

ANALIZA ZIMOWEJ POKRYWY ŚNIEŻNEJ POD KĄTEM WYDZIELENIA FAZ SYPANIA ŚNIEGU (ŁODOWIEC HANSA, REGION HORNSUNDU, SPITSBERGEN)

Jan Leszkiewicz, Marian Pulina

Uniwersytet Śląski, Sosnowiec

Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Geomorfologii

Wstęp

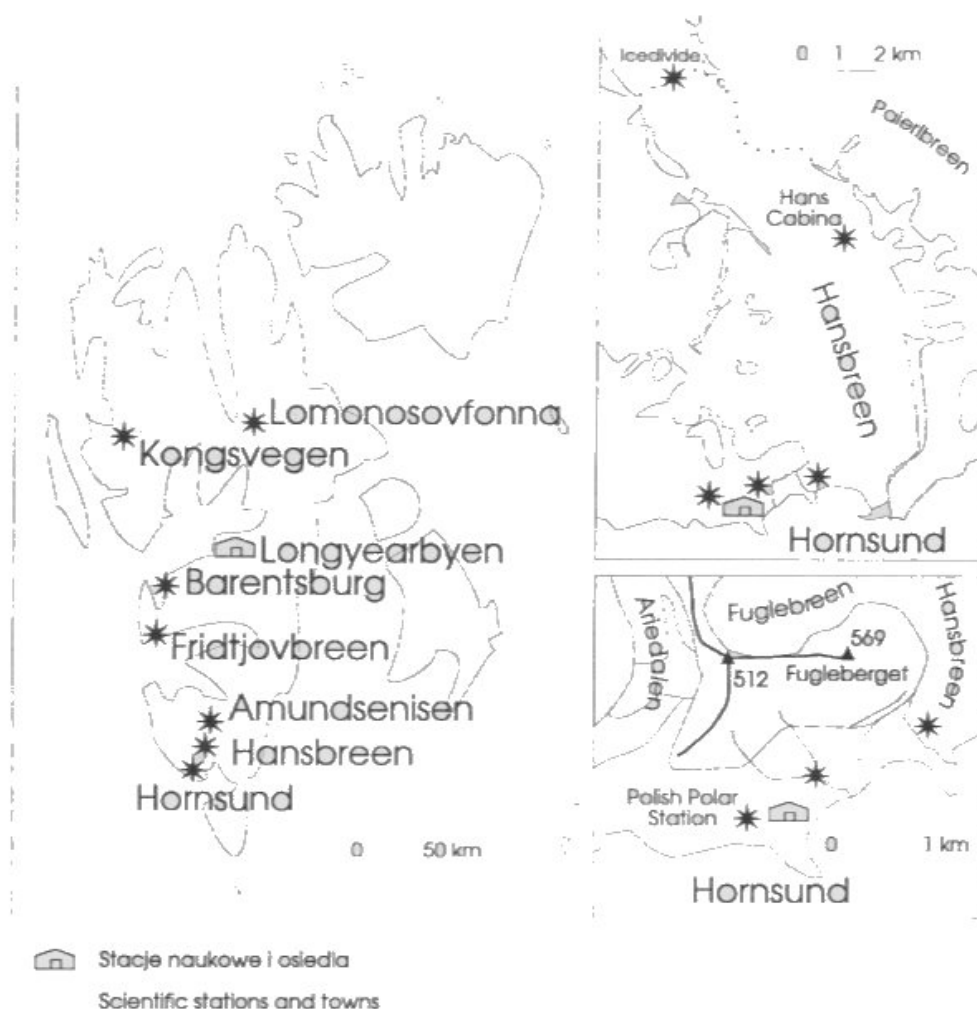
Prezentowano warunki kształtowania pokrywy śnieżnej na południowym Spitsbergenie w sezonach zimowych. Uwzględniono odmienne środowiska zalegania śniegu: lodowiec oraz obszar niezlodowacony w różnym stopniu podatny na wywiewanie śniegu. Przeanalizowano relację pomiędzy warunkami meteorologicznymi i wykształceniem pokrywy śnieżnej.

Badania niwalne przeprowadzono w regionie Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie w sezonach 1988/1989 i 1989/1990. Na Lodowcu Hansa i w jego sąsiedztwie wykopano liczne profile śnieżne, natomiast w regionie Stacji Polarnej wykonano badania szczegółowe. Lokalizację badań śniegu przedstawia ryc. 1.

W artykule wykorzystano dane meteorologiczne z Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie oraz z rosyjskiej stacji w Barentsburgu. W Katedrze Geomorfologii została utworzona baza danych meteorologicznych i niwalnych południowego Spitsbergenu.

Opady atmosferyczne - ich wielkość, przebieg i chemizm są ściśle powiązane z napływem mas powietrza. W celu zbadania związku przyczynowo-skutkowego pomiędzy cyrkulacją atmosferyczną w regionie Spitsbergenu i opadami atmosferycznymi przeanalizowano dostępne mapy synoptyczne Arktyki i północnego Atlantyku. Autorzy dysponują niemieckimi mapami synoptycznymi Boden Deutscher Wetterdienst nadawanymi drogą radiową z Offenbach w sezonie zimowym 1988/1989. Analizując mapy synoptyczne uwzględniono typy cyrkulacji atmosferycznej w regionie Svalbardu wydzielone przez Niedźwiedzia (1987).

Obok charakterystyki elementów meteorologicznych i własności pokrywy śnieżnej artykuł ukazuje postępowanie badawcze - cel metodyczny.



Ryc. 1. Lokalizacja badań śniegu
Fig. 1. Location of snow studies

Metoda badawcza umożliwia analizę tej pokrywy śnieżnej, pozwala odtworzyć fazy sypania śniegu i określić elementy meteorologiczne i fizykochemiczne, które towarzyszą temu procesowi. Do jakich celów można wykorzystać wyniki tej metody?

1. W przypadku, gdy chcemy odtworzyć charakterystykę całej zimy nie prowadząc szczegółowych badań w ciągu nocy polarnej. Wystarczy przeanalizować pokrywę śnieżną w końcu sezonu zimowego. Należy jednak mieć świadomość ograniczeń odtworzonej w ten sposób charakterystyki zimy.
2. W przypadku badań zanieczyszczeń opadów atmosferycznych. Ważnym elementem tych badań jest właściwe rozpoznanie profilu pokrywy śnież-

nej. Szczególnie w przypadku badań na rozległych obszarach (dużych powierzchniach).

3. Porównanie profili śnieżnych z różnych obszarów.

Identyfikacja fazy sypania śniegu

Faza sypania śniegu to seria opadów atmosferycznych w sezonie zimowym prowadząca do powstania stosunkowo jednorodnej warstwy śnieżnej. Warstwa ta jest oddzielona od warstw z nią sąsiadujących (od warstw do niej przylegających w spagu i stropie) strefami przejściowymi, lub granicami nieciągłości o różnorodnej genezie. Najbardziej wyraźne granice między fazami sypania śniegu to warstwy lodoszreni, będące wynikiem odwilży zimowych. Warstwy lodoszreni stanowią strefy przejściowe pomiędzy kolejnymi fazami sypania. Poszczególne fazy sypania charakteryzują się również pewną wewnętrzną niejednorodnością. W ich obrębie występują subfazy oddzielone mniej wyraźnymi granicami niższego rzędu.

Faza jest stosunkowo długim okresem czasu, w którym następuje duży opad śniegu, ze stosunkowo niewielkimi przerwami. Granica górna takiej warstwy jest często wynikiem oddziaływania wiatrów, niekiedy bardzo silnych, lub też kształtowana jest pod wpływem odwilży. Rzadkie są przypadki granic radiacyjnych, powstałych przez działanie intensywnego promieniowania słonecznego na powierzchnię śniegu. Pokrywy radiacyjne tworzą się na obszarach nisko położonych od marca do maja w czasie słonecznej pogody przy ujemnej temperaturze powietrza.

Charakter i wykształcenie faz sypania zależne są od dwóch grup czynników, a mianowicie od warunków meteorologicznych oraz od charakteru rzeźby terenu.

Przebieg typowej fazy sypania śniegu na południowym Spitsbergenie

Tworzenie się typowej fazy sypania na południowym Spitsbergenie przebiega w kilku etapach.

1. Do południowego Spitsbergenu zbliża się cyklon z południowego-zachodu z ciepłym, wilgotnym powietrzem oceanicznym. Następuje ocieplenie - kilkugodzinna odwilż z opadami: początkowo deszczu, lub deszczu ze śniegiem, a później śniegu. Silnemu wiatrowi towarzyszy zamieć śnieżna. Jeżeli południowy Spitsbergen znajduje się w północnym skraju cyklonu, wówczas opad atmosferyczny zwykle nie występuje. Wiele natomiast silny wiatr połączony z zamiecią.

