

ZWIĄZEK AKUMULACJI ŚNIEGU NA LODOWCACH PÓŁNOCNO-ZACHODNIEGO SPITSBERGENU Z CYRKULACJĄ ATMOSFERYCZNĄ, OPADAMI I TEMPERATURĄ POWIETRZA W OKRESACH ZIMOWYCH

Mariusz Grabiec

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Geomorfologii
mgrabiec@ultra.cto.us.edu.pl

1. Wstęp

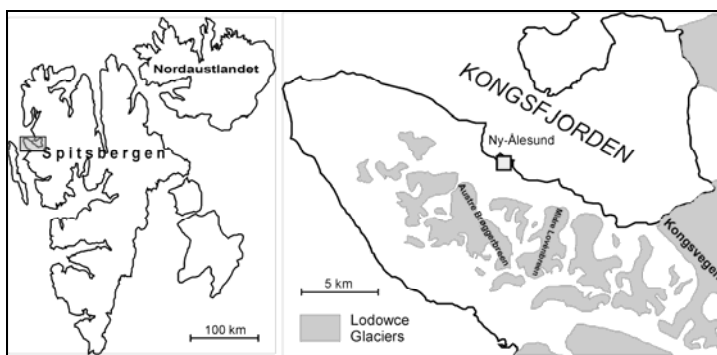
W ostatnich kilku dziesięcioleciach obserwuje się szczególnie intensywne wahania klimatu Ziemi. Zmiany te obserwowane są również w wysokich szerokościach geograficznych. Średnia temperatura ostatnich 5 lat XX wieku w Arktyce była wyższa od średniej z wielolecia 1951-1990 o około 1°C (Przybylak, 2002). Wzrost średniej rocznej temperatury powietrza o 0.63°C na dekadę notowano także w latach 1976-1999 na Spitsbergenie (Forland i in. 2002). Zmiany obserwowane są również w opadach. W ciągu XX wieku średni roczny opad na stacji Svalbard Lufthaven zwiększył się o 25% (Hanssen-Bauer 2002a). Jednocześnie lodowce Svalbardu w ostatnich trzech dekadach XX wieku znajdowały się w fazie recesji. Zdaniem niektórych badaczy (Hagen i Listol 1990, Jania i Hagen (red.) 1996; Lefauconnier i in. 1999, Pinglot i in. 1999) na skutek niewielkiego wzrostu akumulacji i stabilności ablacji tendencja ujemnego bilansu masy zmniejsza się.

Jeżeli opisane powyżej tendencje zmian klimatu utrzymają się w kolejnych dziesięcioleciach, to wzrostowi temperatury powietrza (do pewnej wartości granicznej) i opadów stałych towarzyszyć może wzrost akumulacji śniegu. Tym samym rola bilansu zimowego w kształtowaniu bilansu masy lodowców zdecydowanie zyska na znaczeniu.

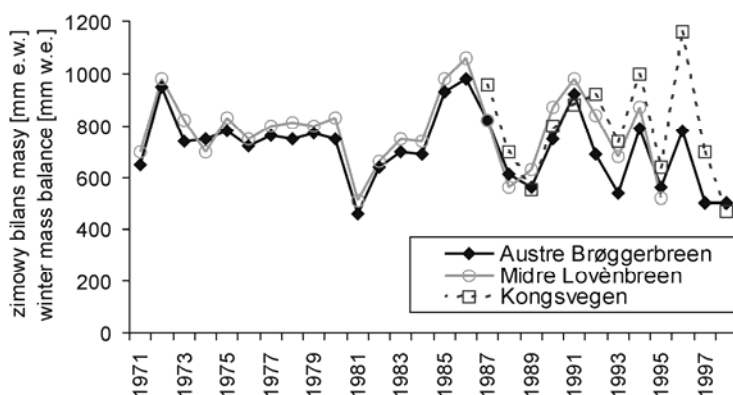
Wobec takiego scenariusza zmian bilansu masy lodowców uzasadnione wydaje się określenie związku akumulacji śniegu z typem cyrkulacji powietrza oraz warunkami meteorologicznymi sezonów zimowych. Poznanie związków zimowego bilansu masy lodowców z warunkami meteorologicznymi powinno umożliwić modelowanie akumulacji śniegu na lodowcach nie objętych programem monitoringu oraz, przy założeniu określonego scenariusza zmian klimatycznych, prognozowanie ich bilansu masy.

