

CHARAKTERYSTYKA PRZEPLYWU WODY W RZECIE LODOWCOWEJ W SEZONIE LETNIM NA PRZYKŁADZIE RZEKI WALDEMARA, SVALBARD

DISCHARGE CHARACTERISTIC OF GLACIAL RIVER DURING SUMMER TIME BASED ON THE WALDEMAR RIVER, SVALBARD

Ireneusz Sobota, Marcin Ćmielewski, Marcin Nowak

Zakład Kriologii i Badań Polarnych, Instytut Geografii UMK
ul. Gagarina 9, 87–100 Toruń
irso@geo.uni.torun.pl

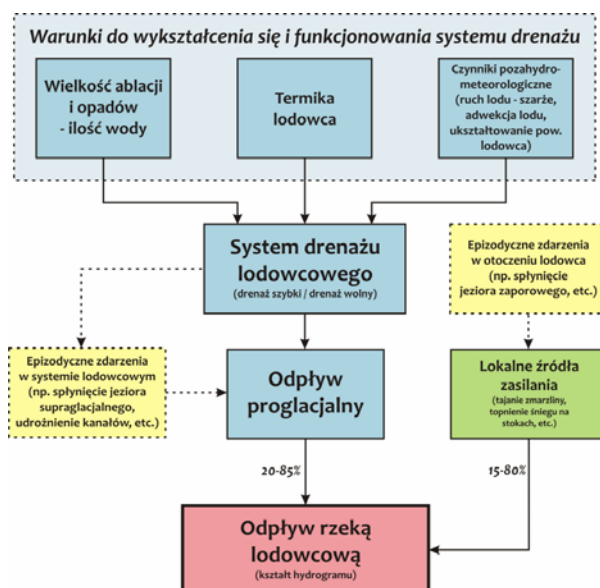
Zarys treści. Badania Rzeki Waldemara w sezonie letnim 2009 objęły wybrane cechy reżimu odpływu ze zlewni zlodowaczonej, takie jak: zmienność przepływu w czasie, określenie prędkości płynięcia wody oraz transportu zawiesiny. Podjęto próbę oceny zmienności natężenia przepływu rzeki w sezonie letnim, a także w cyklu dobowym. Pomiary wykonywano w odcinku górnym i ujściowym rzeki. Rzeka Waldemara wypływa z Lodowca Waldemara. Jest to typowa rzeka roztokowa, posiadająca w swojej zlewni wiele koryt. Średni przepływ w sezonie letnim 2009 roku wyniósł w górnym odcinku $0,85 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, natomiast w odcinku ujściowym $0,67 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Zmienność przepływu w czasie była uzależniona od temperatury powietrza, a w mniejszym stopniu od opadów deszczu. Są to czynniki, które mają najważniejszy wpływ na wielkość topnienia lodowca, czego efektem jest zasilanie rzeki lodowcowej. Jednakże zmienność natężenia przepływu w dużym stopniu uzależniona jest również od czynników niemeteorologicznych, takich jak na przykład skomplikowany drenaż i odpływ wewnątrzlodowcowy, czy też struktura hydrotermiczna lodowca.

Słowa kluczowe: natężenie przepływu, odpływ, zawiesina, rzeka lodowcowa, Svalbard.

1. Wstęp

Głównym źródłem zasilania rzek lodowcowych jest topnienie lodowców. Pomiary odpływu rzeki są na ogół nieodzownym elementem badań glaciologicznych lodowca, a zwłaszcza składowej ablacyjnej bilansu masy. Struktura odpływu z lodowca to jedno z ważniejszych zagadnień. W wyniku ablacji część masy lodowca przechodzi ze stanu stałego w stan ciekły, bądź gazowy. Konsekwencją tego jest rozwój cieków na lodowcu. Wody odpływające z lodowca, łączące się w skoncentrowane cieki są stałym elementem krajobrazu jego przedpolu. Ilość wody prowadzonej przez cieki wypływające z lodowca pozostaje w ścisłym związku z wielkością ablacji. Badając wielkość ablacji lodowca nie powinno ograniczać się jedynie do jego powierzchni, ale również istnieje potrzeba analizy stosunków wodnych w obrębie zlewni lodowcowych. Równoczesne pomiary na obszarze lodowca i jego przedpolu w istotny sposób podwyższają dokładność prowadzonych badań (Sobota 1998, 2000, 2004, 2005, 2007; Milner i in. 2009). Dają one możliwość modelowania wielkości topnienia oraz dokonywania walidacji modeli.

