

Grzegorz Gajek, Jan Reder

OCENA ZMIAN GEOMETRII LODOWCA RENARDBREEN (SPITSBERGEN) NA PODSTAWIE MATERIAŁÓW ARCHIWALNYCH I POMIARÓW GPS

Zarys treści: Celem opracowania jest określenie zmian geometrii lodowca Renardbreen w oparciu o archiwalne materiały kartograficzne oraz pomiary GPS przeprowadzone wiosną 2005 i 2006 roku. Badania terenowe i kameralne wykazały bardzo wyraźne zmiany w geometrii lodowca, w tym recesję frontalną. Recesji zasięgu czoła lodowca towarzyszą zmiany miąższości lodu oraz jego powierzchni.

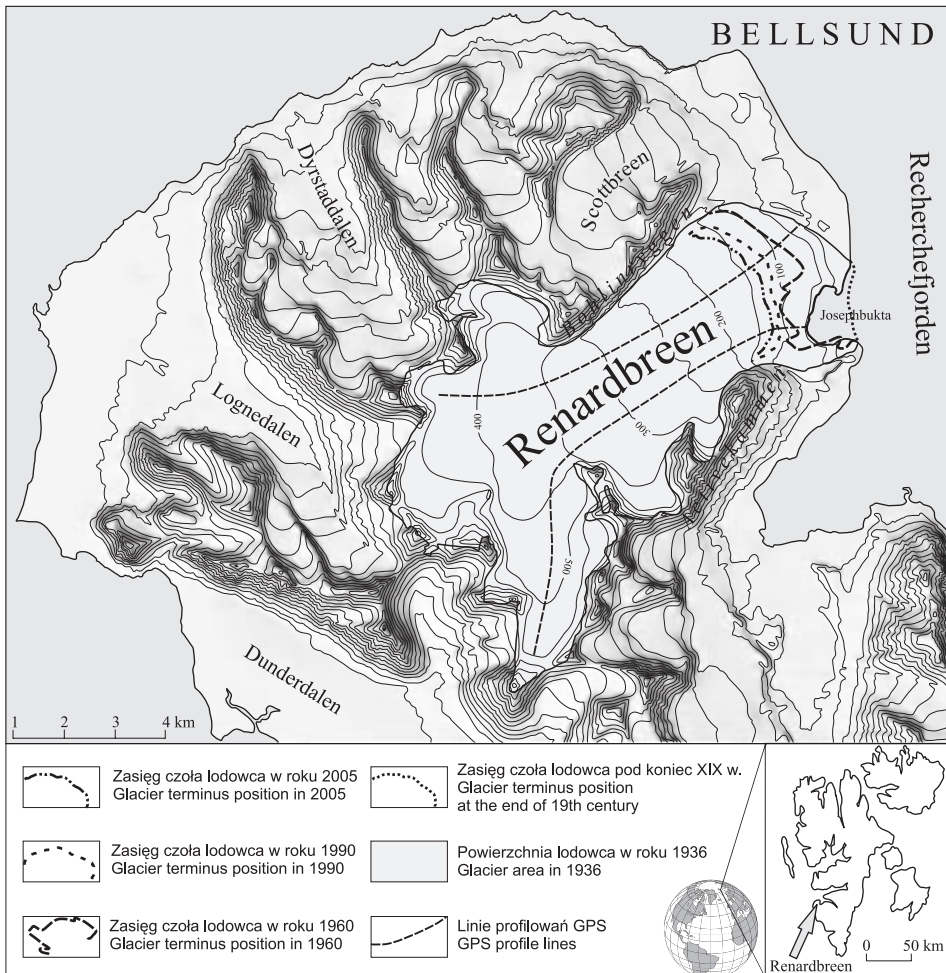
Słowa kluczowe: Spitsbergen, Renardbreen, zmiany geometrii lodowca