2. Cyklon stopniowo oddala się od Spitsbergenu - wolno przemieszcza się na wschód. Następuje ochłodzenie. Intensywność opadu śniegu stopniowo maleje, aż w końcu opad ustaje. Silny wiatr z zamiecią utrzymuje się zwykle dłużej aniżeli opad. Zachodzi wtedy przemodelowanie powierzchni śniegu. Wilgotny śnieg w podłożu powierzchni pokrywy śnieżnej zamarza, tworzy się warstwa lodoszreni.
3. Następuje stabilizacja warunków pogodowych.

Nowa warstwa śniegu nie utworzy się w przypadku, gdy trajektoria cyklonu przebiegać będzie na południe od Spitsbergenu. Opad atmosferyczny wówczas nie wystąpi. Natomiast zamieć towarzysząca silnemu wiatrowi przemodeluje pokrywę śnieżną. Część śniegu zostanie wywiana do morza.

Nowa warstwa śniegu, utworzona w wyniku opadu atmosferycznego, może pozostać w pokrywie śnieżnej aż do końca sezonu zimowego, ale może być też usunięta całkowicie przez silne wiatry. Czynnikiem chroniącym górną warstwę jest lodoszren, która tworzy się zwykle po odwilży. To zagadnienie dobrze ilustruje kształtowanie się pokrywy śnieżnej w Polskiej Stacji Polarnej w okresie dwóch opracowywanych sezonów zimowych. Zima 1989/1990 charakteryzowała się dwukrotnie większą liczbą dni z odwilżą w stosunku do zimy ją poprzedzającej (tab. 1), stąd też większa liczba lodoszreni w pokrywie zimowej i lepsze ich wykształcenie. W konsekwencji stosunek ekwiwalentu wodnego pokrywy śnieżnej w końcu sezonu zimowego do sumy opadu atmosferycznego za okres zimy wynosi 94%, podczas gdy rok wcześniej wskaźnik ten był równy tylko 41%. W pierwszej dekadzie grudnia zimy 1988/1989 w okolicach Polskiej Stacji utworzyła się warstwa lodoszreni, która do końca zimy stanowiła podstawę wywiewania śniegu.

W świetle powyższych stwierdzeń narzuca się pytanie: Czy wyniki pomiarów pokrywy śnieżnej z Polskiej Stacji Polarnej są reprezentatywne dla regionu Hornsundu? Dostępne dane umożliwiają udzielenie odpowiedzi. Stacja jest reprezentatywna dla tych fragmentów nizin nadmorskich, które są narażone na podwyższone wywiewanie śniegu. Na zachód od Stacji na równinie Ralstranda są obszary pozbawione śniegu przez okres całej zimy - grunt tam jest pokryty cienką skorupą lodową. Jakie są konsekwencje takiego stanu rzeczy odnoszące się do Polskiej Stacji Polarnej?

1. W okresie niektórych zim dane ze Stacji są nieprzydatne do statystycznego szacowania grubości pokrywy śnieżnej na Lodowcu Hansa, np. koniec zimy 1988/1989 (ryc. 5).
2. W pokrywie śnieżnej na Stacji istnieją poważne luki stratygraficzne wywołane wywiewaniem. Niektóre fazy sypania są całkowicie wywiewane, pomimo iż dobrze zachowują się na Lodowcu Hansa i na innych obsza-

rach (ryc. 4). Ale nawet w takich przypadkach dane ze Stacji mają dużą wartość – są wskaźnikiem wystąpienia fazy sypania.

W celu uzyskania lepszych wyników od wielu lat prowadzone są badania również w okolicy Polskiej Stacji Polarnej, ale w miejscu gdzie wywiewanie śniegu jest znacznie mniejsze. Ten punkt badawczy zlokalizowany jest 200 m na północ od obserwatorium badań środowiska. Badania prowadzi Uniwersytet Śląski samodzielnie, bądź razem z Polską Akademią Nauk (w ramach programu Wypraw Polarnych PAN na Spitsbergen). W odróżnieniu od Stacji Polarnej punkt badawczy Uniwersytetu Śląskiego jest reprezentatywny dla tych fragmentów nizin nadmorskich, które są położone w „cieniu wiatrowym”.

Charakterystyka elementów meteorologicznych w sezonach zimowych na południowym Spitsbergenie

Kryteriami wydzielenia sezonów w krajach polarnych mogą być zjawiska: klimatyczne, hydrologiczne, glacialne i inne. Wydzieleniem sezonów na Spitsbergenie zajmowało się kilku badaczy: Baranowski (1968), Markin (1975), Pulina, Pereyma, Kida, Krawczyk (1984) i Leszkiewicz (1987). W niniejszym opracowaniu przyjęto kryteria podziału roku na sezony proponowane przez ostatniego z wymienionych autorów. Propozycja ta bowiem w dużym stopniu uwzględnia narastanie i zanik pokrywy śnieżnej. Według tej klasyfikacji wydziela się następujące sezony: przedzimie, zima, przedwiośnie, wiosna, lato i jesień.

Przedzimie jest na ogół krótkim, lub bardzo krótkim sezonem przejściowym z nietrwałą pokrywą śnieżną. Ponad siedem miesięcy wynosi czas trwania zimy – sezonu z trwałą pokrywą śnieżną. Przedwiośnie jest sezonem topnienia pokrywy śnieżnej bez występowania odpływu wód roztopowych z czasem trwania trzy – cztery tygodnie.

Do najważniejszych czynników meteorologicznych kształtujących pokrywę śnieżną w okresie zimowym należą :

1. opady śniegu - powodujące narastanie pokrywy śnieżnej;
2. silne wiatry o prękościach ≥ 8 m/s przemieszczające znaczne masy śniegu, w formach terenu wklęsłych i zawietrznych następuje depozycja śniegu, jednakże w ogólnym bilansie w okolicach Polskiej Stacji Polarnej przeważa wynoszenie śniegu do morza;
3. odwilże zimowe - powierzchnia pokrywy śnieżnej jest wówczas nadtopiana, a zamarzająca nieco poniżej woda tworzy warstwę lodoszreni; warstwa ta chroni zalegający niżej śnieg przed wywiewaniem, jednakże wyjątkowo silne wiatry, przekraczające w porywach 30 m/s, mogą niszczyć cienką i słabą warstwę lodoszreni.

Tabela 1 – Table 1

Czas trwania przedzimia, zimy i przedwiośnia oraz porównanie warunków klimatycznych w sezonach zimowych 1988/1989 i 1989/1990 w okolicach Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie.

Duration of late autumn, winter, winter, and early spring and comparison of climatic conditions in the winter seasons 1988/1989 and 1989/1990 in the environs of the Polish Polar Station at Hornsund.

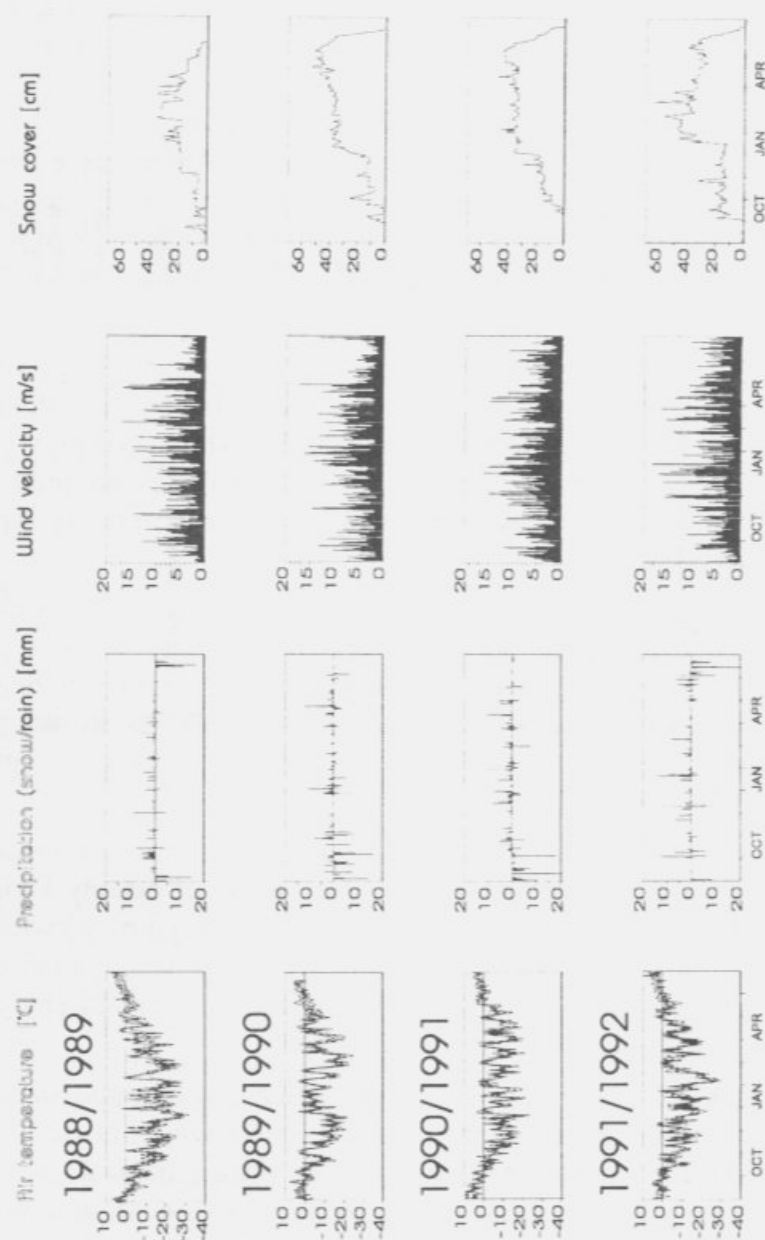
Charakterystyki klimatyczne zimy Climatic characteristics of winter		Jednostki Units	Sezony zimowe Winter seasons	
			1988/1989	1989/1990
Przedzimie		[liczba dni]	10.IX-15.IX 6	22.IX-16.X 25
Zima		[liczba dni]	16.IX-1.V 228	17.X-16.V 212
Przedwiośnie		[liczba dni]	2.V-25.V 24	17.V-15.VI 30
Odwilże zimowe		[N] [liczba dni]	12 25	22 (18) 50
Fazy sypania śniegu		[N]	5	3
Fazy wywiewania śniegu		[N]	8	8
Temperatura powietrza	śr. maks. min.	[°C]	-11.9 3.2 -32.1	-7.9 4.1 -25.1
Opady atmosferyczne		[mm]	170.0	256.0
Ekwiwalent wodny pokrywy śnieżnej w końcu zimy	PAN UŚ Hans Lododział Amundsenisen	[mm]	70 206 774 781	240 334 895 1201 1115
Wiatr	śr.	[m/s]	5.8	6.3
	maks.	[m/s]	25	23
	silny wiatr	[% obserwacji]	33.7	37.1