Reżim rzeki lodowcowej jest wynikiem aktywnego drenażu powierzchniowego, wewnątrz- i podlodowcowego. Niezależnie jak szybko przebiega proces drenażu i jak silnie oddziałuje czynnik termiczno-radiacyjny, wielkość odpływu ze zlewni lodowcowej w sezonie letnim jest funkcją ablacji lodowca, a dopiero w drugiej kolejności lokalnych źródeł zasilania cieku (takich jak m.in. wody opadowe, wody z tajania wieloletniej zmarzliny) – ryc. 1. Zdecydowana większość, bo aż 85-90% objętości wody odpływa ze zlewni polarnych w okresie wiosny i lata (Bartoszewski 1998, 2002; Leszkiewicz 1982, Rachlewicz 2007). Niewielki odpływ zachodzi także w porze zimowej, czego dowodem są spotykane często pokrywy nalodziowe (Grześ i Sobota 2000, Sobota 2009). Odpływ rzeki lodowcowej jest ściśle uzależniony od warunków topnienia lodowca, stanowiąc sumę odpływu szybkiego i opóźnionego (Collins 1978, 1979).



Ryc. 1. Uproszczony schemat odpływu wody w rzece lodowcowej

Fig. 1. The simple scheme of glacier river outflow

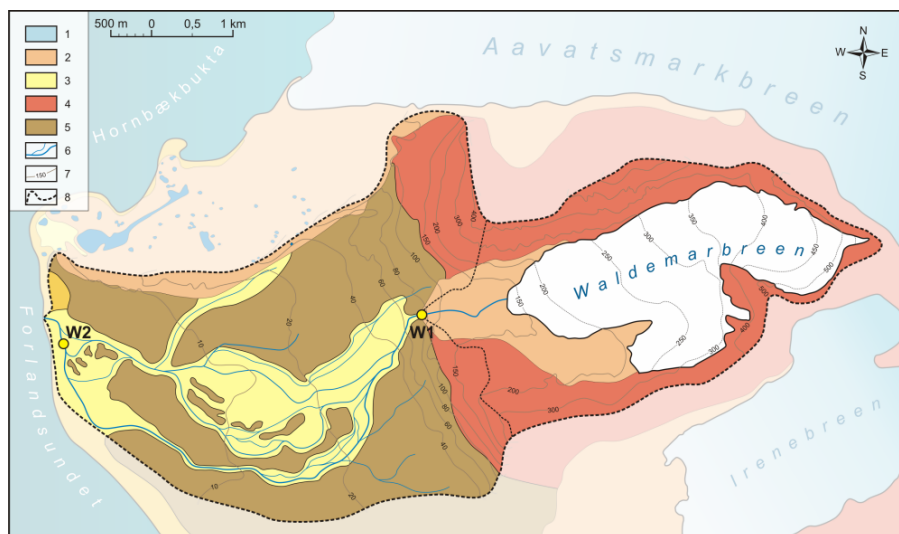
Badania Rzeki Waldemara we wcześniejszych latach były prowadzone przez uczestników wypraw polarnych UMK (m.in. Szczepanik 1977, Szczepanik i Marciniak 1989, Pietrucień i in. 1989, Pietrucień i Szczepanik 1982, Sobota 1997, 1998, 2000, 2005, 2007). Dotyczyły one reżimu odpływu rzeki, transportu materiału unoszonego, termiki jej wód, a także struktury odpływu.

Celem badań Rzeki Waldemara było określenie wybranych cech reżimu odpływu ze zlewni lodowcowej, takich jak: zmienność natężenia przepływu w czasie, określenie prędkości płynięcia wody oraz transportu zawiesiny w sezonie letnim 2009, również w cyklu dobowym.

