okres zalegania pokrywy śnieżnej wynosi średnio powyżej 150 dni, a podczas ekstremalnie śnieżnych zim przekracza 200 dni. W analizowanym wieloleciu potencjalny okres zalegania pokrywy śnieżnej w Zawoi ulegał skracaniu o około 7 dni na 10 lat. Z kolei Falarz (2007) wykazała, że na większości obszaru Karpat (zwłaszcza w ich wschodniej części) okres ten ulega wydłużeniu o 2–4 dni na 10 lat. W Beskidzie Żywieckim zmiany te są jednak niewielkie. Natomiast podobna zmiana jak w Zawoi zaobserwowana została przez Urbana (2015) w Sudetach w Łądku-Zdroju (461 m n.p.m.). Na stacji położonej w dolnych partiach stoku (podobnie jak w Zawoi), tempo jego skracania wyniosło około 4,5 dnia na 10 lat, podczas gdy na Śnieżce (1603 m n.p.m.) zmiany te były znacznie mniejsze i wynosiły -1,4 dnia/10 lat. Największe zmiany z trendem ujemnym dotyczą stacji niżej położonych, ponieważ im wyżej położony obszar tym stabilniejsza pokrywa śnieżna (Urban 2015). W Karpatach potencjalny okres zalegania pokrywy śnieżnej wydłuża się średnio o około 8–10 dni na każde 100 m wysokości n.p.m. (Leśniak 1980; Nowosad 1992), a potencjalny okres jej występowania wykazuje mniejsze zmiany z roku na rok. Z kolei w dolnych partiach stoku masywu Babiej Góry z roku na rok obserwowane są duże różnice w jego długości.

Skrócenie liczby dni z pokrywą śnieżną oraz potencjalnego czasu występowania pokrywy śnieżnej, obserwowane od połowy XX w. w Polsce, związane jest ze wzrostem zachodniej adwekcji (Niedźwiedz 2000; Falarz 2007). Powoduje to wzrost temperatury powietrza, zwłaszcza podczas miesięcy zimowych (Wibig, Głowacki 2002; Ustrul, Czekerda 2007; Michalska 2011). Ujemny trend obu tych cech pokrywy śnieżnej może być wynikiem zarówno globalnego wzrostu temperatury, jak i lokalnych trendów tych samych cech (Falarz 2002a). Pokrywa śnieżna wykazuje silny związek z temperaturą powietrza, która największe znaczenie odgrywa na obszarach nisko położonych. W wyżej położonych partiach stoku, krótkotrwałe wzrosty temperatury powietrza nie powodują szybkiego wytapiania pokrywy i jej zaniku, tak jak to ma miejsce w dolinach i dolnych partiach stoków (Falarz 2002a). W Zawoi w wieloleciu 1961–2015 największy, wynoszący 1,8°C/50 lat, wzrost średniej temperatury powietrza odnotowano w grudniu i styczniu. W pozostałych miesiącach (od października do kwietnia), podczas których w badanym wieloleciu występowała pokrywa śnieżna, wyniósł on od 0,4°C/50 lat do 1,2°C/50 lat, jednakże dla każdego z tych miesięcy brak jest istotnych statystycznie trendów (Sulikowska et al. 2017). Jak wykazała Bednorz (2002, 2004), na obszarze Polski istnieje silna korelacja dodatnia pomiędzy czasem występowania pokrywy śnieżnej a liczbą dni ze średnią temperaturą >0°C. Wyraźny wzrost liczby takich dni obserwowany był w okresie zimowym w Zawoi (Sulikowska et al. 2017).

W badanym okresie przesunięciu uległa zarówno średnia data pojawiania się pokrywy śnieżnej, jak i data jej zaniku. Pokrywa śnieżna pojawiała się średnio 14 listopada, o około 3,1 dnia później na 10 lat. Z kolei zanik pokrywy śnieżnej następował o około 4 dni wcześniej na 10 lat, przy średnim pojawianiu się 14 kwietnia. Średnia data zaniku pokrywy śnieżnej w Zawoi jest zbliżona z końcem przedwiosnia, którego ostatni dzień wg badań Sulikowskiej i in (2017) w wieloleciu 1961–2015 występował 9 kwietnia. Przedzime rozpoczynało się natomiast 29 października i trwało przez 35 dni, w związku z czym pierwszy dzień z pokrywą śnieżną występował średnio w połowie tego okresu.