Objaśnienia do tabeli:

Silny wiatr - wiatr o prędości ≥ 8 m/s przemieszczający znaczne masy śniegu.

Ryc. 2 przedstawia przebieg dobowych wartości wybranych elementów meteorologicznych w Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie w sezonach zimowych 1988/1989 - 1991/1992

SPITSBERGEN HORNSUND winters 1988/1989 - 1991/1992 Meteorological conditions



Ryc. 2. Przebieg dobowych wartości wybranych elementów meteorologicznych w Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie w sezonach zimowych 1988/1989 - 1991/1992

Fig. 2. Diurnal courses of selected meteorological elements at the Polish Polar Station at Hornsund in the winter seasons 1988/1989 - 1991/1992

Zima 1988/1989

Zima 1988/1989 na południowym Spitsbergenie rozpoczęła się, a także zakończyła się kilka tygodni wcześniej w stosunku do średnich terminów z wielolecia (tab. 1). Była mroźniejsza i dłuższa niż zwykle - jej czas trwania wyniósł siedem i pół miesiąca. Przedzime było krótkie - trwało tylko sześć dni. W dniach 10-15 września nad Morzem Arktycznym ukształtował się niezbyt aktywny niż, który spowodował napływ chłodnego powietrza arktycznego z północnego zachodu. Nastąpił wówczas stopniowy spadek temperatury powietrza z 4.5°C do około 0.0°C .

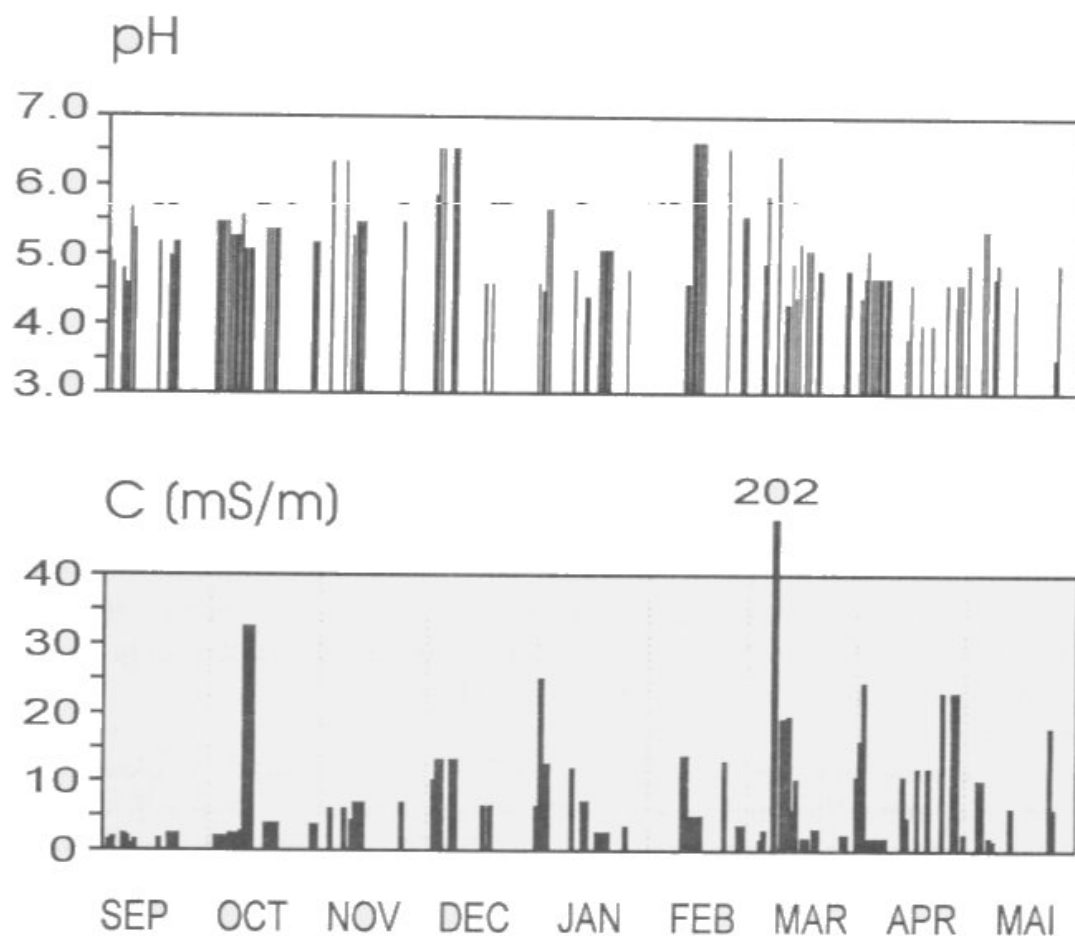
W tej sytuacji kolejny niż, który utworzył się w regionie Islandii i przesunął się w kierunku Spitsbergenu spowodował wystąpienie pierwszego opadu na obszarach nisko położonych w regionie Polskiej Stacji Polarnej. Oznaczało to początek zimy, gdyż wszystkie odwilże, które wystąpiły po 16 września miały już tylko charakter zimowy, tzn. były krótkie i nie prowadziły do roztopów pokrywy śnieżnej. Zima w górach rozpoczęła się tydzień wcześniej (9/10 września).

Pomimo braku większych odwilży pokrywa śnieżna w okolicach Stacji Polarnej na początku zimy nie była trwała. Silne wiatry w końcu września i w połowie października całkowicie wywiewały śnieg z rozległych obszarów. Stała pokrywa śnieżna na obszarach nisko położonych ukształtowała się od 17 października (za wyjątkiem niewielkich obszarów szczególnie podatnych na wywiewanie śniegu).

Pokrywa śnieżna była budowana stopniowo, warstwami: na obszarach nisko położonych - od połowy października do pierwszej dekady kwietnia (w górnej części Lodowca Hansa - od połowy września do połowy kwietnia). Proces budowania pokrywy śnieżnej, jak już wcześniej wspomniano, był wielokrotnie przerywany przez wiatry wywiewające znaczne masy śniegu do morza, lub przemieszczające je z miejsca na miejsce.

Główne opady śniegu budujące pokrywę śnieżną w regionie Stacji Polarnej wystąpiły w drugiej połowie października i pierwszej połowie listopada (faza sypania 1), w pierwszej dekadzie grudnia (faza sypania 2), w styczniu (faza sypania 3), w drugiej dekadzie lutego (faza sypania 4), oraz w pierwszej dekadzie kwietnia (faza sypania 5). Sześciodniowa odwilż w drugiej dekadzie kwietnia rozpoczęła trwałą degradację pokrywy śnieżnej.

Ryc. 3. wskazuje na występowanie opadów śnieżnych o znacznych różnicach odczynu pH i przewodnictwa elektrycznego (ekwiwalentu mineralizacji ogólnej).



Ryc. 3. Właściwości chemiczne opadów atmosferycznych w regionie Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie w sezonie zimowym 1988/1989. Przewodnictwo elektryczne właściwe C [mS/m] i pH.