2. Obszar i metody badań

Rzeka Waldemara wypływa z Lodowca Waldemara. Jest to typowa rzeka roztokowa, posiadająca w swojej zlewni wiele koryt. Należy ona do najdłuższych rzek Kaffiory. W sezonie letnim 2009 roku

główne koryto rzeki miało długość około 7 km. Kaffiøra należy do Ziemi Oscara II. Jest to nizina nadmorska położona nad brzegami cieśniny Forland, zlokalizowana na NW Spitsbergenie. Cieki odprowadzające wodę z Lodowca Waldemara łączą się na jego bezpośrednim przedpolu, formując zwarte koryto. Rzeka licznymi kaskadami spływa przełomem wyciętym w wale morenowym nałożonym na podwyższonym progu skalnym. Od przełomu rzeka płynie na krótkim odcinku zwartym korytem, po czym zaczyna się dzielić na więcej strug (ryc. 2). Daje się jednak wśród nich wyróżnić koryto główne (Pietrucień i Szczepanik 1982, Sobota 1998, 2000, 2005). W środkowym odcinku rzeka płynie po sandrze, rozcinając go często na niewielkie płyty wyspowe. Rzeka Waldemara uchodzi do cieśniny Forland. W strefie ujściowej obserwowane jest często wlewanie się wód morskich.



Ryc. 2. Mapa lokalizacji punktów pomiarowych w zlewni Rzeki Waldemara. 1 – lodowiec, 2 – strefa marginalna, 3 – sandry, 4 – grzbiety górskie, 5 – podniesione terasy morskie, 6 – rzeki, 7 – poziomicze, 8 – dział wodny

Fig. 2. Location map of measurements points in the catchment of the Waldemar River. 1 – glacier, 2 – marginal zone, 3 – outwash plain, 4 – mountains ridges, 5 – raised marine terraces, 6 – rivers, 7 – contour lines, 8 – watershed

Główny punkt pomiaru odpływu z Lodowca Waldemara znajdował się w górnym odcinku rzeki (ryc. 3), w miejscu jej wpływania na równinę sandrową. Przełomowy odcinek, wyżłobiony w osadach skalnych sprzyjał dokładności pomiaru. Gromadziły się tu wszystkie wody spływające bezpośrednio ze zlewni lodowca. Bliska odległość od lodowca powoduje, że w tym miejscu rzeka bardzo szybko reaguje na wszelkie zmiany hydro-glacjologiczne na lodowcu. Drugi punkt pomiarowy znajdował się w strefie ujściowej, w miejscu nie będącym pod wpływem wlewów wód morskich (ryc. 4).

W punktach pomiarowych zainstalowane były limnigrafy rejestrujące w sposób ciągły zmienność stanów wody rzeki. Pomiaru prędkości płynięcia wody wykonywano raz na dobę, za pomocą młynka hydrometrycznego typu Hega-II. Wyniki pomiarów przepływu obliczano w $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Należy pamiętać, że dynamiczny charakter rzeki lodowcowej, duży ruch turbulentny wody, a zwłaszcza duża zmienność natężenia przepływu mogą istotnie wpływać na dokładność pomiarów.



Ryc. 3. Punkt pomiaru przepływu w górnym odcinku rzeki Waldemara – W1 (Fot. I. Sobota)
Fig. 3. Point of discharge measurements on the Waldemar River - W1 (Photo by I. Sobota)



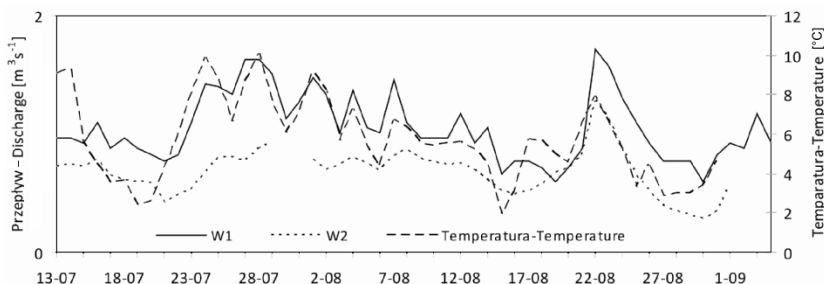
Ryc. 4. Punkt pomiaru przepływu w dolnym odcinku rzeki Waldemara – W2 (Fot. I. Sobota)
Fig. 4. Point of discharge measurements on the Waldemar River – W2 (Photo by I. Sobota)

3. Wyniki badań

Charakterystyczną cechą rzek lodowcowych jest duża zmienność przepływu w czasie, a w szczególności w ich górnych odcinkach. Jest ona przyczyną dużych zmian cech morfometrycznych koryta rzeki, co często utrudnia tego typu pomiary. Zmienność przepływu Rzeki Waldemara w sezonie letnim 2009 była bardzo duża.