Key words: Spitsbergen, Renardbreen, changes of glacier

Zlodowacenie Ziemi Wedel Jarlsberga, podobnie jak każdego innego łądu, jest silnie uzależnione od warunków klimatycznych oraz ukształtowania starszej rzeźby, stanowiącej podłoże, na którym tworzą się i funkcjonują lodowce. Położenie północno-zachodniej części tego obszaru w środkowej partii zachodniego wybrzeża Spitsbergenu, nad mocno wcinającym się w łąd, szerokim fiordem Bellsund, warunkuje ukształtowanie się tutaj szczególnych warunków klimatycznych. Dzięki ocieplającemu wpływowi odgałęzienia Prądu Północnoatlantyckiego panują tu warunki klimatyczne znacznie łagodniejsze niż w części północnej i południowej archipelagu. W wyniku tego rozmiary i charakter zlodowacenia są tu także szczególne. Podczas gdy na Spitsbergenie przeważają rozległe lodowce półpokrywowe, stopień zlodowacenia północno-zachodniej części Ziemi Wedel Jarlsberga wynosi tylko około 20% i jest lokalnie bardzo zmienny. Szczególną cechą obszaru jest to, że sąsiadują tu ze sobą doliny silnie zlodowaczone (Renardbreen, Scottbreen) oraz takie, w których współcześnie lodowców nie ma lub zajmują minimalne powierzchnie (Dunderdalen). O stopniu zlodowacenia poszczególnych dolin decyduje tu przede wszystkim rozległość i pojemność pól alimentacyjnych,

rozwinętych na dawnych poziomach denudacyjno-strukturalnych. Powszechnie występują dwa poziomy, na wysokości 250–300 oraz 450–500 m n.p.m., i na nich rozwinęły się pola akumulacyjne lodowców. Dominują tu lodowce dolinne, zasilane z jednego lub kilku pól firnowych, o powierzchni od kilku do dwudziestu kilku km².

Środkowy obszar północno-zachodniej Ziemi Wedel Jarlsberga zajęty jest przez rozległy lodowiec Renardbreen (ryc. 1). Jest to największy z lodowców tego rejonu. Zlewnia Renardbreen zajmuje 39 km², a sam lodowiec ma powierzchnię 28 km² (2006).



Ryc. 1. Położenie lodowca Renardbreen i zmiany zasięgu jego czola w ciągu ostatnich 70 lat
Figure 1. Location of Renardbreen and changes of the glacier terminal position during last 70 years (NW part of Wedel Jarlsberg Land, Spitsbergen)

Najwyższe partie lodowca sięgają 720 m n.p.m., a czoło schodzi prawie do poziomu morza. Jest zasilany z sześciu amfiteatralnie położonych pól firnowych, rozwiniętych na poziomach denudacyjno-strukturalnych położonych na wysokości 450–550 m n.p.m. Długość lodowca wynosi 8 km, a jego szerokość zmienia się od 2,5 do 6 km. Jest stosunkowo słabo uszczeliniony. Niewielkie szczeliny widoczne są w południowej części jezora; większe pęknięcia znajdują się w strefie załomu powierzchni lodowca na wysokości 200–250 m n.p.m. na ryglu skalnym niższego poziomu strukturalnego.

Jezor lodowca schodzi w kierunku Fiordu Recherche i jest eksponowany na północ-wschód. Jego średnia szerokość wynosi 3,5 km i w strefie czołowej nieznacznie się rozszerza. Czoło lodowca w części północnej spoczywa obecnie na proksymalnych stokach zmutonowanych ostańców strukturalnych na wysokościach od kilku do 40 m n.p.m., a w partii południowej schodzi niemal do poziomu morza w zatoce Josephbukta. Czoło lodowca jest płasko-wypukłe, tylko ponad wodami zatoki tworzy je niewysoki klif lodowy. Obecnie lodowiec nie sięga już linii brzegowej, ale jeszcze w drugiej połowie lat 80. XX wieku obserwowano cielenie się czoła. Współcześnie lodowiec podlega przede wszystkim recesji frontalnej, wykazując przy tym dosyć dużą dynamikę.

Ukształtowanie i nachylenie czoła lodowca jest zróżnicowane. Północna część jezora jest lekko wypukła i słabo nachylona, osiąga spadek rzędu 10–20° i łagodnie przechodzi w strefę osadów sandrowych i moreny dennej. Południowa część jezora jest znacznie bardziej stroma, wyraźnie wypukła i częściowo składa się z zamierającego klifu lodowego ponad wodami zatoki.

