

Zmiany występowania pokrywy śnieżnej w północnych Niemczech w latach 1950/51-1999/00

Changes in snow cover occurrence in northern Germany
in winters 1950/51-1999/00

Ewa Bednorz¹

Zarys treści: Analizowano tendencje zmian występowania pokrywy śnieżnej w ośmiu stacjach na obszarze północnych Niemiec podczas 50 zim (1950/51-1999/00). Wykorzystano dwa wskaźniki: sezonową liczbę dni z pokrywą śnieżną i jej maksymalną grubość. We wszystkich stacjach stwierdzono ujemne tendencje zmian; najsilniejsze na północy, gdzie liczba dni z pokrywą malała o ponad 4 dni na 10 lat. W najmniej śnieżnych rejonach na zachodzie zmiany były mniej dynamiczne: ubywało niewiele ponad 1 dzień z pokrywą na 10 lat. Zmiany maksymalnej sezonowej grubości pokrywy śnieżnej wynosiły średnio około -1,5 cm/10 lat.

Słowa kluczowe: pokrywa śnieżna, zmiany klimatu, północne Niemcy

Key words: snow cover, climate change, northern Germany

Wstęp

Pokrywa śnieżna jest ważnym elementem klimatycznym w szerokościach umiarkowanych. Jako pochodna związku temperatury powietrza i opadów atmosferycznych, a także innych elementów meteorologicznych, uważana jest za syntetyczny wskaźnik opisujący warunki klimatyczne zim i ich wieloletnie zmiany (Falarz 2004). Śnieg jest jednocześnie ważnym czynnikiem modyfikującym warunki pogodowe. Przez swoje duże albedo wpływa na bilans promieniowania powierzchni ziemi, a w fazie wytapiania istotnie obniża temperaturę przygrunтовой warstwy powietrza. Pokrywa śnieżna zalegająca na dużym obszarze zmienia warunki synoptyczne podwyższając ciśnienie, a redukując zachmurzenie i opady atmosferyczne.

Wieloletnia zmienność występowania pokrywy śnieżnej daje przybliżony obraz zmian warunków klimatycznych zim w strefie umiarkowanej i była przedmiotem badań

¹ Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, Uniwersytet im. A. Mickiewicza, ul. Dąbrowskiego 27, 61-680 Poznań, e-mail: ewabedno@amu.edu.pl

w różnej skali przestrzennej i czasowej. W Europie istnieją opracowania z poszczególnych krajów. I tak np. w Polsce Falarz (2000-2001, 2002a, 2002b, 2004) dokonała analizy występowania pokrywy śnieżnej w XX w. i stwierdziła ujemne tendencje zmian liczby dni z pokrywą śnieżną w większości kraju (szczególnie w drugiej połowie XX w.). Jedynie na obszarach górskich tendencja jest dodatnia. Liczba dni z pokrywą zmniejszyła się w Estonii (Jaagus 1997; Tooming, Kadaja 1999). Ujemne tendencje zmian grubości pokrywy śnieżnej w ubiegłym wieku stwierdzono w europejskiej części Rosji (Ye i in. 1998; Bednorz, Kossowski 2004). Trwałość pokrywy śnieżnej w Austrii zmniejszyła się o 10% do 30% w czasie ostatnich 100 lat (Mohnl 1994, za Hantel i in. 2000), a w Alpach Szwajcarskich sezon śnieżny skrócił się wyraźnie od lat 80. XX w. (Beniston 1997).

Celem niniejszej pracy było zbadanie zmienności występowania pokrywy śnieżnej w północnych Niemczech w drugiej połowie XX w. Cel zrealizowano przez ustalenie tendencji zmian podstawowych charakterystyk pokrywy śnieżnej (liczba dni z pokrywą śnieżną i jej grubość) oraz próbę wykrycia cyklicznych wahań sezonowej liczby dni z pokrywą śnieżną. Badania zmian występowania pokrywy śnieżnej w północnych Niemczech w drugiej połowie ubiegłego wieku nie były dotąd publikowane, toteż niniejsza wstępna analiza ma na celu wypełnić tę lukę i – być może – potwierdzić ujemne tendencje występowania pokrywy śnieżnej obserwowane w Europie.