Fig. 3 Chemical properties of precipitation in the region of Polish Polar Station in Hornsund (Spitsbergen) in 1988/1989 winter season. Electric conductivity C [mS/m] and pH.

Na początku maja 1989 r. w sąsiedztwie Spitsbergenu ukształtowały się dwa ośrodki baryczne: na wschodzie wyż z centrum nad Nową Ziemią, a od południowego zachodu przemieszczał się niż z frontem atmosferycznym utworzony nad Islandią. Przesuwanie się niżu w kierunku wschodnim zostało zablokowane przez ośrodek wyżowy. W tej sytuacji niż zatrzymał się w regionie Spitsbergenu, gdzie stacjonował przez sześć dni do całkowitego wypełnienia się. Konsekwencją tej sytuacji meteorologicznej był napływ ciepłego powietrza z kierunku południowego, wiatr fenowy w regionie Hornsundu, ocieplenie z długotrwałą odwilżą. Był to koniec zimy i początek

przedwiośnia na południowym Spitsbergenie. Topnienie śniegu w okolicach Stacji Polarnej przebiegało powoli. W połowie maja zostało przerwane przez dziesięciodniowe ochłodzenie. Końcowy etap topnienia - wytapiania się płatów śnieżnych - miał miejsce od 27 maja do 17 czerwca. Oczywiście jeszcze wolniejsze było topnienie śniegu na Lodowcu Hansa.

Zima 1989/1990

Warunki meteorologiczne w okresie zimy 1989/1990 były bardziej zbliżone do średnich z wielolecia, niż to miało miejsce w poprzednim sezonie zimowym. Zima 1989/1990 rozpoczęła się 17 października, a zakończyła się 16 maja. Była poprzedzona 25-cio dniowym przedzimiem. W okresie przedzimia w pierwszej dekadzie października pokrywa śnieżna w okolicy Stacji Polarnej wytopiła się całkowicie. Trwała, zimowa pokrywa śnieżna formowała się od 17 października. O jej rozwoju zdecydowały trzy duże fazy sypania śniegu: faza październikowo-listopadowa, grudniowo-stycznio-wa i marcowo-kwietniowa. Fazy sypania śniegu poprzedzielane były stosunkowo długimi okresami bezopadowymi, lub z niewielkim opadem atmosferycznym.

Opady atmosferyczne były aż o 50% wyższe, aniżeli w okresie poprzedniej zimy. Stosunek ekwiwalentu wodnego pokrywy śnieżnej w końcu zimy do sumy opadu zimowego był równy 93%, co świadczy o mniejszym wywiewaniu śniegu. Zjawisko to wymaga szerszego wyjaśnienia, gdyż wiatry w sezonie zimowym 1989/1990 były nieznacznie silniejsze niż w czasie uprzedniej zimy. Główną przyczyną różnic w ilości wywiewanego śniegu była odmienna liczba odwilży zimowych w tych dwóch sezonach (tab. 1). W okresie zimy 1989/1990 dni z odwilżą było dwa razy więcej, co doprowadziło do utworzenia większej liczby lodoszreni, hamujących proces wywiewania. Pokrywa śnieżna z zimy 1989/1990 w regionie Stacji Polarnej wytopiła się w dniach 17 maja - 15 czerwca.

Porównanie zim

Sezony zimowe 1988/1989 oraz 1989/1990 porównano na podstawie materiałów ze stacji meteorologicznej w Hornsundzie. Zima 1988/1989 była dłuższa, bardziej mroźna, z mniejszą liczbą dni z odwilżą (tab. 1).

Założono, iż parametry charakteryzujące opad atmosferyczny w zimie (rodzaj opadu oraz jego wysokość i natężenie) są powiązane z cyrkulacją atmosferyczną. Uzyskane wyniki (tab. 2) zdają się to założenie potwierdzać. W dostępnym mapach synoptycznych są nieznaczne luki, które nie powinny mieć większego wpływu na ostateczne wnioski. Mapy synoptyczne oraz zebrane dane opadowe w Hornsundzie pozwoliły na zbadanie związku staty-

stycznego między cyrkulacją atmosferyczną i wysokością opadu dla 80 % dni z opadem atmosferycznym w sezonach zimy i przedwiośnia 1988/1989. W okresie tych dni wystąpiło aż 91% sumy opadów atmosferycznych.

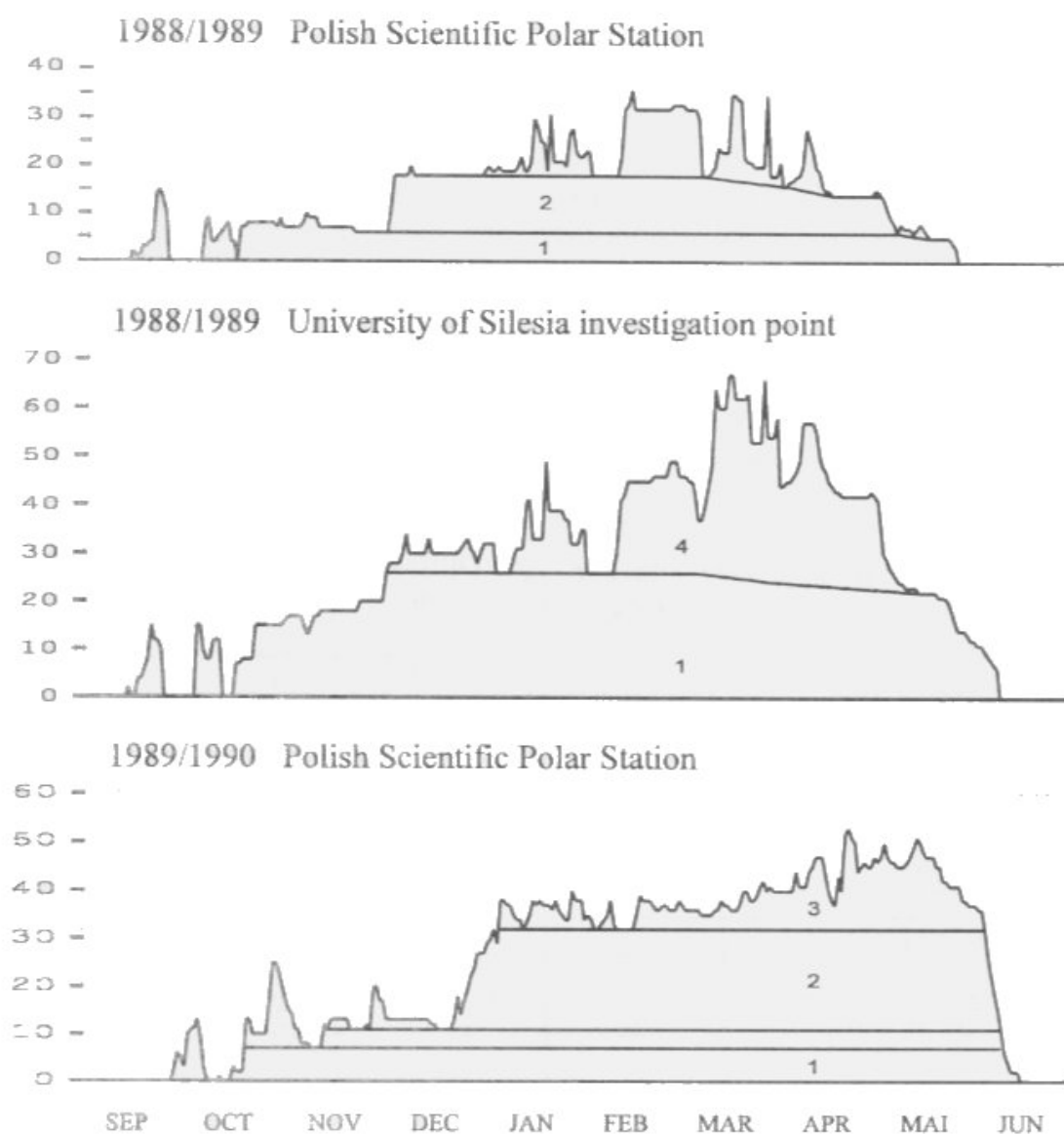
Tabela 2 – Table 2

Związek cyrkulacji atmosferycznej z chemizmem opadu atmosferycznego w regionie Poiskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie (południowy Spitsbergen) w sezonach zimy i przedwiośnia 1988/1989 roku (16.09.1988 - 23.05.1989)

Connection between atmospheric circulation and the chemistry of atmospheric precipitation in the region of the Polish Polar Station at Hornsund (southern Spitsbergen) in the winter and early winter seasons 1988/1989 (16.09.1988 - 23.05.1989)