Lodowiec Renardbreen jest odwadniany sub- i supraglacialnie. Tunele subglacialne funkcjonują zwłaszcza w południowej i środkowej części jezora lodowcowego. Główny wypływ jest zlokalizowany w centralnej części jezora i ma postać bramy lodowej o szerokości 8 i wysokości 3–5 m. Brama ta zwykle uaktywnia się dopiero w drugiej dekadzie lipca. Lodowiec jest aktywny hydrologicznie również w okresie zimowym, o czym świadczą rozległe pokrywy naledzi na jego przedpolu. Odwodnienie supraglacialne lodowca polega na powierzchniowym spływie grawitacyjnym wód, przede wszystkim bogato rozwiniętą siecią rynien supraglacialnych. Na powierzchni lodowca działa kilkadziesiąt mniejszych i większych rynien supraglacialnych o charakterystycznym meandrowym przebiegu i znacznym przepływie wód w okresie ablacyjnym. W środku sezonu letniego łączny odpływ z lodowca sięga około $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Bartoszewski i in. 2006).

Ocena zmian geometrii Renardbreen była możliwa dzięki zestawieniu materiałów archiwalnych oraz pomiarów GPS. Stanowiły je:

- mapa topograficzna 1:100 000 wydana przez Norweski Instytut Polarny na podstawie materiałów geodezyjnych z lat 1918–1923,
- mapa fotogeologiczna przedpoli Lodowców Renardbreen, Scott i Blomli 1:10 000, sporządzona na podstawie zdjęć lotniczych z 1960 roku (Szczęsny i in. 1989),
- ortofotomapa północno-zachodniej części Ziemi Wedel Jarlsberga 1:25 000, sporządzona na podstawie zdjęć lotniczych z 1990 roku (Zagórski 2005),
- pomiary GPS dokonane wiosną 2005 i 2006 roku.

Lodowiec Renardbreen podlega typowej recesji frontalnej (ryc. 1). Przy końcu XIX wieku czoło lodowca sięgało linii wału moreny czołowej z Małej Epoki Lodowej.

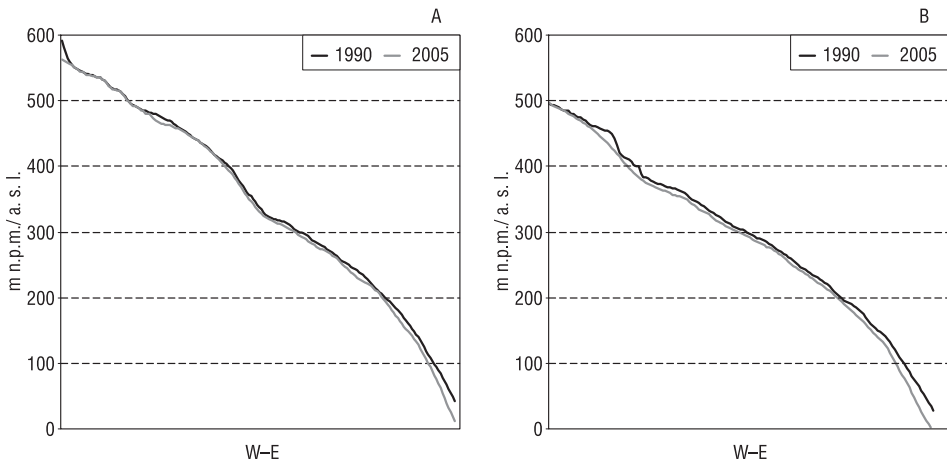
W 1896 roku na obszarze obecnej zatoki Josephbukta lodowiec kończył się łukowato wygiętym klifem o przebiegu południkowym (ryc. 1). W 1936 roku Renardbreen w dalszym ciągu wypełniał całą przestrzeń aż do wału morenowego, a jego czoło przebiegało stycznie do wewnętrznej krawędzi wałów lodowo-morenowych. Jedyna wyraźna zmiana dotyczyła miejsca kontaktu lodu z wodami zatoki, gdzie ablacja w latach 1896–1936 spowodowała cofnięcie się klifu lodowego o 400 m na zachód, a więc ze średnią prędkością 10 m/rok. W 1936 roku Josephbukta była niewielką zatoką, otoczoną klifem lodowym od południa, zachodu i północy. W latach 1936–1960 musiała nastąpić recesja lodowca przez cielenie, zatoka szybko powiększała się, głównie w kierunku zachodnim i północnym. Północna część jezora lodowcowego, sąsiadująca z wałami morenowymi i uchodząca do zatoki, była bardziej stabilna, podlegając powolnej recesji frontalnej. W okresie tym recesja lodowca wyniosła od 250–300 metrów na lądzie do 400–500 metrów nad zatoką. Tempo recesji północnej części jezora wynosiło 12,5 m/rok, a części południowej 20,8 m/rok. Zróżnicowanie tempa zmniejszania się lodowca należy wiązać z odmiennym typem ablacji: recesją frontalną w północnej części jezora i cieleniem się lodowca do wód zatoki w części południowej.