2. Terytorialny i czasowy zakres badań oraz źródła danych

Przeprowadzone badania odnoszą się do rejonu Kongsfjordu na północno-zachodnim Spitsbergenie (rys.1). W rejonie tym zlokalizowane są trzy lodowce objęte systematycznymi badaniami bilansu masy. Najdłuższe ciągi obserwacyjne bilansu zimowego dotyczą dwóch małych lodowców kończących się na lądzie: Austre Brøggerbreen – od sezonu 1966/1967 i Midre Lovénbreen – od sezonu 1968/1969 (Hagen i Listøl 1990, Jania i Hagen (red.) 1996, Lefauconnier i in. 1999). Od sezonu 1986/1987 prowadzone są również badania na dużym (189 km²), uchodzącym do morza lodowcu Kongsvegen (Hagen i in. 1993, Jania i Hagen (red.) 1996, Lefauconnier i in. 1999; Hagen i in. 1999). Przebieg wartości bilansu zimowego wyżej wymienionych lodowców wykazuje dużą zbieżność (rys. 2). Uznano zatem Austre Brøggerbreen, posiadający najdłuższy ciąg obserwacyjny, za lodowiec reprezentatywny dla otoczenia Kongsfjordu.



Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań
Fig. 1. Location of the research area



Rys. 2. Zimowy bilans masy netto wybranych lodowców otoczenia Kongsfjordu
Fig. 2. Winter net mass balance for selected glaciers of the Kongsfjord region

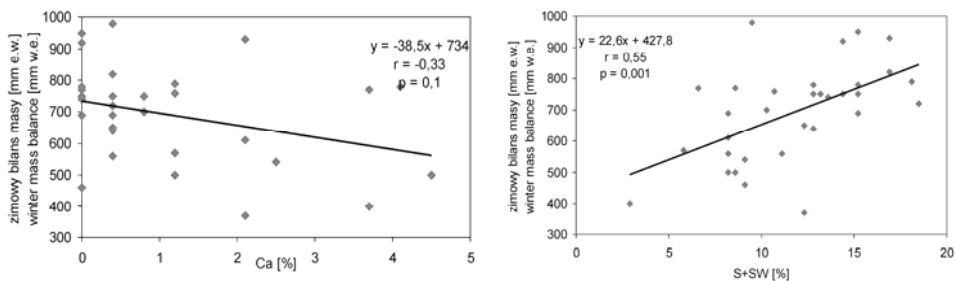
Jako zimowy bilans masy przyjmuje się zmianę masy lodowca w sezonie zimowym. Zamiennie zimowy bilans masy w poniższej pracy określa się jako zimowa akumulacja śniegu, pamiętając jednak, że określenia te nie są do końca tożsame.

Dane dotyczące akumulacji śniegu zestawiono z kalendarzem typów cyrkulacji (Niedźwiedź – dane niepublikowane) oraz przebiegiem wybranych parametrów meteorologicznych zarejestrowanych na stacji meteorologicznej Ny-Ålesund i poddano analizie statystycznej. Stacja ta leży na południowym brzegu Kongsfjordu. Regularne obserwacje meteorologiczne prowadzone są od roku 1969. Lokalizację stacji zmieniono w roku 1974, przez co homogeniczność ciągu danych została zerwana (Førland i in. 1997a). Dla potrzeb niniejszej pracy wykorzystano zatem dane meteorologiczne zbierane od października roku 1974. Analizowano średnie wartości dobowe dotyczące miesięcy sezonu zimowego (październik – maj).

3. Wyniki badań

Związek akumulacji śniegu z cyrkulacją atmosferyczną

Adwekcja mas powietrza kształtuje pogodę, a w skali sezonu pośrednio również bilans zimowy lodowców. Bilans zimowy Austre Brøggerbreen wykazuje związek statystyczny na poziomie 0.1 z częstością występowania wyżów (typ cyrkulacji Ca) w sezonach zimowych (rys. 3a). Współczynnik korelacji jest jednak niski ($r = -0.33$). Pogoda wyżowa w zimie charakteryzuje się niskimi temperaturami powietrza, przy których występują niewielkie opady, zatem wraz ze wzrostem częstości tego typu cyrkulacji zmniejsza się wielkość akumulacji śniegu.