Dane źródłowe i metody badań

W opracowaniu wykorzystano codzienne dane dotyczące grubości pokrywy śnieżnej z 50 sezonów zimowych (1950/51-1999/00) z ośmiu stacji w północnych Niemczech (ryc. 1). Wysokość stacji nie przekracza 250 m n.p.m., chociaż obszar badań obejmuje oprócz Niziny Niemieckiej na północy, także wyżyny środkowej części kraju. Dane pochodzą z niemieckich roczników meteorologicznych *Deutsches Meteorologisches*



Ryc. 1. Lokalizacja stacji wykorzystanych do opracowania

Fig. 1. Location of stations used in the study

Jahrbuch publikowanych przez Deutscher Wetterdienst (Offenbach, Poczdam). Pokrywa śnieżna mierzona była raz na dobę o godzinie 6 UTC z dokładnością do 1 cm. Dni z pokrywą analizowane w niniejszym opracowaniu to takie, kiedy śnieg o grubości ≥ 1 cm zalegał na większości terenu obserwacji.

Wykorzystano dwa wskaźniki charakteryzujące śnieżność zim: sezonową i miesięczną liczbę dni z pokrywą śnieżną oraz jej maksymalną grubość. Zbadano wieloletnią zmienność obu wskaźników oraz trendy zmian w drugiej poł. XX w. Miarami zmienności są odchylenie standardowe i współczynnik zmienności. Na rycinach wieloletniego przebiegu nanie-

siono linie trendu z równaniami linii trendu i regresją liniową. Z równań linii trendu obliczono absolutne i względne zmiany liczby dni z pokrywą i maksymalnej grubości pokrywy na 10 lat. Dodatkowo podjęto próbę wykrycia cyklicznych wahań sezonowej liczby dni z pokrywą śnieżną metodą analizy widmowej Fouriera.

Wyniki

Północne, nizinne Niemcy nie są regionem szczególnie śnieżnym. Średnia sezonowa liczba dni z pokrywą wynosi od około 30-40 dni na wschodzie, spada nawet poniżej 15 dni na zachodzie. Wartości te cechują się dużą zmiennością z roku na rok. Współczynnik zmienności wynosi 60% w najbardziej śnieżnym Poczdamie, a przekracza 100% w najmniej śnieżnym Kleve. W centrum i na zachodzie badanego obszaru zdarzają się zimy ze śniegiem zalegającym rzez ponad 80 dni, a nawet ponad 100 dni, np. w czasie zimy 1969/70 (tab. 1, ryc. 2).