U podnóża Masywu Babiej Góry, na stacji meteorologicznej zlokalizowanej na wysokości 697 m n.p.m., w wieloleciu 1961/61–2014/15 pokrywa śnieżna nie występowała jedynie w lipcu, sierpniu i wrześniu. Natomiast na Markowych Szczawinach, położonych na północnym stoku Babiej Góry na wysokości 1180 m n.p.m., pokrywę śnieżną obserwowano w każdym miesiącu. Pojawianie się pokrywy śnieżnej w okresie od kwietnia do czerwca najczęściej było związane z występowaniem opadów śniegu podczas aktywnie przemieszczających się nad Polską frontów chłodnych związanych z głębokimi niżami napływającymi z Europy Północnej (Bartoszek 2007).

Na zmiany w rozbudowie pokrywy śnieżnej, jej zaniku i czasu występowania, a przede wszystkim jej średniej grubości wpływa wskaźnik Oscylacji Północnoatlantyckiej (North Atlantic Oscillation – NAO). Jego wpływ na temperaturę powietrza jest szczególnie widoczny w okresie zimowym i przekłada się na śnieżność zim (Ustrul, Czekierda 2007). Bednorz (2002, 2004) stwierdziła ujemną korelację pomiędzy czasem trwania pokrywy śnieżnej w Polsce a indeksem NAO. Ujemna zimowa faza NAO powoduje zwiększenie prawdopodobieństwa wystąpienia śnieżnych zim, natomiast jej faza dodatnia na występowanie mniej śnieżnych zim (Bednorz 2002; Petkova et al. 2004; Cazacioc, Cazacioc 2005; Bojariu, Dinu 2007; Popova 2007).

Pokrywa śnieżna rozwija się w Zawoi od przełomu października i listopada, osiągając maksymalną średnią miąższość z wielolecia na przełomie stycznia i lutego oraz w drugiej połowie lutego, a następnie szybko zanika do całkowitego jej wytopienia w kwietniu. Podobny przebieg rozwoju pokrywy śnieżnej obserwowany jest w innych częściach polskich Karpat (Leśniak 1981, 1984; Nowosad 1991, 1994; Falarz 2000–2001, 2007; Kozak, Łepko 2015). W analizowanym wieloleciu w poszczególnych dekadach (od 1960/61–1969/70) obserwowano spadek zarówno średniej, jak i maksymalnej dobowej grubości pokrywy śnieżnej, a także jej wcześniejszy zanik. Obecnie zauważa się częstsze występowanie śródzimowych zaników pokrywy śnieżnej, co wpływa na zmianę kształtowania odpływu ze zlewni. Zmniejsza się retencja śnieżna oraz częściej i wcześniej występują wezbrania roztopowe (Wilson et al. 2010; Pociask-Karteczka, Choiński 2012).

Oprócz skrócenia liczby dni z pokrywą śnieżną oraz sumy i średniej grubości pokrywy śnieżnej, obserwuje się cy-

kliczność zmian tych cech. Najwyraźniej zaznacza się ona w przypadku śnieżności zim. Wyznaczona 5-letnia średnia konsekwentna wskazuje, że okresowość śnieżności zim wynosi od połowy XX w. w Zawoi 16–19 lat. Podczas najmniej śnieżnych zim występujących na początku lat 70. i 90. XX w. oraz na przełomie lat 00. i 10. XXI w. wskaźnik ten wynosił około 2,00–3,00. Z kolei podczas najbardziej śnieżnych zim, przypadających w badanym wieloleciu w latach 60., 80. XX w. i na przełomie lat 90. i 00. XXI w. wskaźnik ten wynosił 6,00–8,00. Różnice te były więc duże, natomiast najbliższe okresy zimowe wskażą czy po serii jednych z najmniej śnieżnych zim od połowy XX w., kolejne sezony nadal będą bardzo mało śnieżne, czy jednak zgodnie z wcześniejszymi okresami wystąpią długie i śnieżne zimy.