W latach 1960–1990 tempo wycofywania się lodowca uległo zmianie i było mniejsze w zatoce, a większe na lądzie. W 1960 roku zarys klifu lodowego był już nieregularny, pojawiły się w nim niewielkie zatoczki i cyple. Świadczy to zapewne o wpływie skalnego podłoża na tempo cielenia i jego spowolnieniu na płycznach. W okresie tym rozwój zatoki kosztem lodowca postępował już tylko nieznacznie, klif lodowy przesunął się nieco na zachód. Recesja lodowca w zatoce w latach 1960–1990 wyniosła tylko 292 m, a jej średnie tempo spadło do 9,7 m/rok. Nastąpił natomiast znaczny wzrost tempa recesji w północnej, dotychczas mało dynamicznej części jezora lodowcowego. W ciągu trzydziestu lat redukcja zasięgu czoła wyniosła tu 684 metry, przeciętne tempo recesji wynosiło 22,8 m/rok, a w osi lodowca osiągało ponad 30 m/rok. Obserwacje terenowe dokonywane w pierwszej połowie lat 90., a w szczególności zachowane martwe koryta rzeki marginalnej płynącej wzdłuż północno-zachodniej krawędzi czoła, wskazywały na utrzymywanie się tempa recesji „lądowej” części czoła lodowca rzędu 20 m/rok (Reder 1991, 1993, 1996).

Wiosną 2005 roku dokonano pomiarów zasięgu czoła lodowca metodą różnicową GPS. W stosunku do roku 1990 zasięg lodowca w północnej, „lądowej” części jezora zmniejszył się o 261 m, a w części południowej, nad zatoką, o 106 m. Odpowiada to recesji w tempie odpowiednio 17,4 m/rok oraz 7,0 m/rok. Pomiarów różnicowych GPS wykonane wiosną 2006 wskazują na cofnięcie się czoła lodowca na lądzie względem roku 2005 średnio o 12 m. Spadek tempa recesji w ostatnim roku może być związany ze skróceniem jezora i podniesieniem jego wysokości nad poziom morza.

Recesji zasięgu czoła lodowca towarzyszą zmiany miąższości lodu. Pomiarów wysokości powierzchni lodowca dokonano w roku 2005 wzdłuż dwóch profili podłużnych, w północnej i południowej części lodowca (ryc. 2a,b). W części czołowej obniżenie powierzchni lodowca w stosunku do roku 1990 wyniosło około 25–30 m, co odpowiada wartości od 1,6 do 2,0 m/rok.

Postępująca recesja wpływa na zmiany powierzchni Renardbreen. W stosunku do roku 1936 powierzchnia lodowca zmniejszyła się o 5 km² (15,2%). Najwolniejsze



Ryc. 2. Zmiany miąższości lodowca Renardbreen w latach 1990-2005: profil południowy – A, profil północny – B

Figure 2. Renardbreen glacier thickness changes between 1990 and 2005: southern profile – A, northern profile – B

tempo zmian powierzchni (0,14% rocznie) było w latach 1960–1990, najszybsze zachodzi obecnie (1,1% rocznie).