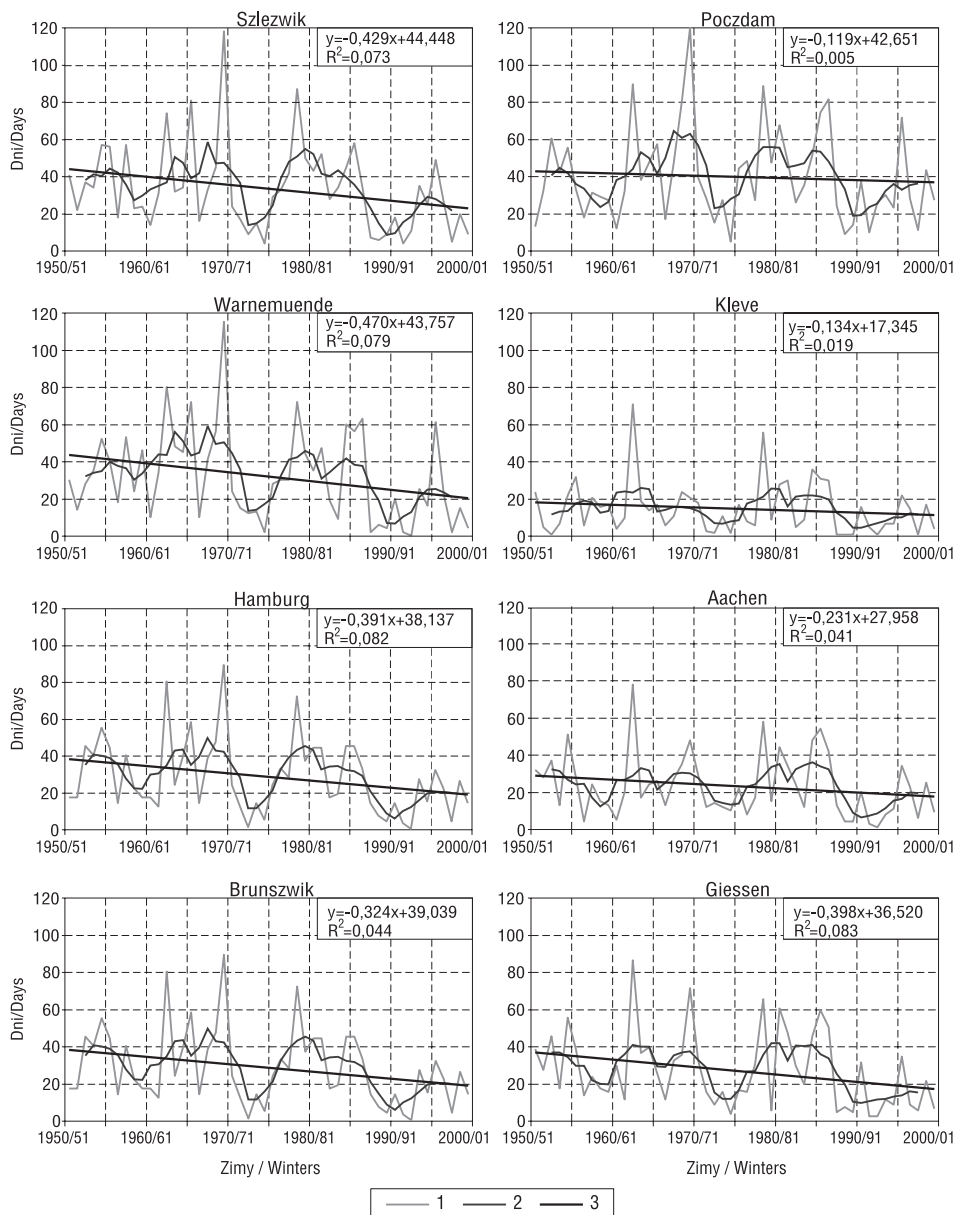
Tab. 1. Liczba dni z pokrywą śnieżną w czasie zim 1950/51-1999/00

Table 1. The number of days with snow cover in winters 1950/51-1999/00

Stacja Station	Liczba dni z pokrywą śnieżną / Number of days with snow cover				
	Średnia 50-letnia 50-year mean	Maksymalna Maximum	Minimalna Minimum	Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności (%) Coefficient of variability (%)
Szlezwik	33,1	118	4	23,2	70,0
Warnemuende	31,5	115	0	24,3	77,3
Hamburg	27,7	89	0	20,0	72,4
Poczdam	39,1	119	9	24,2	61,7
Kleve	13,7	70	0	14,0	101,9
Aachen	21,6	77	0	16,7	77,0
Brunszwik	30,3	105	1	22,7	74,8
Giessen	26,0	86	2	20,1	77,1