7. Stwierdzenia i wnioski

W Zawoi w sezonach zimowych 1961/61–2014/15 średnia długość występowania pokrywy śnieżnej o grubości ≥ 1 cm wynosi 104 dni i wykazuje dużą zmienność pomiędzy poszczególnymi sezonami. Obserwuje się skracanie długości zalegania pokrywy śnieżnej o około 5 dni na 10 lat. W poszczególnych dziesięcioleciach nastąpiło skrócenie tego okresu z 118 dni w dziesięcioleciu 1960/61–1969/70 do 96 dni w ostatniej dekadzie (2000/01–2009/10).

Średnia długość potencjalnego zalegania pokrywy śnieżnej wynosiła 157 dni, przy minimalnym okresie 111 dni (2013/14) i maksymalnym okresie 214 dni (1960/61) oraz charakteryzowała się ujemnym trendem, oznaczającym skrócenie tego okresu o około 7 dni na 10 lat.

Najbardziej śnieżnymi miesiącami był luty i styczeń, podczas których pokrywa śnieżna występowała przez odpowiednio 81% i 75% dni. Wysokim udziałem zalegania pokrywy śnieżnej charakteryzowały się także grudzień (65% dni) i marzec (58% dni), natomiast pokrywy śnieżnej nie obserwowano w lipcu, sierpniu i wrześniu.

Najgrubsza pokrywa śnieżna rozwija się do połowy lutego, średnio w badanym wieloleciu jej grubość wynosiła 34,8 cm. Pokrywa śnieżna ≥ 100 cm występowała od połowy stycznia do połowy lutego, a jej największą miąższość (178 cm) odnotowano 30 stycznia 1976 r..

Średnia wieloletnia suma grubości pokrywy śnieżnej w sezonie wynosiła niespełna 3000 cm, od 477 cm w sezonie 2013/14 do 8800 cm w sezonie 1975/76 i charakteryzowała się ujemnym trendem.

Badany okres charakteryzował się znaczną zmiennością współczynnika śnieżności zim od 1,61 w sezonie 2013/14 do 8,00 w sezonie 1962/63.

W badanym wieloleciu obserwowana jest w Zawoi wyraźna okresowość liczby dni z występowaniem pokrywy śnieżnej, średniej i sumy pokrywy śnieżnej oraz śnieżności zim, wynosząca 16–19 lat.

Konflikt interesów

Autor deklaruje brak potencjalnych konfliktów.

Źródła finansowania badań

Pracę naukową finansowano ze środków Wydziału Geografii i Geologii Uniwersytetu Jagiellońskiego, na podstawie decyzji K/DSC/004754 i ze środków Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Tarnowie, umowa nr PWSZ/PRWR-s/0700-7/PN-U/2018.