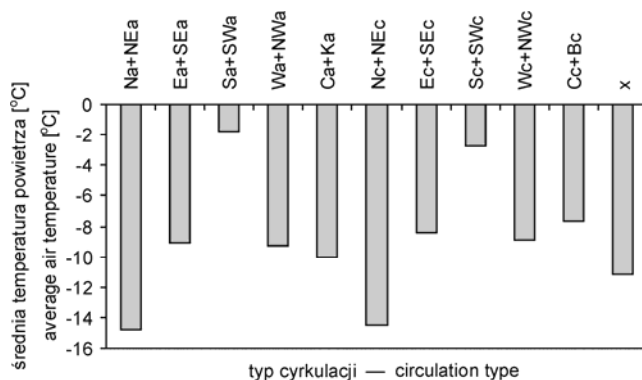


Rys. 3. Związek zimowego bilansu masy Austre Brøggerbreen i częstości występowania cyrkulacji typu Ca (a) i typu S+SW (b) w sezonach zimowych (X - V)

Fig. 3. Connection between the winter mass balance of Austre Brøggerbreen and the frequency of Ca (a) and S+SW (b) circulation types in the winter seasons (X - V)

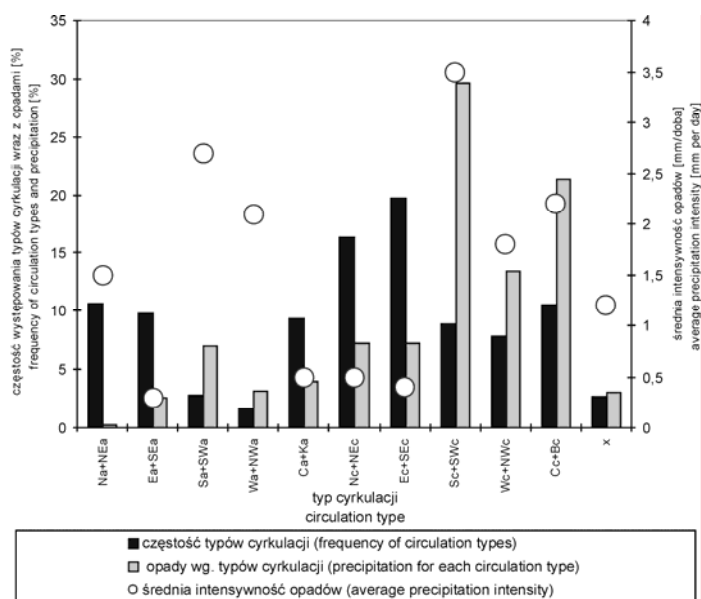
Zdecydowanie wyższy, dodatni współczynnik korelacji ($r = 0.55$) cechuje związek bilansu zimowego z częstością występowania adwekcji mas powietrza z południa i południowo-zachodu (rys. 3b) bez względu na rodzaj układu barycznego (cyklonalny, antycyklonalny). Pomimo, że cyrkulacja S+SW stanowi zaledwie ok. 12% ogółu przypadków w sezonach zimowych, to jednak te masy powietrza mają olbrzymie znaczenie w kształtowaniu pokrywy śnieżnej. Są one ciepłe (średnia dobową temperatura powietrza w sezonie zimowym przy cyrkulacji typu S+SW wynosi -2.3°C) i wilgotne

(rys. 4). W latach 1971-2001 przy adwekcji typu S+SW, notowano średnio 37% ogółu opadów (rys. 5), przy bardzo wysokiej ich intensywności (średnio 3.3 mm/dobę). Uzyskane powyżej rezultaty zależności między adwekcją z sektora S i SW a wielkością opadów dla rejonu Kongsfjordu potwierdzają wyniki uzyskane w innych częściach Spitsbergenu (Niedźwiedź i Ustrnul 1988, Przybylak i Marciniak 1992, Łupikasza i Niedźwiedź 2002).



Rys. 4. Średnia temperatura powietrza w sezonach zimowych (X-V) 1971-2001 w Ny-Ålesund według typów cyrkulacji atmosferycznej

Fig. 4. Average air temperature for each circulation type at Ny-Ålesund in the winter seasons (X-V) 1971-2001



Rys. 5. Częstość występowania typów cyrkulacji powietrza w sezonach zimowych (X-V) 1971-2001, opady na stacji Ny-Ålesund wraz z typem cyrkulacji oraz średnia intensywność opadów

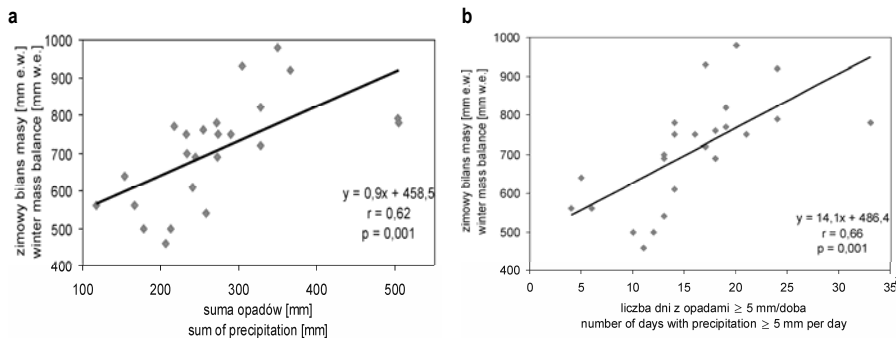
Fig. 5. Frequency of circulation types at Ny-Ålesund in the winter seasons (X-V) 1971-2001, precipitation for each circulation type and its average intensity