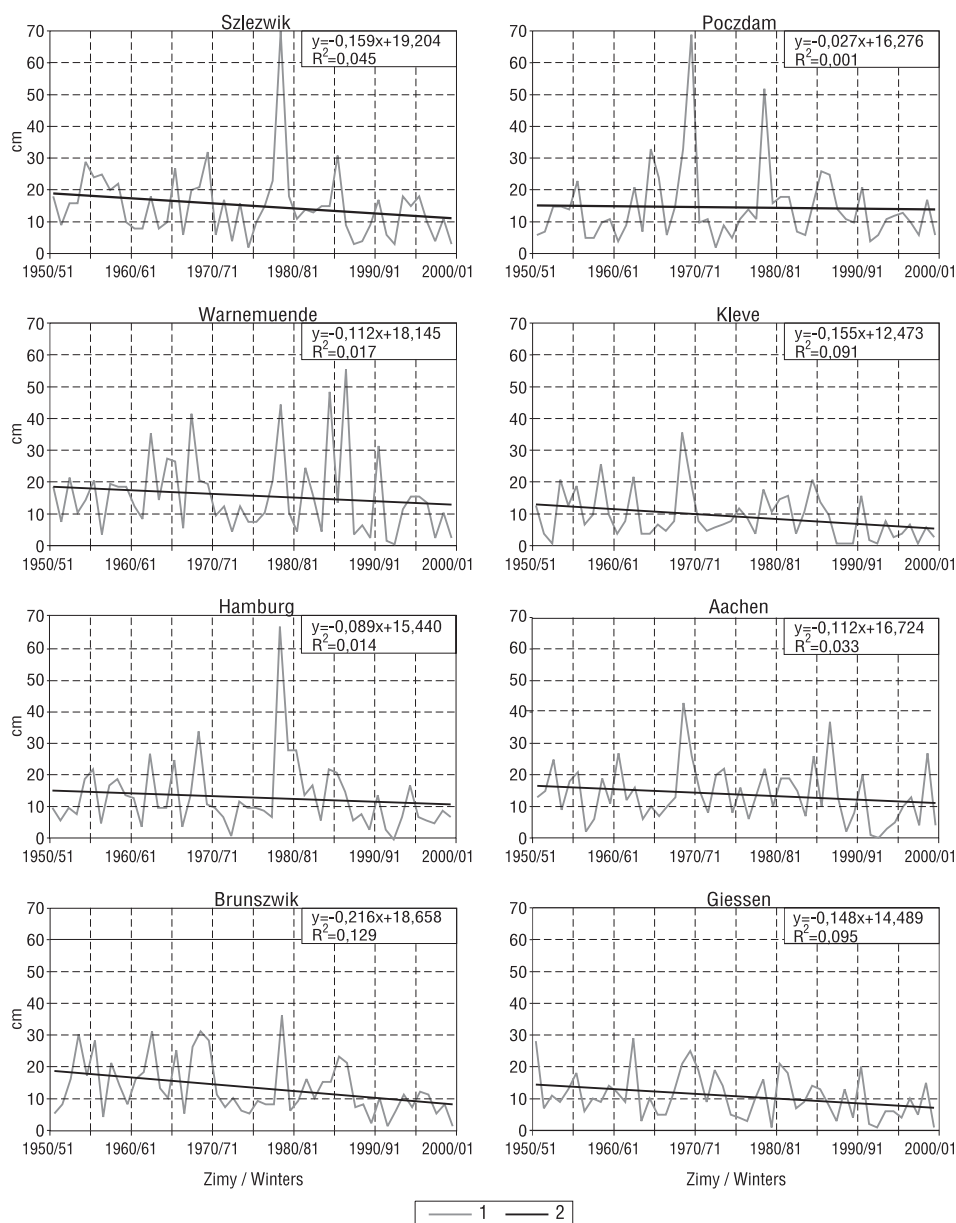
Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej uśredniona z 50 lat waha się od około 8 cm w dolnej części doliny Renu (Kleve) do 15 cm i więcej na północnym wschodzie i również cechuje się dużą zmiennością (współczynnik zmienności 65-90%). W rejonach najbardziej śnieżnych sporadycznie obserwowano pokrywę śnieżną o grubości 50-70 cm (tab. 2, ryc. 3).