Literatura

- Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z. 2007. Hydrologia ogólna. PWN, Warszawa, 340 s. ISBN 9788301145798.
- Bartoszek K. 2007. Charakterystyka pokrywy śnieżnej w Obserwatorium Agrometeorologicznym w Felinie (1955/1956–2004/2005). *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio B, Geographia, Geologia, Mineralogia et Petrographia* 62(1): 39–47.
- Bednorz E. 2001. Pokrywa śnieżna a kierunki napływu mas powietrza w Polsce Północno-Zachodniej. Uniwersytet Adama Mickiewicza Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 132 s. ISBN 832321123X.
- Bednorz E. 2002. Snow cover in western Poland and macro-scale circulation conditions. *International Journal of Climatology* 22: 533–541.
- Bednorz E. 2004. Snow cover in eastern Europe in relation to temperature, precipitation and circulation. *International Journal of Climatology* 24: 591–601.
- 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, w: Climatic Change at High Elevation Sites (red. H.F. Diaz, M. Beniston, R.S. Bradley). Springer, Dordrecht, 49–68. DOI 10.1007/978-94-015-8905-5_3.
- Beniston M., Keller F., Goyette S. 2003. Snow pack in the Swiss Alps under changing climatic conditions: an empirical approach for climate impacts studies. *Theoretical and Applied Climatology* 74 (1–2): 19–31. DOI 10.1007/s00704-002-0709-1.
- Birsan M-V., Dumitrescu A. 2014. Snow variability in Romania in connection to large-scale atmospheric circulation. *International Journal of Climatology* 34(1): 134–144. DOI 10.1002/joc.3671.
- Bojariu R., Dinu M. 2007. Snow variability and change in Romania, w: Proceedings of the Alpine Snow Workshop. 5–6 October 2006 r., Munich, 64–68.
- Brown R.D., Petkova N. 2007. Snow cover variability in Bulgarian mountainous regions, 1931–2000. *International Journal of Climatology* 27: 1215–1229. DOI 10.1002/joc.1468.
- Burdy-Zalewska J. 1960. Wpływ rzeźby terenu i wystaw na schodzenie pokrywy śnieżnej i postaci erozji wodnej. *Wiadomości Instytutu Meteorologii* 1(4).
- Burdy-Zalewska J. 1964. Schodzenie pokrywy śnieżnej w terenie urzeźbionym w zależności od wystaw i nachyleń. *Pamiętnik Puławski – Prace Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach*, 12.
- Cazacioc L.-V., Cazacioc A. 2005. Impact of the macro-scale atmospheric circulation on snow cover duration in Romania, w: Online Proceedings of ICAM2005, 28th International Conference on Alpine Meteorology. 23–27 May 2005 r., Zadar, 495–498. www.cnrm.meteo.fr/icam2007/ICAM2007/extended/manuscript_9.pdf. [6.02.2018].
- Chomicz K. 1953. Pokrywa śnieżna a gospodarka wodna w Polsce. *Gospodarka Wodna* 13(2): 52–56.
- Chrzanowski J. 1986. Pokrywa śnieżna w Polsce i klasyfikacja jej grubości. *Wiadomości IMGW* 9/30, 2: 11–29.
- Chrzanowski J. 1988. Pokrywa śnieżna w Polsce, klasyfikacja jej grubości i regionalizacja. *Materiały badawcze IMGW, Ser. Meteorologia* 15, Warszawa, 1–43.
- Czaja B., Kaczka R.J. 2014. Dendrochronologiczna charakterystyka górnej granicy lasu na Babiej Górze w strefie jej progresu. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 40(4): 42–52.
- Czarnecka M. 2011. Zmienność terminów początku i końca pokrywy śnieżnej o różnym czasie zalegania i ich uwarunkowania cyrkulacyjne. *Prace i Studia Geograficzne* 47: 109–118.
- Czarnecka M. 2012. Częstość występowania i grubość pokrywy śnieżnej w Polsce. *Acta Agrophysica* 19(3): 501–514.
- Durand Y., Giraud G., Laternser M., Etchevers P., Merindol L., Lesaffre B. 2009. Reanalysis of 47 years of climate in the French Alps (1958–2005): climatology and trends for snow cover. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 48(12): 2487–2512. DOI 10.1175/2009JAMC1810.1.
- Falarz M. 1999. Wieloletnia zmienność warunków śnieżnych korzystnych dla narciarstwa w polskich Tatrach, w: Zmiany i zmienność klimatu Polski i ich wpływ na ekosystemy, gospodarkę i człowieka. Ogólnopolska konferencja naukowa, Łódź 4–6 listopada 1999 r., 65–70.
- Falarz M. 2000. An attempt of reconstruction of nival conditions on the turn of the 19th century in Cracow and Zakopane. *Prace Geograficzne* 107: 213–221.
- Falarz M. 2000–2001. Zmienność wieloletnia występowania pokrywy śnieżnej w polskich Tatrach. *Folia Geographica, seria: Geographica Physica* 31–32: 101–123.
- Falarz M. 2002a. Klimatyczne przyczyny zmian i wieloletniej zmienności występowania pokrywy śnieżnej w polskich Tatrach. *Przegląd Geograficzny* 74(1): 93–118.
- Falarz M. 2002b. Long-term variability in reconstructed and observed snow cover over the last 100 winter seasons in Cracow and Zakopane (southern Poland). *Climate Research* 19(3): 247–256. DOI 10.3354/cr019247.
- 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): 1713–1727. DOI 10.1002/joc.1093.
- Falarz M. 2007. Potencjalny okres występowania pokrywy śnieżnej w Polsce i jego zmiany w XX wieku, w: Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych (red. K. Piotrowicz, R. Twardosz). Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 205–213. ISBN 978-83-88424-24-3.
- Falarz M. 2010. Współczynnik trwałości pokrywy śnieżnej w Polsce - rozkład przestrzenny, ekstrema, zmiany wieloletnie, w: Klimat Polski na tle klimatu Europy, warunki termiczne i opadowe (red. E. Bednorz). Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 169–179.
- Falarz M. 2012. Cyrkulacyjne uwarunkowania występowania opadów śniegu w Polsce południowej, w: Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu (red. Z. Bielec-Bąkowska, E. Łupikasz, A. Widawski). *Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego* 74, 131–138.
- Falarz M., Marsz A. 2005. Temperatura Atlantyku a pokrywa śnieżna w Polsce. *Przegląd Geofizyczny* 50(1/2): 13–19.
- Hess M. 1965. Piętra klimatologiczne w Polskich Karpatach Zachodnich. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Geograficzne* 11: 1–258.
- Holeksa J., Szwagrzyk J., Musiałowicz W., Parusel J. 2004. Struktura i dynamika lasów Babiogórskiego Parku Narodowego, w:

- Babiogórski Park Narodowy. Monografia przyrodnicza (red. B.W. Wołoszyn, A. Jaworski, J. Szwagrzyk). Babiogórski Park Narodowy, Kraków, 528–596.
- Holko L., Gorbachova L., Kostka Z. 2011. Snow Hydrology in Central Europe. *Geography Compass* 5(4): 200–210. DOI 10.1111/j.1749-8198.2011.00412.x.
- Hyvärinen V. 2003. Trends and characteristics of hydrological time series in Finland. *Nordic Hydrology* 34: 71–90.
- Jankowski L., Margielewski W. 2014. Strukturalne uwarunkowania rozwoju rzeźby Karpat zewnętrznych – nowe spojrzenie. *Przegląd Geologiczny* 62(1): 29–35.
- Kasprowicz T., Farat R. 2010. Snow cover occurrences in Poland. *Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie* 183(4): 71–89.
- Keller F., Goyette S., Beniston M. 2005. Sensitivity analysis of snow cover to climate change scenarios and their impact on plant habitats in alpine terrain. *Climatic Change* 72: 299–319. DOI 10.1007/s10584-005-5360-2.
- Kondracki J., 2000. Geografia regionalna Polski, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 441 s. ISBN 978-83-01-16022-7.
- Kossowska-Cezak U., Bajkiewicz-Grabowska G. 2008. Podstawy hydrometeorologii. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 249 s. ISBN 978-83-01-15315-1.
- Kozak J.L., Łepko M. 2015. Wieloletnia zmienność grubości pokrywy śnieżnej w okolicy Szczyrku. *Inżynieria Ekologiczna* 41: 153–159. DOI 10.12912/23920629/1844.
- Książkiewicz M. 1974a. Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50000, Arkusz Sucha Beskidzka. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa, 54 s.
- Książkiewicz M. 1974b. Objąśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000, Arkusz Sucha Beskidzka. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 83 s.
- Lapin M., Fasko P. 1996. Snow cover and precipitation changes in Slovakia in the 1921 – 1996 period, w: Proceedngs of the 24th International Conference on Alpine Meterology (red. J. Rakovec, M. Zagar). HMI of Slovenia, Bled, 259–266.
- Laszczak E., Ziółkowski L., Siwek J. 2011. Opady i pokrywa śnieżna. Hydrologia Bieszczadów. Zlewnie sanu i Solinki powyżej Jeziora Solińskiego (red. B. Rzonca, J. Siwek). Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej. Uniwersytet Jagielloński, Kraków, 21–29. ISBN 978-83-88424-66-3.
- Leśniak B. 1973. O niektórych charakterystykach pokrywy śnieżnej w województwie krakowskim. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego. Prace Geograficzne* 32: 119–128.
- Leśniak B. 1975. Grubość pokrywy śnieżnej w województwie krakowskim. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego. Prace Geograficzne* 41: 97–114.
- Leśniak B. 1980. Pokrywa śnieżna w dorzeczu górnej Wisły. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego. Prace Geograficzne* 51: 65–127.
- Leśniak B. 1981. Współczynnik trwałości pokrywy śnieżnej na obszarze dorzecza górnej Wisły. *Folia Geographica Series Geographica-Physica* 14: 89–102.
- Leśniak B. 1984. Zróżnicowanie charakterystyk stałej pokrywy śnieżnej w dorzeczu Dunajca. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego. Prace Geograficzne* 58: 37–48.
- Leśniak B. Obrębka-Starkłowa B. 1983. Klimat województwa bielskiego. *Folia Geographica Series Geographica-Physica* 15: 21–47.
- Lewińska J. 1963. Zasoby wodne śniegu w dorzeczu Dunajca i metoda ich określania. *Prace Państwowego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego* 78: 1–46.