Związek zimowego bilansu masy lodowców z opadami i temperaturą powietrza

Wydaje się, że najbardziej ścisły związek można wskazać między akumulacją, a sumą opadów śniegu (rys. 6a). Współczynnik korelacji między powyższymi parametrami wynosi 0.62. Wartość ta jest zbliżona do wyniku określonego przez Hagena i Liestøl (1990) – $r = 0.63$. Zależność ta jest jednak dość słaba wzięwszy pod uwagę, iż akumulacja jest bezpośrednio zależna od ilości śniegu pochodzącego z opadów, a opady notowano na stacji w niewielkiej odległości od czoła lodowca. Niezgodność pomiędzy ilością opadów a akumulacją śniegu można tłumaczyć przede wszystkim błędami pomiaru zarówno opadów, jak i akumulacji.

Wśród błędów pomiaru opadów najistotniejszym jest błąd spowodowany przez oddziaływanie wiatru. Szczególnie duże błędy pomiarowe towarzyszą opadom śniegu. Førland i inni (1996) podają, iż dla opadów stałych w temperaturze -10°C i przy prędkości wiatru 5 m/s dla uzyskania rzeczywistych wartości opadu wynik uzyskany za pomocą deszczomierza Hellmanna należy pomnożyć przez współczynnik około 6. Najmniejsze błędy pomiaru opadu stałego stwierdzono przy ciszy lub słabym wietrze oraz w temperaturze bliskiej 0°C . Dodatkowo analiza opadów na stacji Ny-Ålesund jest utrudniona ze względu na brak informacji o typie opadów.

Istotne znaczenie dla związku opadów z akumulacją śniegu posiada również specyfika opadów na obszarze lodowca Austre Brøggerbreen. Wyniki badań Førland i innych (1997b) wskazują na duże zróżnicowanie opadów na powierzchni Austre Brøggerbreen spowodowane przez opady typu orograficznego oraz izolujący wpływ barier topograficznych. Zróżnicowanie opadów pomiędzy stacją a lodowcem potęguje również intensywność adwekcji mas powietrza z sektorów S-SW oraz N-NW.



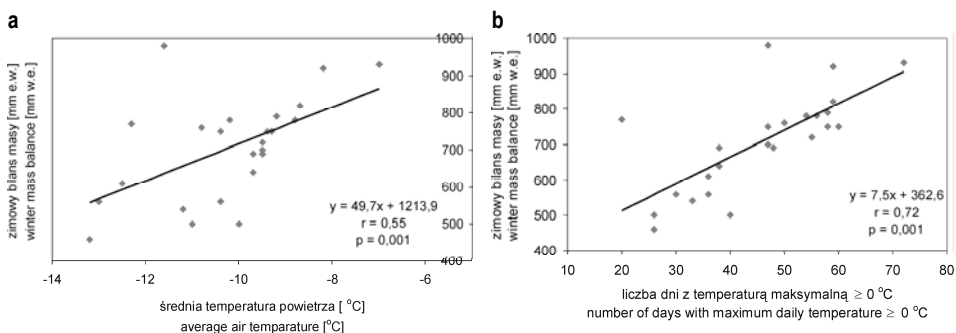
Rys. 6. Zimowy bilans masy Austre Brøggerbreen i suma opadów (a) oraz liczba dni z opadami o intensywności ≥ 5 mm/doba (b) w sezonach zimowych (X-V) 1975-1998 na stacji Ny-Ålesund

Fig. 6. The winter mass balance of Austre Brøggerbreen and the sum of precipitation (a) and number of days with precipitation intensity ≥ 5 mm per day (b) at Ny-Ålesund in the winter seasons (X-V) 1975-1998

Niedoskonałość pomiaru akumulacji zimowej związana jest z faktem pomiaru jedynie na niewielkiej liczbie tyczek ablacyjnych. Przestrzenne zróżnicowanie dystrybucji pokrywy śnieżnej jest natomiast szczególnie znaczne na lodowcach małych. Dodatkowo poprawny pomiar powinien zostać wykonany w czasie maksimum wysokości pokrywy śnieżnej, co również może nastęrczać pewnych problemów.