Wartości recesji czoła i obniżania powierzchni lodowca Renardbreen, w zestawieniu z uzyskanymi w przypadku innych lodowców położonych w północno-zachodniej części Ziemi Wedel Jarlsberga, należy uznać za średnie w tej części Spitsbergenu. Tempo recesji sąsiadującego z tym lodowcem od zachodu lodowca Scottbreen w latach 60. i 70. XX wieku wynosiło 12,2 m/rok, w latach 80. – 23,3 m/rok, a w latach 90. – 37,0 m/rok (Reder 2006). Tempo zmian miąższości lodu w obrębie jezora Scottbreen w latach 1960–1990 wyniosło 2,7 m/rok (Merta i in. 1990). Są to więc wartości nieznacznie większe niż na Renardbreen. Z kolei małe i względnie wysoko położone lodowce zachodniej, bardziej „atlantyckiej” części Ziemi Wedel Jarlsberga charakteryzują się recesją wolniejszą, rzędu 5 m/rok. Jakie czynniki decydują tu o tempie recesji? Wydaje się, że zasadnicze znaczenie należy przypisywać wysokości na poziomie morza oraz ekspozycji i warunkom cyrkulacyjnym.

Od połowy lat 70. stwierdza się zwiększoną częstość cyrkulacji z sektora zachodniego (Przybylak 1996) oraz częstą adwekcję mas powietrza ze wschodu (Niedźwiedź 1987, Przybylak 1992). Podczas częstszych cyrkulacji z kierunków E, NW i W obszar dolnych części lodowca Renardbreen (a także sąsiadującego z nim i podlegającego szybkiej recesji lodowca Scottbreen) jest poddawany wpływowi mas powietrza spływających z Bohlinryggen (555 m n.p.m.) i Activekammen (538 m n.p.m.). Podczas przekraczania barier górskich masy powietrza ulegają adiabatycznemu ogrzaniu (efekt fenowy), a temperatura powietrza w dolnych partiach lodowca wzrasta o kilka stopni. W tych samych warunkach cyrkulacyjnych pola firnowe tych lodowców pozostają

w oddziaływaniu swobodnie przepływającej masy powietrza, o niezmienionej temperaturze i wilgotności. Dotyczy to również wolno cofających się i wysoko położonych lodowców wypełniających doliny otwarte ku zachodowi, które także nie podlegają ocieplającemu wpływowi fenów. Tempo ablacji dolnych partii lodowców nawet blisko siebie położonych może być zatem odmienne.

Podziękowania

Autorzy dziękują kolegom z XXVII i XXVIII wyprawy polarnej do Hornsundu za pomoc w przeprowadzeniu badań terenowych rejonie Calypsobyen. Specjalne podziękowania autorzy składają również prof. dr hab. Jackowi Jani oraz prof. dr hab. Marianowi Harasimiukowi za okazaną w czasie prac terenowych pomoc i cenne uwagi w trakcie przygotowywania niniejszego opracowania.