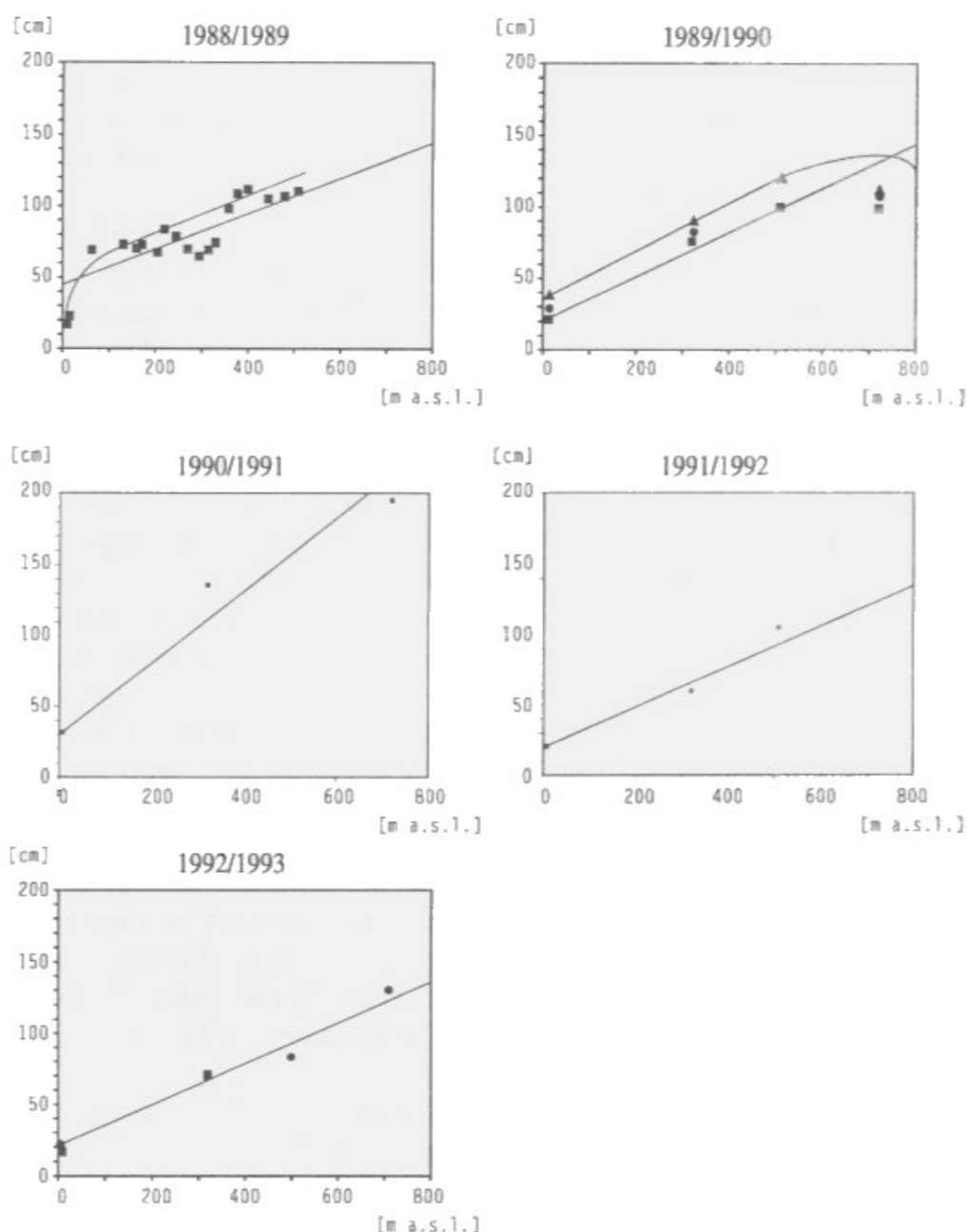
Pochodzenie mas powietrza Origin of air mass	Liczba dni Number of days	Opad atm. Atmospheric precipitation [mm]	pH	Przewodnictwo elektryczne Electric conductivity [mS/m]
Morze Norweskie	17	58,1	5,0	11,8
W. Skandynawia	12	28,1	5,1	9,7
E. Skandynawia	8	11,0	5,1	6,3
Morze Barentsa (S)	11	8,5	5,0	9,1
Morze Barentsa (N)	16	17,4	5,2	19,5
Nowa Ziemia	4	6,5	5,0	2,2
Morze Arktyczne	5	3,3	5,7	7,6
Morze Grenlandzkie	8	18,0	5,2	12,9
Powietrze stacjonarne	5	6,9	5,2	2,2
Suma lub średnia	86	157,8	5,2	8,4
Pozostałe przypadki (nie objęte statystyką)	22	15,6		

Opady atmosferyczne w okresie zimowym 1989/1990 były aż o 50% wyższe, aniżeli w okresie poprzedniej zimy. Stosunek ekwiwalentu wodnego pokrywy śnieżnej w końcu zimy do sumy opadu zimowego był równy 93%, co świadczy o mniejszym wywiewaniu śniegu. Zjawisko to wymaga szerszego wyjaśnienia, gdyż wiatry w sezonie zimowym 1989/1990 były nieznacznie silniejsze niż w czasie uprzedniej zimy. Główną przyczyną różnic w ilości wywiewanego śniegu była odmienna liczba odwilży zimowych w tych dwóch sezonach (tab. 1). W okresie zimy 1989/1990 dni z odwilżą było dwa razy więcej, co doprowadziło do utworzenia większej liczby lodoszreni, hamujących proces wywiewania.



Ryc. 4. Pokrywa śnieżna w regionie Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie w sezonach zimowych 1988/1989 i 1989/1990.

Fig. 4. Snow cover in the region of Polish Polar Station in Hornsund in 1988/1989 and 1989/1990 winter seasons.



Ryc. 5. Grubość pokrywy śnieżnej w końcu sezonu zimowego w zależności od wysokości terenu nad poziomem morza (region Łodowca Hansa. Sezony zimowe 1988/1989-1991/1992)

Fig. 5. Thickness of snow cover at the end of winter according to the elevation of the area (region of Hans Glacier, winter seasons 1988/1989 - 1991/1992).

Przyjmując jako kryterium stopień oddziaływania odwilży na pokrywę śnieżną można wyróżnić trzy typy odwilży :

- odwilże wczesnozimowe - występujące wówczas, gdy pokrywa śnieżna nie zdążyła się jeszcze ukształtować, sytuacja taka sprzyja tworzeniu tafli lodu na powierzchni gruntu;
- odwilże występujące w pełni zimy - najczęściej krótkie (kilku, lub kilkunastogodzinne), wywołane napływem ciepłych, wilgotnych mas powietrza znad Morza Norweskiego, połączone z obfitymi opadami atmosferycznymi (wilgotny śnieg, śnieg z deszczem, lub deszcz), tworzące się wówczas warstwy lodoszreni mogą mieć istotne znaczenie w ustaleniu stratygrafii śniegu.
- odwilże późnozimowe, przedwiośnia i późniejsze - powodują destrukcję ukształtowanej w okresie zimy struktury pionowej pokrywy śnieżnej.

Odwilże zimowe są wywoływane przez napływ nad Spitsbergen ciepłych, wilgotnych mas powietrza z południowego-zachodu. Sytuacja taka ma miejsce w czasie przemieszczania się nad południowym Spitsbergenem cyklonu utworzonego w regionie Islandii. Występują wówczas obfite opady atmosferyczne: deszczu, śniegu z deszczem i śniegu. Opady atmosferyczne w czasie odwilży stanowią około połowy sumy opadów zimowych. W okresie zimy 1988/1989 w czasie 25 dni z odwilżą wystąpiło 42% sumy opadów zimowych. Rok później parametry te były znacznie wyższe: 50 dni z odwilżą i 58% sumy opadów.

Analiza map pogody umożliwiła określenie pochodzenia mas powietrza nad południowym Spitsbergenem. Stwierdzono związek pomiędzy napływem ciepłego powietrza morskiego i występowaniem głównych zimowych (znacznych) opadów atmosferycznych (tab. 2). Stosunkowo ciepłe masy powietrza znad Morza Norweskiego i południowego akwenu Morza Barentsa dały 62% sumy opadów zimowych.

Dodatkowo zastosowana analiza statystyczna (przebieg funkcji autokorelacji) pozwoliła na wykrycie 27-dobowej, cyklicznej zmienności warunków meteorologicznych powiązanych z cyrkulacją atmosferyczną.