Prześlędzono 50-letnie tendencje zmian sezonowej liczby dni z pokrywą śnieżną i jej maksymalnej grubości. We wszystkich stacjach stwierdzono ujemny trend, najsilniejszy na północy. Tam liczba dni z pokrywą malała o ponad 4 dni/10 lat (miara względna wynosi około 15%/10 lat). Zmiany liczby dni z pokrywą okazały się istotne statystycznie w trzech stacjach. W najmniej śnieżnych rejonach na zachodzie spadek śnieżności był mniej dynamiczny: ubywało niewiele ponad 1 dzień z pokrywą na



Ryc. 2. Wieloletni przebieg sezonowej liczby dni z pokrywa śnieżną. Wartości rzeczywiste (1) i 7-letnia średnia ruchoma (2) z linią trendu (3) i jej równaniem z zim 1950/51-1999/00

Fig. 2. The multiannual course of the number of days with snow cover. Real values (1) and 7-yr moving averages (2) with the linear trend (3) and its equation for winters 1950/51-1999/00



Ryc. 3. Wieloletni przebieg maksymalnej grubości pokrywy śnieżnej (1) z linią trendu (2) i jej równaniem z zim 1950/51-1999/00

Fig. 3. The multiannual course of the maximum snow cover depth (1) with the linear trend (2) and its equation for winters 1950/51-1999/00

Tab. 2. Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej w czasie zim 1950/51-1999/00

Table 2. The maximum depth of snow cover in winters 1950/51-1999/00

Stacja Station	Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej / Maximum annual depth of snow cover				
	Średnia 50-letnia 50-year mean	Najwyższa Highest	Najniższa Lowest	Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności (%) Coefficient of variability (%)
Szlezwik	15,1	70	3	10,9	72,0
Warnemuende	15,1	55	0	12,3	81,5
Hamburg	13,1	67	0	10,8	82,2
Poczdami	15,6	70	3	11,9	76,0
Kleve	8,4	35	0	7,5	89,0
Aachen	13,6	43	0	9,2	67,7
Brunszwik	13,1	36	1	8,7	66,1
Giessen	10,6	29	1	7,0	66,0

10 lat (tab. 3). Analiza trendów miesięcznej liczby dni z pokrywą wskazuje słabe dodatnie tendencje na początku zimy (listopad) i wyraźne ujemne pod koniec zimy – w lutym i marcu. Tendencje zmian maksymalnej sezonowej grubości pokrywy śnieżnej okazały się ujemne, ale mniej wyraźne, od -0,3 do -2,2 cm/10 lat, średnio około -1,5 cm/10 lat (tab. 3, ryc. 3).

W wieloletnim przebiegu elementów meteorologicznych można wyróżnić oprócz składnika liniowego także składniki zmian cyklicznych. Na koniec podjęto więc próbę wykrycia cyklicznych wahań śnieżności zim wyrażonej przez sezonową liczbę dni z pokrywą. Po zastosowaniu metody analizy widmowej Fouriera otrzymano największe

Tab. 3. Zmiany pokrywy śnieżnej w czasie zim 1950/51-1999/00

Table 3. Changes in snow cover in winters 1950/51-1999/00

Stacja Station	Liczba dni z pokrywą śnieżną Number of days with snow cover		Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej Maximum depth of snow cover	
	dni · 10 lat ⁻¹ days · 10 years ⁻¹	% · 10 lat ⁻¹ % · 10 years ⁻¹	cm · 10 lat ⁻¹ cm · 10 years ⁻¹	% · 10 lat ⁻¹ % · 10 years ⁻¹
Szlezwik	-4,3	-13,0	-1,6	-10,6
Warnemuende	-4,7	-14,9	-1,6	-10,6
Hamburg	-3,9	-14,1	-0,9	-6,9
Poczdami	-1,2	-3,1	-0,3	-1,9
Kleve	-1,3	-9,5	-1,6	-19,0
Aachen	-2,3	-10,6	-1,1	-8,1
Brunszwik	-3,2	-10,6	-2,2	-16,8
Giessen	-4,0	-15,4	-1,5	-14,2

Wartości istotne statystycznie na poziomie 0,05 wyróżniono pogrubioną czcionką
Values statistically significant at 0,05 in bold

wartości periodogramu przy długości cyklu 8,3 lat w stacjach: Szlezwik, Warnemuende, Hamburg, Poczdam i Brunzwik. Okresowe zmiany można zidentyfikować w przebiegu 5-letniej średniej ruchomej (ryc. 2). Dwukrotnie dłuższy cykl (16,7 lat) stwierdzono w 2 stacjach: Aachen i Giessen.