Literatura

- Bartoszewski S., Gluza A., Siwek K., 2006, *Wybrane problemy kształtowania się warunków meteorologicznych i hydrologicznych NW części Ziemi Wedel Jarlsberga (Spitsbergen)*, [w:] J. Superson, P. Zagórski (red.), *Stan i zmiany środowiska przyrodniczego północno-zachodniej części Ziemi Wedel Jarlsberga (Spitsbergen) w warunkach zmian klimatu i antropopresji*. Wyd. Uniw. M. Curie-Skłodowskiej, Lublin, 53–60.
- Merta T., Ozimkowski W., Osuch D., 1990, *Evaluation of changes at the forefield of the Scott Glacier based on the photogrammetric data*, [w:] J. Repelewska-Pękałowa, K. Pękała (red.), *Wyprawy Geograficzne na Spitsbergen*, Wyd. Uniw. M. Curie-Skłodowskiej, Lublin, 51–58.
- Niedźwiedz T., 1987, *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza w Hornsundzie, Spitsbergen*, [w:] J. Repelewska-Pękałowa, M. Harasimiuk, K. Pękała (red.), *Aktualne problemy badawcze w Arktyce i Antarktyce*, Materiały XIV Sympozjum Polarne, 7–8 maja 1987, Lublin, 174–180.
- Przybylak R., 1992, *Stosunki termiczno-wilgotnościowe na tle warunków cyrkulacyjnych w Hornsundzie (Spitsbergen) w okresie 1978–1983*, Dokumentacja Geograficzna IGiPZ PAN, 2, 1–105.
- Przybylak R., 1996, *Zmienność temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie obserwacji instrumentalnych w Arktyce*, Rozprawy Uniw. M. Kopernika, Toruń, 1–280.
- Reder J., 1991, *Contemporary recession of the glaciers in NW part of Wedel Jarlsberg Land (Spitsbergen)*, [w:] J. Repelewska-Pękałowa, K. Pękała (red.), *Wyprawy Geograficzne na Spitsbergen*, Wyd. Uniw. M. Curie-Skłodowskiej, Lublin, 37–43.
- Reder J., 1993, *Contemporary deglaciation of the Recherche and Renard Glaciers in the Bellsund region (Western Spitsbergen)*, [w:] J. Repelewska-Pękałowa, K. Pękała (red.), *Man impact on polar environment*, Materiały XX Sympozjum Polarne, 3–5 czerwca 1993 r., Lublin, 421–427.
- Reder J., 1996, *Evolution of marginal zones during a continued glacial retreat in northwestern Wedel Jarlsberg Land, Spitsbergen*, Polish Polar Research, 17(1–2), 61–84.
- Reder J., 2006, *Ewolucja stref marginalnych lodowców NW części Ziemi Wedel Jarlsberga*, [w:] J. Superson, P. Zagórski (red.), *Stan i zmiany środowiska przyrodniczego północno-zachodniej części Ziemi Wedel Jarlsberga (Spitsbergen) w warunkach zmian klimatu i antropopresji*. Wyd. Uniw. M. Curie-Skłodowskiej, Lublin, 45–51.

Szczęsny R., Dzierżek J., Harasimiuk M., Nitychruk J., Pękala K., Repelewska-Pękalowa J., 1989, *Photogeological map of the Renardbreen, Scottbreen and Blomlibreen forefield (Wedel Jarlsberg Land, Spitsbergen, scale 1:10 000)*, Wyd. Geologiczne, Warszawa.

Zagórski P., 2005, *NW part of Wedel Jarlsberg Land (Spitsbergen, Svalbard, Norway). Orthophotomap, scale 1:25 000*, ortofotomapa pod redakcją K. Pękali i H.F. Aas, Zak. Geomorfologii, Inst. Nauk o Ziemi, Uniw. M. Curie-Skłodowskiej, Norsk Polarinstitut, Tromsø, Lublin.

Evaluation of the geometry changes of the Renardbreen glacier (Spitsbergen) on the basis of archival records and GPS

Summary

The aim of this study is to define changes of the Renardbreen glacier geometry on the basis of cartographic archives and GPS measurement conducted in spring 2005 and 2006. Evaluation of the changes of Renardbreen was possible due to using archival maps and GPS measurements. The materials used are as follows:

- A 1:100 000 topographic map issued by the Norwegian Polar Institute, based on geodetic data from 1918–1923,
- A 1:10 000 photogeological map of Renardbreen, Scottbreen and Blomlibreen foreland based on aerial photos from 1960 (Szcęsny et al. 1989),
- A 1:25 000 orthophotomap of the northwestern part of Wedel Jarlsberg Land based on aerial photos from 1990 (Zagórski 2005),
- GPS measurements from the spring of 2005 and 2006.

The research showed a significant change in this area. It was specifically found in the frontal recession of the glacier which was accompanied by changes of its thickness and surface.

Grzegorz Gajek
Instytut Nauk o Ziemi
Uniwersytet im. M. Curie-Skłodowskiej w Lublinie
al. Kraśnicka 2cd
20-718 Lubin
e-mail: gajcy@o2.pl

Jan Reder
Instytut Nauk o Ziemi
Uniwersytet im. M. Curie-Skłodowskiej w Lublinie
ul. Akademicka 19
20-033 Lublin
e-mail: janreder@onet.eu