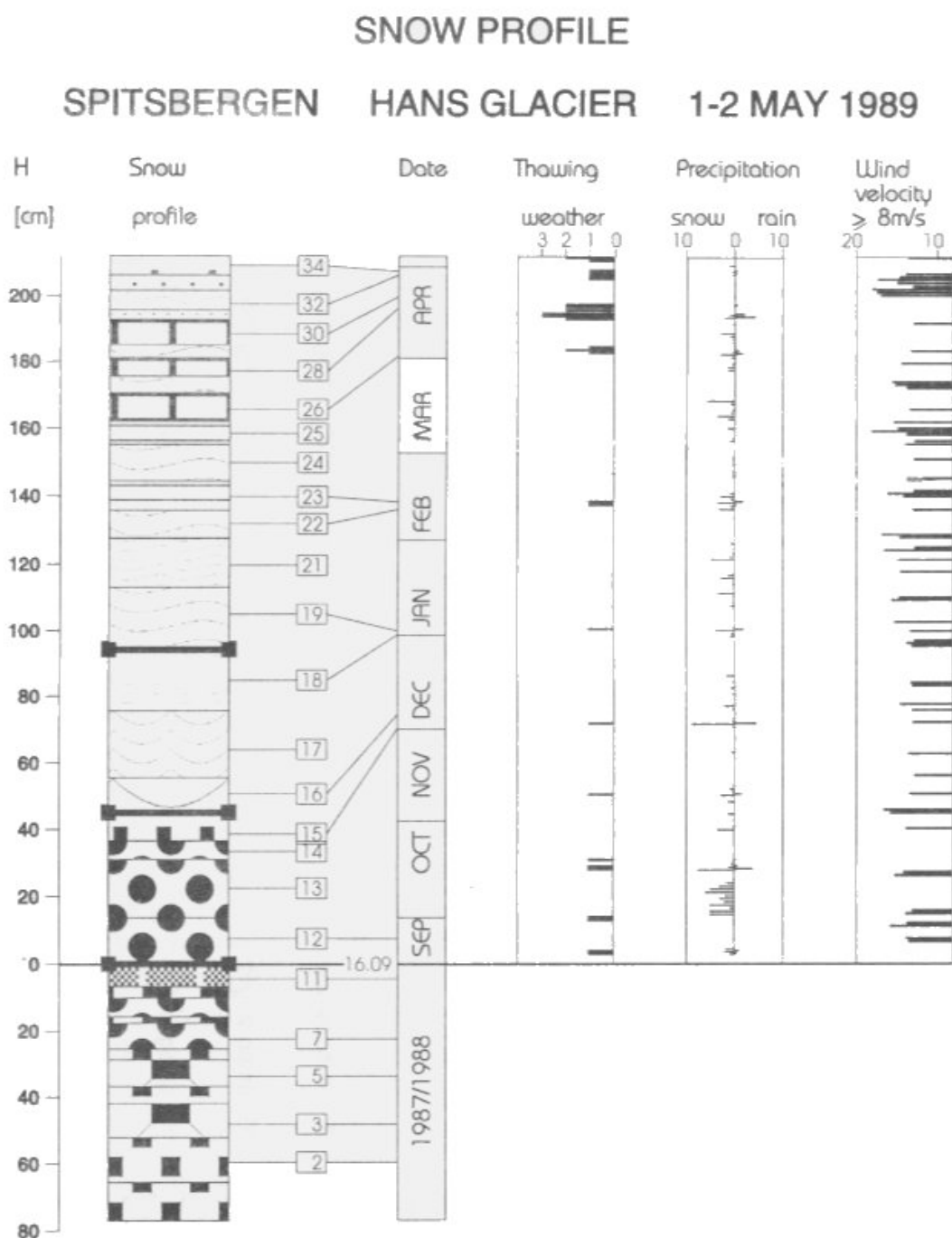
Rozpoznanie faz sypania śniegu w zimowej pokrywie śnieżnej

Na ryc. 7, 8 i 9 przedstawiono profil jednorocznej warstwy śniegu z zimy 1988/1989 analizowany pod koniec sezonu zimowego 1 maja 1989 roku. Profil ten położony jest w górnej części Lodowca Hansa (lododział z Lodowcem Vrangpeis) na wysokości około 500 m n.p.m. Szurf przedstawia profil pokrywy śnieżnej kształtującej się w strefie akumulacji położonej 200 m powyżej granicy równowagi. Na ryc. 8 ukazano relację pomiędzy profilem śnieżnym a niektórymi elementami meteorologicznymi ze

	1. puch śnieżny		12. błoto śnieżno-wodne "slush"
	2. śnieg drobnogranulowany, luźny		13. łodoszreń luźna (warstewki lodu ze sfirnowanym śniegiem)
	3. śnieg średniogranulowany, luźny		14. łodoszreń zwarta
	4. śnieg przekształcony, luźny (pośredni pomiędzy śniegiem i firnem)		15. łodoszreń zbita
	5. śnieg średnio i gruboziarnisty, sfirnowany		16. lód lodowcowy, nałożony
	6. firn średnioziarnisty		17. śnieg przewiany
	7. firn gruboziarnisty		18. śnieg nawiany
	8. lód firnowy		19. śnieg zwarty, słabozbity
	9. lód lodowcowy		20. śnieg zbity
	10. śnieg wilgotny		21. śnieg silnie zbity "gips"
	11. śnieg mokry		22. śnieg bardzo silnie zbity "beton"

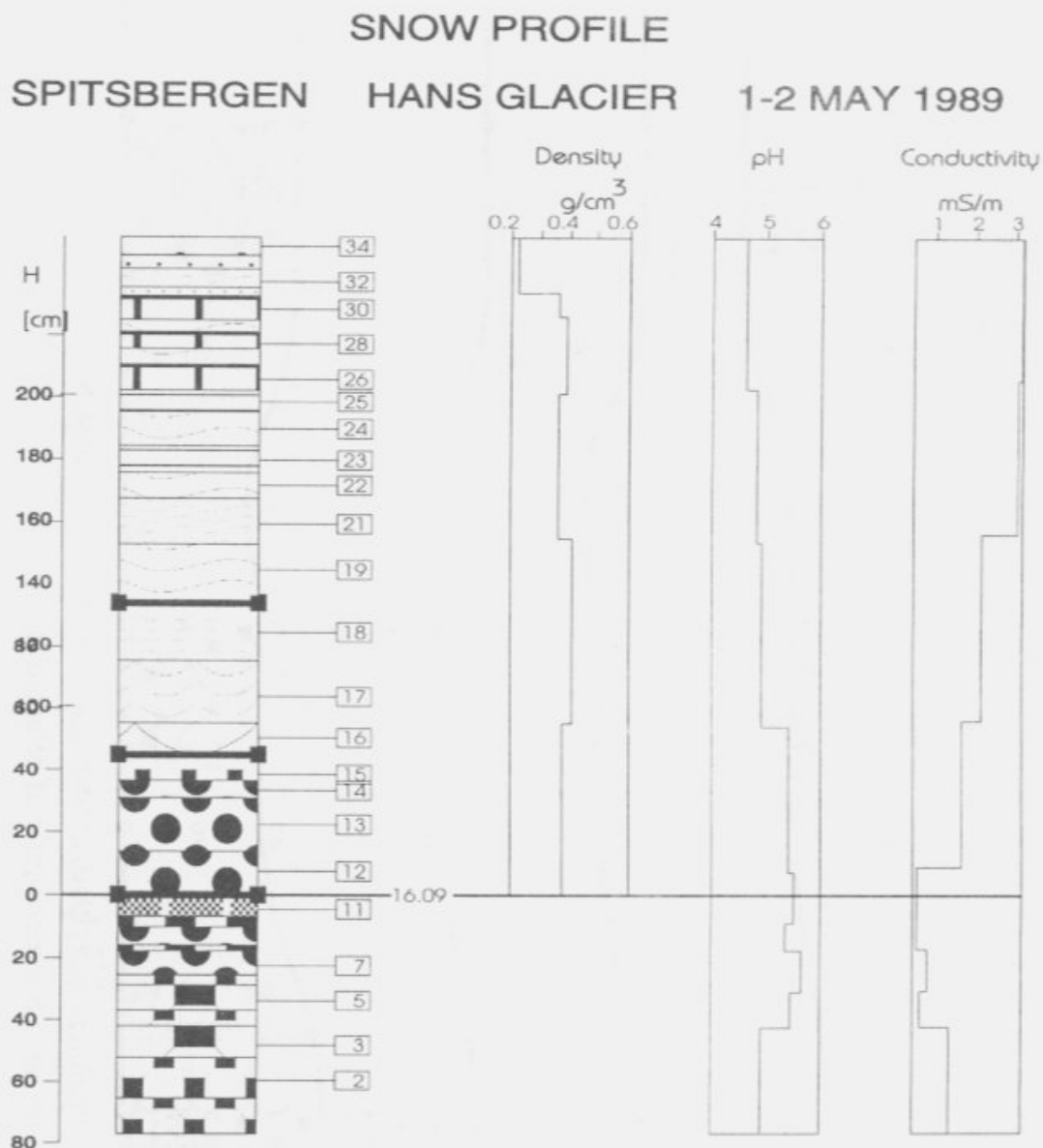
Ryc. 6. Klasyfikacja śniegu.

Fig. 6. Snow classification.