Podsumowanie i dyskusja wyników

Śnieżność zim w Europie maleje strefowo z północy na południe, a jeszcze wyraźniej w kierunku równoleżnikowym – ze wschodu na zachód. Liczba dni z pokrywą śnieżną jest najbardziej stabilna na obszarach najbardziej śnieżnych (na północnym wschodzie Europy), a największym wahaniom podlega na zachodzie, gdzie dni ze śniegiem jest najmniej (Falarz 2004, Bednorz 2004). Reguła ta potwierdza się także na stosunkowo małym obszarze północnych Niemiec, gdzie największą zmiennością (ponad 100%) cechują się obszary najmniej śnieżne w dolnej części doliny Renu. W regionach Nadrenii, Westfalii i Dolnej Saksonii mogą zdarzać się zimy całkowicie bezśnieżne lub z pokrywą śnieżną trwającą zaledwie kilka dni. Mogą się też zdarzyć długotrwałe zimy ze śniegiem zalegającym przez ponad 50 dni. W kontekście tych spostrzeżeń niedawne obfite opady śniegu, które uformowały pokrywę o grubości powyżej 20 cm w północnych Niemczech w listopadzie 2005 r., wydają się zrozumiałe, jako uwarunkowane dużą zmiennością tego elementu meteorologicznego.

Obserwowane w Europie ujemne tendencje zmian liczby dni z pokrywą śnieżną w drugiej połowie XX w. cytowane we wstępie potwierdziły się w przypadku północnych Niemiec (Mohrl 1994 za Hantel i in. 2000; Beniston 1997, Jaagus 1997, Tooming, Kadaja 1999; Ye i in. 1998; Bednorz, Kossowski 2004; Falarz 2004). Liczba dni z pokrywą śnieżną zmniejszyła się w trzech stacjach aż o ponad 20 dni w ciągu ostatnich 50 lat. Wydaje się jednak, że przy dużej zmienności tego elementu skrajne wartości, występujące w czasie pojedynczych zim, silnie modyfikują kierunek i nachylenie krzywej. Negatywne zmiany liczby dni z pokrywą śnieżną okazały się istotne statystycznie tylko w 3 stacjach, podobnie jak negatywne zmiany maksymalnej grubości pokrywy. Warto rozważyć, co spowodowało ujemny kierunek zmian występowania pokrywy śnieżnej w północnych Niemczech. W środkowej Europie, gdzie średnia temperatura miesięcy zimowych wynosi od 5 do -5°C, oscylacje temperatury powyżej i poniżej 0°C są uważane za główny czynnik powodującym pojawianie się i zanik pokrywy śnieżnej (Clark i in. 1999; Bednorz 2002, 2004; Falarz 2004). Toteż wieloletnie zmiany liczby dni z pokrywą śnieżną należy wiązać głównie ze wzrostem temperatury miesięcy zimowych, stwierdzonym na obszarze Europy (Schönwiese, Rapp 1997 za Falarz 2004). Jednak M. Falarz (2004) wskazuje, że na obszarze Polski przyczyny zmian występowania pokrywy śnieżnej są bardziej złożone i silnie związane z cyrkulacją atmosferyczną.

Badając cykliczność sezonowej liczby dni z pokrywą śnieżną stwierdzono 8,3-letni cykl w większości stacji lub dwukrotnie dłuższy w 2 stacjach. Taką samą okresowością charakteryzuje się występowanie pokrywy śnieżnej na Nizinach Polskich (Falarz 2004).