Wyniki analizy związku akumulacji śniegu z cyrkulacją powietrza wskazują na duże znaczenie opadów o wysokiej intensywności dla kształtowania się pokrywy śnieżnej. Suma opadów o natężeniu 5 mm/dobę lub większym na stacji Ny-Ålesund stanowi 62% ogółu opadów w sezonie zimowym. Spośród tych opadów duży odsetek stanowią opady ekstremalne, często w postaci deszczu. Przykładowo zimą 1993/94, 20% ogółu opadów spadło w ciągu dwóch dni przy średniej dobowej temperaturze powyżej +2.5°C. Stąd też w analizie uwzględniono tylko liczbę dni z opadami o intensywności 5 mm/dobę lub wyższej w sezonie akumulacyjnym (rys. 6b). Wartości te zestawiono z bilansem zimowym Austre Brøggerbreen. Zależność tę dobrze przybliża równanie regresji liniowej o współczynniku korelacji $r = 0.66$.

Zimą masy morskiego powietrza ciepłego są zarazem bardziej wilgotne. Ciepłszym zimom towarzyszy więc wyższa akumulacja śniegu. Rysunek 7a przedstawia związek między bilansem zimowym Austre Brøggerbreen a średnią temperaturą zimy.



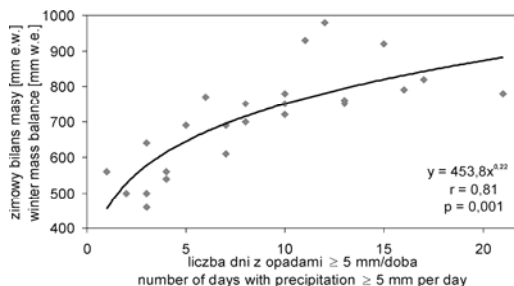
Rys. 7. Zimowy bilans masy Austre Brøggerbreen i średnia temperatura zimy (a) oraz liczba dni z maksymalną dobową temperaturą powietrza $\geq 0^{\circ}\text{C}$ (b) w sezonach zimowych (X-V) 1975-1998 na stacji Ny-Ålesund

Fig. 7. The winter mass balance of Austre Brøggerbreen and winter average temperature (a) and number of days with maximum daily air temperature $\geq 0^{\circ}\text{C}$ (b) at Ny-Ålesund in the winter seasons (X-V) 1975-1998

Bardziej intensywne opady notowane są zimą przy temperaturach powietrza bliskich 0°C . Z tego względu zestawiono wartości akumulacji zimowej z liczbą dni z maksymalną dobową temperaturą 0°C lub powyżej (rys. 7b). Dodatkowo temperatury notowane na stacji meteorologicznej położonej na wysokości poziomu morza obniżają się zgodnie z gradientem termicznym wraz z wzrostem wysokości na powierzchni lodowca. Zatem na lodowcu należy spodziewać się głównie opadów w postaci stałej przy temperaturze ujemnej. Natomiast wystąpienie nawet krótkotrwałego ocieplenia z dodatnią temperaturą może spowodować powstanie lodoszreni na powierzchni śniegu dodatkowo zabezpieczającej przed wywiewaniem i erozją pokrywy. Stwierdzono liniowy wzrost akumulacji śniegu wraz ze wzrostem w okresie zimowym liczby dni z dodatnią temperaturą maksymalną (współczynnik korelacji $r = 0.72$).

Spośród dni z temperaturą maksymalną powyżej 0°C wydzielono dni z opadem równym lub wyższym od 5 mm. Liczbę takich przypadków w sezonach zimowych zestawiono z wartościami zimowego bilansu masy Austre Brøggerbreen (rys. 8). Związek między tymi wielkościami jest nieliniowy –

opisuje go równanie wykładnicze, które charakteryzuje się wysoką wartością współczynnika korelacji regresji równą +0.81. Wzrost zimowej akumulacji śniegu wraz ze wzrostem liczby dni z opadami powyżej 5 mm przy dodatniej temperaturze maksymalnej (LPTmax) jest szczególnie silny w zakresie 0 – 10 dni tego typu.