Sezon letni 2009 roku był wyjątkowo ciepły, a średnia temperatura powietrza ($6,1^{\circ}\text{C}$) była wyższa od średniej z wielolecia 1975-2009 ($4,8^{\circ}\text{C}$; Zakład Klimatologii UMK). Spowodowało to, że przepływ Rzeki Waldemara osiągał w poszczególnych terminach pomiarowych bardzo duże wartości. W górnym odcinku rzeki, a więc w miejscu bezpośrednio spływających wód z lodowca, stwierdzono większą amplitudę wielkości przepływu, aniżeli w odcinku ujściowym (ryc. 5). Różnica między maksymalnym

a minimalnym pomierzonym przepływem w górnym odcinku rzeki wyniosła $1,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a stopień nieregularności odpływu ($c = Q_{\text{maks}}/Q_{\text{min}}$) wyniósł 14,3. Istniał wyraźny wpływ temperatury powietrza na kształtowanie wielkości przepływu. Największy średni dobowy przepływ ($1,49 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) stwierdzono 28 lipca oraz 22 sierpnia (ryc. 5).



Ryc. 5. Dobowa zmienność przepływu Rzeki Waldemara w sezonie letnim 2009 roku na tle średniej dobowej temperatury powietrza (temperatura powietrza – Zakład Klimatologii UMK)

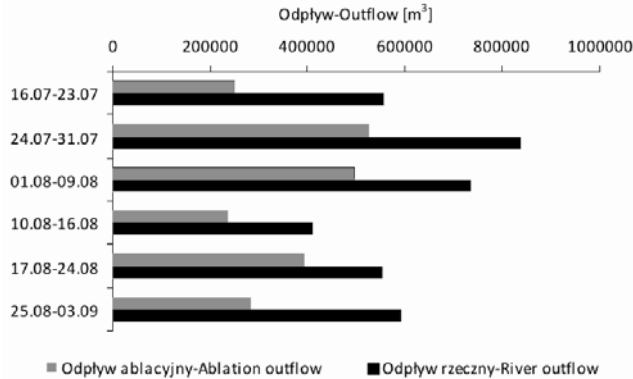
Fig. 5. Daily discharge changes of the Waldemar River in summer 2009 and daily average air temperature (air temperature based on Department of Climatology NCU)

Największy odpływ wystąpił w początkowym okresie badań, w ostatniej dekadzie lipca. Średnie natężenie przepływu w tym czasie było wyrównane i wyniosło około $1,2$ do $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Największy opad deszczu ($13,3 \text{ mm}$) miał miejsce 12 sierpnia, jednak nie miał on większego wpływu na podniesienie przepływu. Pod koniec okresu badań, w ostatniej dekadzie sierpnia, wystąpiła jeszcze jedna kulminacja przepływu, związana z efektem fenowym. W przypadku zlewni Rzeki Waldemara zjawisko to obserwowano również w latach 1996-2008 (Sobota 1998, 2000, 2005).