Literatura

- Bednorz E., 2002, *Snow cover in western Poland and macro-scale circulation conditions*, Int. J. Climatol., 22, 533-541.
- Bednorz E., 2004, *Snow cover in eastern Europe in relation to temperature, precipitation and circulation*, Int. J. Climatol., 24, 591-601.
- Bednorz E., Kossowski T., 2004, *Long-term changes in snow cover depth in eastern Europe*, Clim. Res., 27, 231-236.
- 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, 281-300.
- Clark M.P., Serreze M.C., Robinson A.D., 1999, *Atmospheric controls on Eurasian snow extent*, Int. J. Climatol., 19, 27-40.
- Deutsches Meteorologisches Jahrbuch, Deutscher Wetterdienst, 1950-2000*, Offenbach, Poczdam.
- Falarz M., 2000-2001, *Zmienność wieloletnia występowania pokrywy śnieżnej w polskich Tatrach*, Folia Geogr., Ser. Geogr.-Phys., 31-32, 101-123.
- Falarz M., 2002a, *Long-term variability in reconstructed and observed snow cover over the last 100 winter seasons in Cracow and Zakopane (southern Poland)*, Clim. Res., 19, 247-256.
- Falarz M., 2002b, *Klimatyczne przyczyny zmian i wieloletniej zmienności występowania pokrywy śnieżnej w polskich Tatrach*, Prz. Geogr., 74, 1, 83-106.
- Falarz M., 2004, *Variability and trends in the duration and depth of snow cover in Poland in the 20th century*, Int. J. Climatol., 24, 13, 1713-1727.
- Hantel M., Ehrendorfer M., Haslinger A., 2000, *Climate sensitivity of snow cover duration in Austria*, Int. J. Climatol., 20, 615-640.
- Jaagus J., 1997, *The impact of climate change on the snow cover pattern in Estonia*, Climate Change, 36, 65-77.
- Mohnl H., 1994, *Die Schwankungen der Neuschneehöhe und Schneedeckendauer in Österreich (Periode 1895-1992)*, in *90-91 Jahresbericht des Sonnblickvereins für die Jahre 1992-1993*, Eigenverlag des Sonnblickvereins, Wien.
- Schönwiese C.D., Rapp J., 1997, *Climate Trend Atlas of Europe based on Observations 1891-1990*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Tooming H., Kadaja J., 1999, *Climate changes indicated by trends in snow cover duration and surface albedo in Estonia*, Meteor. Z., 8, 16-21.
- Ye H., Cho H.R., Gustafson P.E., 1998, *The changes in Russian winter snow accumulation during 1936-83 and its spatial patterns*, J. Climate, 11, 856-863.

Summary

Changes in the occurrence of snow cover in northern Germany during the second half of the 20th century were investigated. Eight stations were taken into consideration (Fig. 1) and data on the daily depth of snow cover during winter for the years 1950/51-1999/00 was used. North Germany is an area of rather poor snow conditions. The amount of snow diminishes from the east to the west. The mean number of days with snow cover per season ranges from less than 15 in the west to nearly 40 in the east.

The average maximum snow depth reaches 8 cm in the west and exceeds 15 cm in the northeast. Both the number of days with snow cover and the seasonal maximum snow depth are characterised by a great long-term variability (Tables 1, 2).

Long-term data on the change in the number of days with snow cover per season and the 7-yr moving average have been prepared for each station. Analysis of the linear trends indicates a negative slope representing a decline in the number of days with snow cover (Fig. 2). However the trend was only statistically significant, at the $p < 0.05$ level, at three stations (Warnemuende, Hamburg and Giessen), where the absolute reduction was about -4 days per decade. At less snowy stations the decrease in the number of days with snow cover is -1.2 days per decade (Table 3). Changes in the maximum depth of snow cover were analysed in the same way (Fig. 3, Table 3).

The results obtained correspond with a decline in the occurrence of snow cover (meaning the number of days with snow and its maximum depth) over most of Poland that was found by M. Falarz (2004). The same trends in the number of days with snow cover were observed in other parts of Europe, including Estonia (Jaagus 1997; Tooming, Kadaja 1999), Austria (Mohnl 1994, cited by: Hantel et al. 2000) and Swiss Alps (Beniston 1997). Snow cover depth diminished in the European part of Russia during the 20th century (Ye et al. 1998; Bednorz, Kossowski 2004).