Rys. 8. Zimowy bilans masy Austre Brøggerbreen i liczba dni z opadami o intensywności ≥ 5 mm/doba przy dodatniej maksymalnej dobowej temperaturze powietrza w sezonach zimowych (X-V) 1975-1998 na stacji Ny-Ålesund

Fig. 8. The winter mass balance of Austre Brøggerbreen and number of days with precipitation intensity ≥ 5 mm per day at the positive maximum daily air temperature at Ny-Ålesund in the winter seasons (X-V) 1975-1998

Wykazane powyżej związki, pomimo iż są dostatecznie ściśle oraz istotne statystycznie, mogą okazać się mało „wygodne” w zastosowaniu. Modelowanie akumulacji śniegu z wykorzystaniem tychże zależności wymaga zastosowania dobowych wartości średniej temperatury powietrza i sumy opadów dla stacji zlokalizowanych blisko lodowców. Dlatego przeprowadzono analizę regresji wielokrotnej bilansu zimowego w oparciu o szeroko dostępne, najprostsze parametry meteorologiczne: sumę opadów w sezonie zimowym (p) oraz średnią temperaturę sezonu akumulacyjnego (t). Uzyskano następujące równanie regresji:

$$b_w = 0.7 \cdot p + 33.4 \cdot t + 854 \quad (1)$$

gdzie:

- b_w – zimowy bilans masy Austre Brøggerbreen [mm e.w.];
- p – suma opadów w sezonie zimowym (X – V) na stacji Ny-Ålesund [mm];
- t – średnia temperatura powietrza w sezonie zimowym (X – V) na stacji Ny-Ålesund [°C].

Współczynnik korelacji regresji wielokrotnej (R) analizowanego związku wynosi 0.74, a poziom istotności współczynników kierunkowych jest zbliżony do 0.05.

4. Prognoza bilansu masy Austre Brøggerbreen

Związki zaprezentowane w poprzedniej części pracy pozwalają modelować zimowy bilans masy lodowca na podstawie danych meteorologicznych. Umożliwiają uzupełnianie ciągów obserwacyjnych oraz prognozę akumulacji śniegu w oparciu o scenariusze zmian temperatury i opadów.

Dla Spitsbergenu model zmian klimatycznych do roku 2050 opracowany został przez Hanssen-Bauer (2002b) – patrz tabela 1. Prognoza przedstawiona dla stacji Svalbard Airport zakłada wzrost rocznych sum opadów o 1.4% na dekadę. Wzrost ten może być szczególnie wyraźny wiosną (III – V) – 4.6% na 10 lat. Prognoza ta zakłada wzrost temperatury powietrza we wszystkich porach roku, a szczególnie w zimie (0.99°C/10lat). Średni roczny wzrost temperatury może wynosić 0.61°C na dekadę.

Tabela 1 – Table 1

Scenariusz zmian temperatury i opadów na Spitsbergenie w latach 1960 – 2050 (Hanssen-Bauer 2002b).
Prognozowane zmiany dla stacji Svalbard Airport (istotność statystyczna: * p = 0.1; ** p = 0.01)

Scenarios of temperature and precipitation changes at Spitsbergen 1960 – 2050 (Hanssen-Bauer 2002b).
Predicted changes for the Svalbard Airport station (statistical significance: * p = 0.1; **p = 0.01)

Element Element	Rok Annual	Zima Winter (XII – II)	Wiosna Spring (III – V)	Lato Summer (VI – VIII)	Jesień Autumn (IX – XI)
Opady (%/10 lat Precipitation (% per decade)	+1.4*	+1.7	+4.6**	-0.9	+0.6
Temperatura (°C/10 lat) Temperature (°C per decade)	+0.61**	+0.99**	+0.52**	+0.29**	+0.62**

Na podstawie założeń modelu zmian klimatycznych oraz związków akumulacji śniegu z opadami i temperaturą powietrza przeprowadzono prognozę akumulacji śniegu do 2050 roku.

Oszacowano ilość opadów zimowych na stacji Ny-Ålesund zakładając różne wskaźniki wzrostu dla poszczególnych sezonów (tabela 2). Średnią sumę opadów w roku 2050 określono na 300.7 mm, co stanowi wartość o 11.2% wyższą niż średnia z wielolecia 1975-2001. Prognoza temperatury powietrza sezonu zimowego zakłada wzrost o 2.2°C w porównaniu do średniej z okresu 1975-2001 i wyniesie średnio -7.7°C w roku 2050.

Tabela 2 – Table 2

Prognoza wzrostu opadów atmosferycznych w sezonie akumulacyjnym (X-V) do 2050 roku (stacja Ny-Ålesund)
Prediction of the precipitation increase in the accumulation season (X-V) until 2050 (Ny-Ålesund)

Miesiące Months	Średnia suma opadów [mm] Average sum of precipitation [mm] 1975 – 2001	Prognoza sumy opadów [mm] Prediction of sum of precipitation [mm] 2050
X – XI	74.8	76.3
XII – II	107.4	118.2
III – V	88.2	106.2
X – V	270.4	300.7

Wykorzystując równanie regresji wielokrotnej bilansu zimowego (1) oraz założenia zmian klimatycznych przedstawione powyżej, obliczono prawdopodobną wielkość zimowej akumulacji śniegu w roku 2050 (tabela 3).