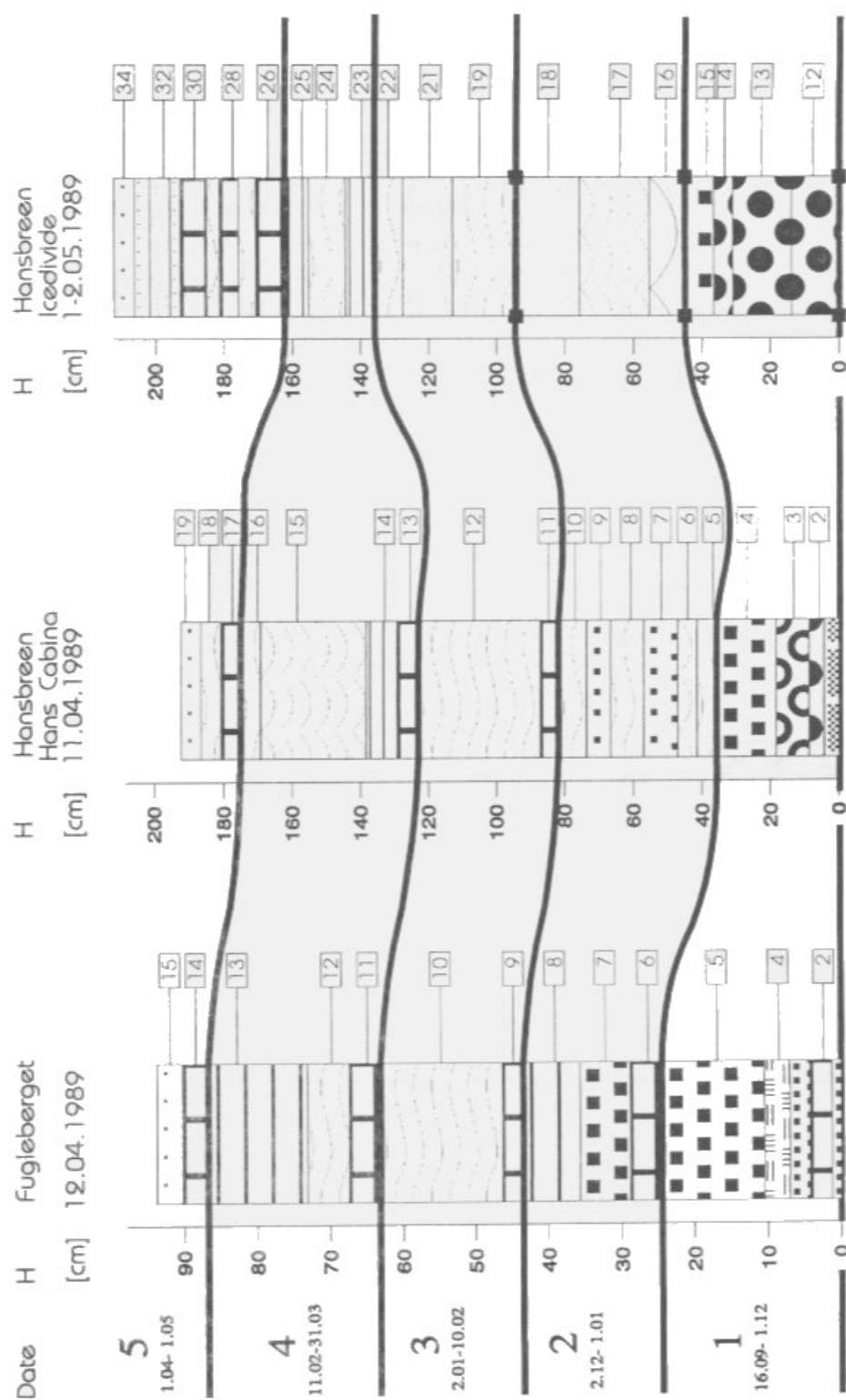
Ryc. 7. Datowanie warstw śniegu w górnej części Lodowca Hansa w powiązaniu z wybranymi wskaźnikami meteorologicznymi: wskaźnik występowania odwilży, opad atmosferyczny (śnieg lub deszcz) oraz silny wiatr ($\geq 8\text{ m/s}$)

Fig. 7. Dating of snow levels at the upper part of Hans Glacier in connection with selected meteorological indicators: occurrence of thawing, atmospheric precipitation (snow or rain) and strong wind ($\geq 8\text{ m/s}$).



Ryc. 8 Właściwości fizyczne i chemiczne śniegu w profilu w górnej części Lodowca Hansa (lododział z Lodowcem Vrangpeis) w dniu 1-2.05.1989.

Fig. 8. Physical and chemical properties of snow profile at the upper part of Hans Glacier (ice divide with Vrangpeis Glacier) on 1.-2.05.1989.



Ryc. 9. Wydzielenie faz sypania na przykładzie wybranych profili śnieżnych
 Fig. 9. Specifying falling phases on the example of selected snow profiles

stacji meteorologicznej w Hornsundzie (wskaźnik występowania odwilży, rodzaj i wielkość opadu atmosferycznego oraz prędkości wiatru powyżej 8 m/s). Kolejna rycina 9 przedstawia własności fizyko-chemiczne śniegu w szurfie (gęstość śniegu, pH i przewodnictwo elektryczne właściwe).

Analizę pokrywy śnieżnej ułatwia legenda z opisem wydzielonych warstw śniegu, firnu i lodu (ryc. 6). Zawiera ona klasyfikację śniegu stosowaną przez autorów, opartą na międzynarodowym standardzie (Kotliakow (red.), 1984). Analiza wymienionych rycin pozwala na stosunkowo dokładne rozpoznanie uwarstwienia badanej pokrywy śnieżnej oraz przyporządkowanie poszczególnych warstw czynnikom decydującym o ich genezie i metamorfizmie.

Charakterystyka wybranych faz sypania śniegu i ich zachowania w pokrywie śnieżnej

W zimowej pokrywie śnieżnej 1988/1989 stwierdzono pięć warstw sypania śniegu (ryc. 4, 8 i tab. 3). Głównym kryterium wydzielenia faz było występowanie lodoszreni powiązanej z odwilżą zimową i zaznaczającej się w wielu profilach śnieżnych. Tam gdzie lodoszreń nie występowała (np. wyższe partie lodowca), wydzielona granica może mieć charakter przybliżony. Profile śnieżne przedstawione na ryc. 9 obrazują fazy sypania na nizinie nadmorskiej u podnóża Fugleberget w regionie Polskiej Stacji Polarnej oraz w dwóch punktach na Lodowcu Hansa: w centralnej części lodowca (Hans Cabina) i na lododziale z Lodowcem Vrangpeis.

Faza 1 (16.09-1.12.1988 lub 17.10-1.12.1988) utworzona w pierwszych miesiącach zimowych. Śnieg charakteryzował się dużym stopniem metamorfizmu. Na znacznych obszarach pierwszy śnieg spadał na wilgotny grunt bądź lód lodowcowy, nasączał się wodą i zamarzał. Poza tym na początku zimy było więcej odwilży. Wpływ czasu oraz towarzyszący mu efekt osiadania zaznaczyły się dużym udziałem śniegu gruboziarnistego, sfirnowanego, a na lodowcu również firnu grubo- i średnioziarnistego.

Faza 2 (2.12.1988-1.01.1989) rozpoczęła się krótką odwilżą na początku grudnia. Na obszarach niskopolożonych odwilż ta miała duże znaczenie. Wytworzyła się warstwa lodoszreni chroniąca śnieg przed wywiezieniem. Na Lodowcu Hansa sytuacja była zróżnicowana - lodoszreń wystąpiła w dolnej części lodowca, brak jej było w części centralnej, na lododziale natomiast wystąpiła wyraźna granica pomiędzy warstwami śniegu. Udział śniegu gruboziarnistego, sfirnowanego był znacznie mniejszy niż w fazie 1. Silnie natomiast, zwłaszcza na lodowcu, zaznaczył się wpływ wiatru - śnieg silnie i bardzo silnie zbity.