- Lorenc H. 1964. Zaśnieżenie Wielkopolski. *Gazeta Obserwatora Państwowego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego* 17(4): 8–9.
- Łajczak A. 1998. Charakterystyka hydrograficzna, zasoby wodne, zagrożenie wód i wykonanie szczegółowej mapy hydrograficznej Babiogórskiego Parku Narodowego, w: Plan ochrony Babiogórskiego Parku Narodowego, Babiogórski Park Narodowy, Zawoja, 1–118.
- Łajczak A. 2004. Pokrywa śnieżna, w: Babiogórski Park Narodowy. Monografia przyrodnicza (red. B.W. Wołoszyn, A. Jaworski, J. Szwagrzyk). Wyd. Komitetu Ochrony Przyrody Polskiej Akademii Nauk i Babiogórskiego Parku Narodowego, Kraków, 175–192. ISBN 9788389707390.
- Łajczak A. 2004. Wody Babiej Góry, w: Babiogórski Park Narodowy. Monografia Przyrodnicza (red. B.W. Wołoszyn, A. Jaworski, J. Szwagrzyk). Babiogórski Park Narodowy, Zawoja-Kraków, 153–177. ISBN 9788389707390.
- Łajczak A. 2017. Wody Babiej Góry. Babiogórski Park Narodowy, Maków Podhalański. ISBN 978-83-946410-0-9.
- Madany R. 1961. O opadach śniegu i szacie śnieżnej w Karpatach Polskich w okresie 1951–1965. *Przegląd Geofizyczny* 6(3): 131–146.
- Marty C, Blanchet J. 2012. Long-term changes in annual maximum snow depth and snowfall in Switzerland based on extreme value statistics. *Climatic Change* 111(3–4): 705–721. DOI 10.1007/s10584-011-0159-9.
- Michalska B. 2011. Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce. *Prace i Studia Geograficzne* 47: 67–75.
- Microsoft Excel 2010. Pakiet Microsoft Office 2010.
- Micu D. 2009. Snow pack in the Romanian Carpathians under changing climatic conditions. *Meteorology and Atmospheric Physics* 105(1–2): 1–16. DOI 10.1007/s00703-009-0035-6.
- Milata W. 1937. Pokrywa śnieżna w Karpatach. *Prace Studium Turyzmu Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie* 3, 52 s.
- Milata W. 1950. Trwałość pokrywy śnieżnej w Polsce. *Przegląd Geograficzny* 22: 201–209.
- Niedźwiedz M. 1998. Charakterystyka pokrywy śnieżnej w Łodzi w latach 1950–1989. *Acta Universitatis Lodziensis. Folia Geographica Physica* 3: 265–277.
- Niedźwiedz T. 2000. Variability of the atmospheric circulation above Central Europe in the light of selected indices. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego. Prace Geograficzne* 107: 379–389.
- Niedźwiedz M. Obrębka-Starkłowa B. 1991. Klimat, w: Dorzecze górnej Wisły (red. I. Dynowska, M. Maciejowski). Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa–Kraków 2: 68–84.
- Nowosad M. 1987. Trwałość pokrywy śnieżnej w okolicy Ustrzyk Dolnych. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio B, Geographia, Geologia, Mineralogia et Petrographia* 42/43: 189–202.
- Nowosad M. 1991. Częstość występowania pokrywy śnieżnej w poszczególnych dniach zimy w Bieszczadach. *Biuletyn Lubelskiego Towarzystwa Naukowego. Geografia* 32(1–2): 3–7.
- Nowosad M. 1994. Zarys charakterystyki pokrywy śnieżnej w Bieszczadach. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio B, Geographia, Geologia, Mineralogia et Petrographia* 49(14): 197–215.
- Obrębka-Starkłowa B. 1963. Klimat Babiej Góry, w: Babiogórski Park Narodowy (red. W. Szafer). Państwowa Akademia Nauk, Kraków, 45–67.
- Obrębka-Starkłowa B. 1968. Pokrywa śnieżna we wschodniej części Gorców. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Geograficzne* 18: 27–51.