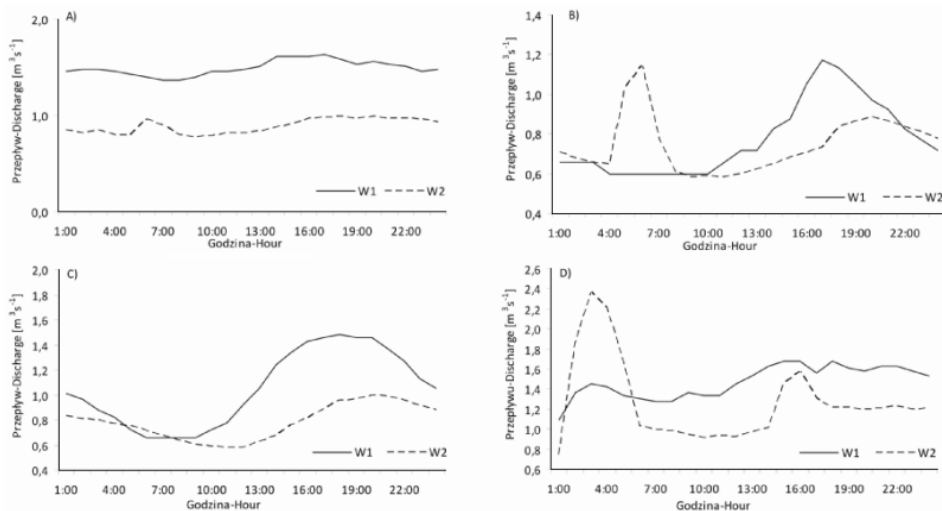
Średni przepływ w górnym odcinku Rzeki Waldemara w sezonie letnim 2009 r. wyniósł $0,85 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Był on niższy od wartości, które uzyskali Mucha i Glazik w roku 1999, 2000 i 2002 (Mucha 2003) oraz Sobota (1998, 2000, 2005, 2007), według którego w latach 1996-2006 średnie wartości przepływu zmieniały się od $0,83$ do $1,44 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Z kolei Szczepanik (1993) szacuje przeciętny przepływ Rzeki Waldemara na $1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Odpływ z Lodowca Waldemara wyniósł w sezonie letnim 2009 roku $3\,963\,645 \text{ m}^3$ wody, a średni udział ablacji w odpływie – 64% (ryc. 6). Pozostałą część stanowiły wody opadowe, odpływ nalożowy oraz inne lokalne źródła zasilania (odpływ wewnątrzlodowcowy, topnienie śniegu na stokach górskich). Podobny udział zasilania ablacyjnego Rzeki Waldemara, wynoszący 72%, stwierdził Szczepanik (1977, 1993). Leszkiewicz (1987) oszacował udział wód ablacyjnych w odpływie ze zlewni glacialnych SW Spitsbergenu na 82,7% odpływu całkowitego. Nieco wyższą wartość uzyskał Bartoszewski (1998) dla rzeki odwadniającej Lodowiec Scotta, gdzie lodowcowa składowa odpływu stanowiła 84,6%. Relacje te podkreślają rolę zasilania ablacyjnego w reżimie rzek lodowcowych (Sobota 2005).

W przebiegu dobowym natężenia przepływu można wyróżnić dwa charakterystyczne terminy. Pierwszy to zmniejszone przepływy w godzinach porannych (8.00-10.00), a drugi to wzrost przepływu w godzinach popołudniowych (16.00-18.00). Związane jest to z przebiegiem dobowym ablacji, która stanowi główne źródło zasilania rzeki (ryc. 7). Zależność ta szczególnie wyraźnie zaznacza się w ujęciu wartości godzinnych uśrednionych z dłuższego okresu czasu (ryc. 8).



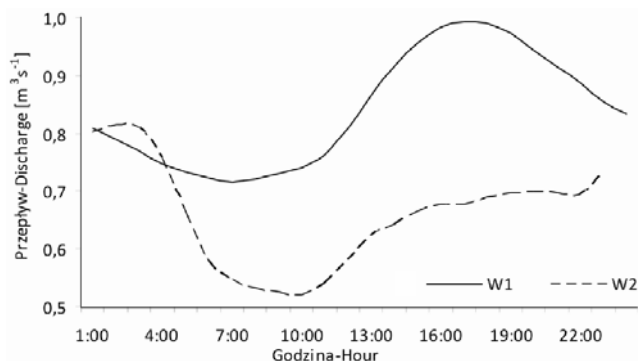
Ryc. 6. Udział odpływu ablacyjnego w odpływie rzeki Waldemara w sezonie letnim 2009 roku
 Fig. 6. The share of ablation outflow in the outflow of the Waldemar River in summer 2009



Ryc. 7. Przebieg godzinnych wartości przepływu rzeki Waldemara w wybranych sytuacjach hydrologicznych i meteorologicznych latem 2009 roku. A – najwyższa dobowa temperatura powietrza; B – najwyższy dobowy opad; C – najwyższa dobowa amplituda wielkości przepływu; D) najwyższy dobowy przepływ

Fig. 7. Hourly discharge of the Waldemar River in selected hydrological and meteorological situations in summer 2009. A – maximum daily air temperature; B – maximum daily precipitation; C – maximum daily discharge amplitude; D) maximum daily discharge