Tabela 3 – Table 3

Fazy sypania śniegu w Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie
i w Barentsburgu w sezonach zimowych 1988/1989 i 1989/1990
Snow falling phases at the Polish Polar Station at Hornsund and Barentsburg
in the winter seasons 1988/1989 and 1989/1990

Nr fazy Phase num- ber	Stacja Stanowisko Station Stand	Czas wystąpienia Occurrence time	Opad atm. Atmos- pheric preci- pitation [Mm]	Pokrywa śnieżna Snow cover	
				Zmiany grubości Thickness changes [cm]	Zmiany ekwiwalentu wodnego Water equivalent changes [mm]
Zima 1988/1989 Winter 1988/1989					
1.	Hornsund PAN	18.10.- 1.12.	26.6	6	19.8
	Hornsund UŚ		33.7	20	66.0
2.	Hornsund PAN	2.12.- 1.01	20.0	9	24.2
	Hornsund UŚ		32.2	12	4.4
3.	Hornsund PAN	2.01.-10.02.	20.6	-2	-0.8
	Hornsund UŚ		29.4	-6	-8.0
4.	Hornsund PAN	11.02.-31.03.	33.2	0	14.4
	Hornsund UŚ		50.1	28	110.4
5.	Hornsund PAN	1.04.- 1.05.	23.1	-3	15.9
	Hornsund UŚ		30.9	-12	33.0
Zima 1988/1989					
1.	Hornsund PAN	16.10.-25.12.	80.2	13	33.0
	Barentsburg	1.10.-25.12.	177.9	88	
2.	Hornsund PAN	26.12.-28.02.	97.9	23	97.0
	Barentsburg		81.3	42	
3.	Hornsund PAN	1.03.-16.05.	82.1	42	138.0
	Barentsburg				

Podstawę fazy 3 (2.01-10.02.1989) stanowiła warstwa lodoszreni utworzona po odwilży na początku stycznia (stanowiska: Fugleberget i Hans Cabina). Na lododziale zamiast lodoszreni wystąpiła czytelna granica pomiędzy warstwami śniegu. Jednak zdecydowanie przeważały struktury wiatrowe - śnieg silnie zbity.

Faza 4 (11.02-31.03.1989) była bardzo podobna do poprzedniej: śnieg zbity i silnie zbity z lodoszrenią w podłożu, tylko na lododziale nie było ani lodoszreni, ani wyraźnej granicy.

Faza 5 (1.04-1.05.1989) obrazuje schyłek zimy. Tylko profil na lododziale ukazuje pełne wykształcenie tej fazy (pozostałe dwa profile zostały wykonane w pierwszej połowie kwietnia). Silny wpływ na rozwój tej fazy miały liczne odwilże kwietniowe, które nawet na lododziale doprowadziły do powstania grubych warstw lodoszreni. Na obszarach niżej położonych proces budowania pokrywy śnieżnej zakończył się w połowie kwietnia. Obok odwilży pokrywę śnieżną niszczyły wyjątkowo silne wiatry (20-27 kwietnia).

Rozpoznanie warstw sypania śniegu starszych niż jednoroczne jest bardzo trudne. W regionach wyżej położonych (np. na Plateau Amundsena) jest łatwiejsze ze względu na mniejszy stopień metamorfizmu śniegu (materiały w trakcie opracowania oraz Głowacki, Leszkiewicz 1994 i Głowacki, Pulina 1995¹).

Typowa faza sypania składa się z serii następujących warstw: jest poprzedzona lodoszrenią, po której następuje warstwa właściwa, zwykle ubita przez wiatr, zaznaczają się również luki stratygraficzne spowodowane brakiem opadów atmosferycznych lub wywiewaniem śniegu.

Uwagi końcowe

Przedstawione w artykule wyniki analizy zimowej pokrywy śnieżnej wskazują na możliwość odtworzenia nie tylko samych faz sypania śniegu, ale w szczególnych warunkach również sytuacji meteorologicznej, która odpowiada za wykształcenie opracowywanego profilu śnieżnego. Wniosek taki wynika ze szczegółowego porównania stanu fizycznego poszczególnych warstw śnieżnych i firmowych. Warstwy te powstawały w odpowiednich sytuacjach meteorologicznych i były badane przez autorów zarówno w czasie tworzenia się pokrywy śnieżnej, jak i w późniejszym okresie, kiedy następowała metamorfoza zalegającego śniegu.

Autorzy są zdania, iż rozpoznanie faz sypania jest możliwe tylko wtedy, gdy istnieje dobra informacja o terminach występowania opadów atmosferycznych na położonej blisko stacji meteorologicznej (datowanie warstw śniegu na podstawie terminów występowania opadów śniegu). Fazy sypania w zimowej pokrywie śnieżnej można również wyróżnić w przypadku braku stacji meteorologicznej w bliskiej odległości, jednakże nie można ich wtedy datować.

¹ W przygotowaniu do druku

Celem uzyskania informacji o fazach sypania i towarzyszącej im sytuacji meteorologicznej należy dokonać szczegółowej analizy profilu śnieżnego odsłoniętego w wykopie w końcu sezonu zimowego.

Praca polega na wydzieleniu poszczególnych warstw oraz granic pomiędzy nimi, określeniu rodzaju śniegu i firnu oraz pomiarzeniu określonych własności fizycznych i chemicznych. Do tego celu wykorzystuje się przedstawioną legendę genetyczną śniegu i firnu (ryc. 6), pomiary gęstości śniegu oraz podstawową analizę chemiczną: pomiar przewodnictwa elektrycznego ze stopionego śniegu, pH, zawartości chlorków itp.².

W trakcie prac prowadzonych przez autorów na Spitsbergenie stwierdzono pewne prawidłowości :

1. Poszczególne fazy sypania są wyraźnie związane z okresami większych opadów śniegu.
2. Rozpoznanie poszczególnych faz sypania śniegu ułatwiają niektóre cechy fizyko-chemiczne warstw śnieżnych, w szczególności, gdy dotyczy to opadów o zróżnicowanej mineralizacji.
3. W warstwach śniegu pochodzących z początku zimy i starszych na skutek procesu demineralizacji śniegu zacierą się obraz pomiędzy właściwościami chemicznymi poszczególnych faz sypania śniegu.

Wydzielenie faz sypania pozwala na rekonstrukcję niektórych elementów meteorologicznych (szczególnie wielkości opadów śnieżnych) w obszarach, gdzie brak stacji meteorologicznych. Autorzy dysponują obszernymi materiałami z pozostałych regionów Spitsbergenu począwszy od lat siedemdziesiątych, które są w trakcie opracowywania. Szczególnie interesujące są materiały z lat 1988-1995 w czasie których prowadzono badania systematyczne według zasad sprawdzonych w latach poprzednich. Opracowanie tych materiałów pozwoli zapewne na poważne rozszerzenie naszej wiedzy o zróżnicowaniu pokrywy śnieżnej na dużych obszarach Spitsbergenu oraz o gwałtownych zmianach, które dotknęły ten obszar w ostatnim okresie dużej recesji lodowców.

Literatura

Baranowski S., 1968; Termika tundry peryglacjalnej. SW Spitsbergen. Acta Univ. Wratislav., 68. Studia Geograficzne, 10.

² Osoba wykonująca tego typu analizę profilu śnieżnego winna przejść przeszkolenie w odpowiedniej jednostce naukowej zajmującej się badaniami śniegu i hydrochemią.

- Głowacki P., Leszkiewicz J.**, 1994; Physico-chemical properties of precipitation and snow cover in Spitsbergen in winter season 1992/1993. XXI Polar Symposium. 60 Years of Polish Research of Spitsbergen. Warszawa, p. 199-208.
- Kotliakow W. M.** (red.), 1984; Glaciologiczeskij słowar. Gidromieteoizdat, Leningrad, s. 433-434.
- Leszkiewicz J.**, 1987; Charakterystyczne cechy zlewni polarnych oraz próba modelowania statystycznego topnienia śniegu i odpływu ablacyjnego w zachodniej części Spitsbergenu. Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach nr 920. Katowice, s. 84.
- Markin V. A.**, 1975; Klimat oblasti sovremennogo oledenenja. W: Troickij L. S. et al. Oledenenie Spitsbergena (Svalbarda). Nauka, Moskwa, s. 42-105.
- Niedźwiedź T.**, 1987; Wpływ cyrkulacji atmosfery na temperaturę powietrza w Hornsundzie, Spitsbergen. XIV Sympozjum Polarne. Lublin, 7-8 maja 1987. Instytut Nauk o Ziemi Uniwersytetu Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej. Lublin, s. 174-180.
- Pulina M.**, 1991; Stratification and physico-chemical properties of snow in Spitsbergen in the hydro-glaciological year 1989/1990. Wyprawy geograficzne na Spitsbergen. Polar Session Arctic Environment Research. Lublin, Poland - April 1991.
- Pulina M., Pereyma J., Kida J., Krawczyk W.E.** 1984; Characteristics of the polar hydrological year 1979/1980 in the basin of the Werenskiöld Glacier, SW Spitsbergen. Polish Polar Research, 5, 3-4, Warszawa, p. 165-182.

ANALYSIS OF WINTER SNOW COVER FROM THE POINT OF VIEW OF SNOW FALLING PHASES (HANS GLACIER, HORNSUND REGION, SPITSBERGEN)

Summary

Conditions of snow cover formations are shown at the southern part of Spitsbergen in the winter seasons. The different environments of the snow occurrence have been taken into account: glacier and non-glaciated region differently susceptible to the snow being blown away. The relation between the meteorological conditions and snow cover forming have been analysed.

Nival research has been carried out in the region of the Polish Polar Station at Hornsund in the seasons 1988/1989 and 1989/1990/. On the Hans Glacier in its environs numerous snow profiles have been dug out, and in the region of the Polar Station detailed research have been carried out.