Tabela 3 – Table 3

Prognoza bilansu masy Austre Brøggerbreen
Austre Brøggerbreen mass balance prediction

	Bilans zimowy [mm e.w.] Winter balance [mm w.e.]	Bilans letni [mm e.w.] Summer balance [mm w.e.]	Bilans roczny [mm e.w.] Annual balance [mm w.e.]
1975 – 2001 średnia average	706.6	-1132.1	-425.4
2050 prognoza prediction	810.6	-1132.1 założenie assumption	-321.5
Zmiana [%] Shift [%]	14.7	0	24.4

Prognoza ta zakłada wzrost bilansu zimowego do wartości 810.6 mm e.w., czyli o 14.7% w porównaniu z średnią wartością z lat 1975-2001. Oszacowano również zmiany rocznego bilansu masy przy założeniu stabilności ablacji. Wartość rocznego bilansu masy prawdopodobnie wzrośnie o 24.4% w porównaniu ze średnią z lat 1975-2001, lecz nadal bilans masy lodowca będzie ujemny.

5. Wnioski

Przeprowadzona analiza wykazała istnienie istotnych związków między zimowym bilansem masy lodowców, a temperaturą powietrza i opadami na blisko położonej stacji meteorologicznej. Wielkość akumulacji śniegu zależna jest od częstości występowania w sezonie zimowym ($X - V$) adwekcji ciepłych i wilgotnych mas powietrza. Na Spitsbergenie są to głównie masy z kierunków: południowego i południowo-zachodniego. Cyrkulacja powietrza powyższego typu stanowi średnio 12% ogółu, ale akumulacja śniegu istotnie rośnie wraz ze wzrostem procentowego udziału adwekcji tego typu.

Zimowy bilans masy lodowca wykazuje również zależność ($r = 0.81$) z liczbą dni z opadami o wartości większej lub równej 5 mm/dobę przy dodatniej temperaturze maksymalnej (LPTmax). Wskaźnik ten odzwierciedla związek akumulacji śniegu z intensywnymi opadami, które w znacznej mierze przyczyniają się do formowania pokrywy śnieżnej. Z drugiej strony wskaźnik LPTmax ujawnia rolę ociepleń zimowych (wzrost ilości opadów, zabezpieczenie pokrywy śnieżnej przez powstanie lodoszreni) w kształtowaniu akumulacji śniegu.

Powyższy związek jest dość skomplikowany i niewygodny w procesie modelowania zimowego bilansu masy lodowca ze względu na wymaganą dużą liczbę danych meteorologicznych. Określono zatem równanie regresji wielokrotnej bilansu zimowego opisujące związek ze średnią temperaturą powietrza oraz sumą opadów w okresie zimowym. Zależność ta jest istotna statystycznie.

Na podstawie równania regresji wielokrotnej bilansu zimowego możliwe jest prognozowanie zmian akumulacji przy założeniu określonych zmian klimatycznych. Przy scenariuszu zmian klimatycznych proponowanych przez Hanssen-Bauer (2002b) w ciągu 50 lat może nastąpić wzrost akumulacji Austre Brøggerbreen o około 15%. Zakładając dodatkowo niezmiennosc ablacji, bilans masy lodowca może wzrosnąć o 24.4%. Nadal jednak będzie ujemny.

Podziękowania: Praca powyższa jest częścią projektu finansowanego przez Komitet Badań Naukowych (grant Nr 6 P04E 008 21). Szczególne podziękowania składam prof. Tadeuszowi Niedźwiedziowi za udostępnienie unikatowych danych, a także prof. Jackowi Jani i dr Bogdanowi Gądkowi za wskazówki i cenne uwagi.

Literatura:

- Førland E.J., Allerup P., Dahlström B., Elomaa E., Jónsson H., Perälä J., Rissanen P., Vedin H., Vejen F., 1996, Manual for operational correction of Nordic precipitation data. Det Norske Meteorologiske Institutt, Report No. 24/96 KLIMA: 66 s.
- Førland E.J., Hanssen-Bauer I., Nordli P.Ø., 1997a, Climate statistics & longterm series of temperature and precipitation at Svalbard and Jan Mayen. Det Norske Meteorologiske Institutt, Report No. 21/97 KLIMA: 72s.
- Førland E.J., Hanssen-Bauer I., Nordli P.Ø., 1997b, Orographic precipitation at the glacier Austre Brøggerbreen, Svalbard. Det Norske Meteorologiske Institutt, Report No. 02/97 KLIMA: 45 s.
- Førland E.J., Hanssen-Bauer I., Jónsson T., Kern-Hansen C., Nordli P.Ø., Tveito O.E., Vaarby Laursen E., 2002, Twentieth-century variations in temperature in the Nordic Arctic, *Polar Record* 38 (206): 203-210.
- Hagen J. O., Liestøl O., 1990, Long-term Mass-balance investigations in Svalbard 1950 – 88. *Annals of Glaciology* 14: 102-106.
- Hagen J. O., Liestøl O., Roland E. and Jørgensen T., 1993, *Glacier Atlas of Svalbard and Jan Mayen*. Norsk Polarinstitut. Meddelelser nr. 129, Oslo: 141 s.
- Hanssen-Bauer I., 2002a, Climate trends in the European Arctic the last 100 years. In: *Proceedings from the sixth Ny-Ålesund International Scientific Seminar* [Ed by:] J.B. Ørbæk, K. Holman, R. Neuber, H.P. Plag, B. Lefauconnier, G. De Prisco, H. Ho, Polar Environmental Center, Tromsø, Norway, 8 – 10 October 2002, Norsk Polarinstitut, Internrapport Nr 10: 29-32.
- Hanssen-Bauer I., 2002b, Temperature and precipitation in Svalbard 1912 – 2050: measurements and scenarios. *Polar Record* 38 (206): 225-232.
- Jania J. and Hagen J.O. (eds.), 1996, *Mass Balance of Arctic Glaciers*. IASC Report No. 5: 62 s.
- Lefauconnier B., Hagen J.O., Ørbæk J.B., Melvold K., Isaksson E., 1999, Glacier balance Trends in Kongsfjorden area, western Spitsbergen, Svalbard, in relation to the climate. *Polar Research* 18(2): 307-313.
- Łupikasza E., Niedźwiedź T. 2002, Wpływ cyrkulacji na opady atmosferyczne w Hornsundzie. [w:] A. Kostrzewski, G. Rachlewicz (red.) *Polish Polar Studies. Funkcjonowanie i Monitoring Geosystemów Obszarów Polarnych*. Poznań: 203-216.
- Niedźwiedź T., Ustrnul Z., 1988, Wpływ sytuacji synoptycznych na stosunki opadowe w Hornsundzie (Spitsbergen). XV Sympozjum Polarne, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław: 196-202.
- Pinglot J.F., Purchet M., Lefauconnier B., Hagen J.O. Isaksson E., Vaikmäe R., Komiyama K., 1999, Accumulation in Svalbard glaciers deduced from ice cores with nuclear tests and Chernobyl reference layers. *Polar Research* 18(2): 315-321.
- Przybylak R., 2002, *Variability of Air Temperature and Atmospheric Precipitation in the Arctic*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 352 s.
- Przybylak R., Marciniak K., 1992, Opady a cyrkulacja atmosferyczna na zachodnim wybrzeżu Spitsbergenu w okresie 1979 – 1985. *Problemy Klimatologii Polarnej* 2: 84-95.

RELATION BETWEEN THE SNOW ACCUMULATION ON GLACIERS OF NORTH-WEST SPITSBERGEN AND THE ATMOSPHERIC CIRCULATION, PRECIPITATION AND AIR TEMPERATURE IN THE WINTER SEASONS

Summary

This work attempts to determine connections between glaciers' winter mass balance and meteorological factors of winter seasons. Detailed analysis was carried out between the snow accumulation of Austre Brøggerbreen and the meteorological data from Ny-Ålesund station (Kongsfjord region) from 1975 to 1998.

Relation has been found between the snow accumulation and warm and humid air masses frequency in winter seasons ($X - V$). Those masses are mainly from southerly and southwesterly directions for Svalbard. The winter mass balance shows very clear connection with air temperature and precipitation factors of winter seasons (sum of winter precipitation, number of days with precipitation intensity ≥ 5 mm per day, winter mean air temperature, and number of days with maximum daily air temperature $\geq 0^{\circ}\text{C}$). A particularly close connection is observed between winter mass balance and number of days with precipitation intensity ≥ 5 mm per day at the positive daily maximum air temperature (LPTmax) ($r = 0.81$), (Fig. 8). The winter mass balance multiply regression (Wb) was worked with the use of the elementary meteorological factors: the average winter temperature (T) and the sum of precipitation in the same period (P).

On the basis of the multiply regression of winter balance it is possible to predict snow accumulation changes. Over the next 50 years the winter snow accumulation of Austre Brøggerbreen could increase about 15% if the scenario of climatic changes by Hanssen-Bauer (2002b) is used. If, in addition, one assumes the stability of ablation, the mass balance of glaciers will rise by 24%, but the mass balance will still be negative.