- Obrębska-Starkłowa B., Hess M., Olecki Z., Trepińska J., Kowanetz L. 1995. Klimat, w: Karpaty Polskie: przyroda, człowiek i jego działalność (red. J. Warszńska). Wyd. Uniwersytet Jagielloński, Kraków. ISBN 83-233-0852-7.
- Paczos S. 1982. Stosunki termiczne i śnieżne w Polsce. Rozpr. hab. 24, Wyd. Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Lublin.
- Paczos S. 1987. Pokrywa śnieżna na obszarze wschodniej części polskich Karpat. *Biuletyn Lubelskiego Towarzystwa Naukowego. Geografia* 29(1): 39–45.
- Parusel J. 2017. Szata roślinna, w: Police – pasmo w cieniu Babiej Góry. Monografia geograficzna (red. P. Franczak). Wyd. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej. Uniwersytet Jagielloński, Kraków, 110–140. ISBN 978-83-64089-40-4.
- Petkova N., Koleva E., Alexandrov V. 2004. Snow cover variability and change in mountainous regions of Bulgaria, 1931–2000. *Meteorologische Zeitschrift* 13(1): 19–23. DOI 10.1127/0941-2948/2004/0013-0019.
- Pociask-Karteczka J., Choiński A. 2012. Recent trends in ice cover duration for Lake Morskie Oko (Tatra Mountains, East-Central Europe). *Hydrology Research* 43(4): 500–506. DOI 10.2166/nh.2012.019.
- Popova V. 2007. Winter snow depth variability over northern Eurasia in relation to recent atmospheric circulation changes. *International Journal of Climatology* 27: 1721–1733. DOI 10.1002/joc.1489.
- Sulikowska A., Ciaranek D., Franczak P. 2017. Klimat, w: Police – pasmo w cieniu Babiej Góry. Monografia geograficzna (red. P. Franczak). Wyd. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej. Uniwersytet Jagielloński, Kraków, 80–97. ISBN 978-83-64089-40-4.
- Szwagrzyk J., Holeksa J., Musiałowicz W. 1999. Operat ekosystemów leśnych i nieleśnych wraz z elementami ochrony gatunkowej roślin, w: Plan ochrony Babiogórskiego Parku Narodowego. Babiogórski Park Narodowy, Zawoja, 1–109.
- Urban G. 2015. Zaleganie pokrywy śnieżnej i jego zmienność w polskiej części Sudetów i na ich przedpolu. *Przegląd Geograficzny* 87(3): 497–516. DOI 10.7163/PrzG.2015.3.5.
- Ustrul Z., Czekierda D. 2007. Wpływ wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej na średnią temperaturę powietrza w różnych skalach przestrzennych, w: Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych (red. K. Piotrowicz, R. Twardosz). Wyd. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej. Uniwersytet Jagielloński, Kraków, 75–84. ISBN 978-83-88424-24-3.
- Vavrus S. 2007. The role of terrestrial snow cover in the climate system. *Climate Dynamics* 29: 73–88. DOI 10.1007/s00382-007-0226-0.
- Wibig J., Głowicki B. 2002. Trends of minimum and maximum temperature in Poland. *Climate Research* 20(2): 123–133. DOI 10.3354/cr020123.
- Wilson D., Hisdal H., Lawrence D. 2010. Has streamflow changed in the Nordic countries? –Recent trends and comparisons to hydrological projections. *Journal of Hydrology* 394: 334–346. DOI 10.1016/j.jhydrol.2010.09.010.