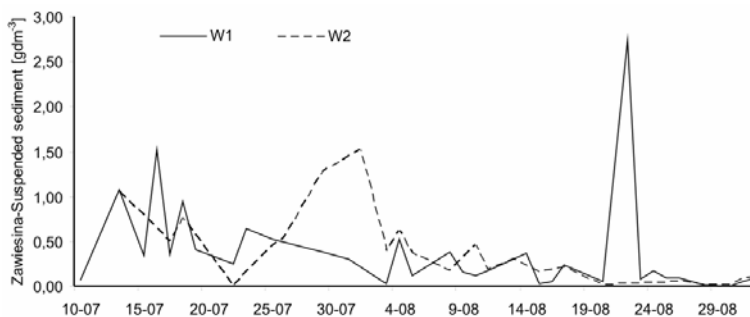
Ważnym zjawiskiem świadczącym o charakterze reżimu i dynamiki rzeki lodowcowej jest transport zawiesiny. Transport materiału unoszonego jest najczęściej określany przy pomocy koncentracji, czyli masy materiału unoszonego w jednostce objętości wody. Ilość zawiesiny transportowanej przez Rzekę Waldemara analizowana była przez cały sezon letni. W ciągu prowadzonych badań stwierdzono bardzo intensywną erozję boczną w środkowym i dolnym odcinku rzeki. Miejscami zaobserwowano rozmywanie pokryw sandrowych nawet do 2 m od linii brzegu.



Ryc. 8. Dobowy rytm przepływu rzeki Waldemara latem 2009 roku (13.07-03.09)

Fig. 8. Daily rhythm of the Waldemar River discharge in summer 2009 (from 13-07 to 03-09)

Na podstawie pomiarów latem 2009 roku stwierdzono, że istotny wpływ na wielkość zawiesiny ma prędkość płynięcia wody. W Rzece Waldemara duże zmaczenie obserwuje się na całej jej długości. Zaznacza się nieznaczny wzrost zawartości zawiesiny w dół rzeki. Mętność Rzeki Waldemara jest duża, aż po ujście, o czym może świadczyć utrzymująca się zawiesina rzeczna w strefie brzegowej morza. W górnym odcinku rzeki zawartość zawiesiny wynosiła przeciętnie $0,38 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$, natomiast w odcinku dolnym $0,41 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$. Podobnie wyniki badań zawiesiny otrzymali Pietrucień i inni (1989). Silna abłacja lodowcowa powoduje podwyższenie się wartości unosin, zwłaszcza w punktach położonych poniżej moren czołowych. W warunkach małego zasilania wodami abłacyjnymi (niskie temperatury bądź brak usłonecznienia) najwyższe wartości występują w odcinku środkowym (erozja boczna) (Pietrucień i in. 1989, Sobota 2000).



Ryc. 9. Koncentracja materiału zawieszonoego w rzece Waldemara latem 2009 roku

Fig. 9. Suspended sediment transport in the Waldemar River in summer 2009

W ciągu sezonu abłacyjnego pojawia się okresowo wyraźny wzrost koncentracji zawiesiny związany ze skokami wielkości przepływów. W każdym punkcie pomiarowym maksymalna zawartość zawiesiny poprzedza maksimum przepływów. Jest to typowe dla rzek lodowcowych (Jania 1993). Najwięcej materiału odrywa się we wczesnej fazie, gdy przepływy rosną, stąd maksymalna koncen-

tracja tuż przed maksimum przepływów (Jania 1993, Hodson i in. 1998). We wszystkich przypadkach stwierdzono dużą zależność transportu zawiesiny od wielkości ablacji lodowcowej. Wahania zawartości zawiesiny w poszczególnych dniach zawierały się w przedziale od poniżej 0,01 do 2,75 g·dm⁻³ (ryc. 9). Wartości te są zbliżone do innych rzek tego regionu i Svalbardu. Przykładowo dla Lodowca Werenskiolda w 1986 roku średnia koncentracja wahała się od 0,2 do 1,9 g·dm⁻³ (Jania 1993). Dla Rzeki Elizy, również zlokalizowanej na Kaffiørze, średnia wartość zawiesiny w sezonie letnim 1982 roku w odcinku górnym, powyżej moren czołowych, wynosiła 2,8 g·dm⁻³, poniżej moren wzrastała do 4,7 g·dm⁻³, natomiast w biegu dolnym osiągała 3,3 g·dm⁻³. Podobnym rozkładem charakteryzowała się koncentracja unosin w rzece Andreasa (Szczepanik 1993).

Rzeka Waldemara transportuje stosunkowo duże ilości zawiesiny, jak na swoją długość i średnią wielkość przepływu. Jest to ściśle związane z warunkami pogodowymi, wielkością ablacji i natężenia przepływu.

4. Wnioski

Średni przepływ w okresie letnim 2009 wyniósł w górnym odcinku Rzeki Waldemara 0,85 m³·s⁻¹ natomiast w odcinku ujściowym 0,67 m³·s⁻¹. Największy odpływ miał miejsce w ostatniej dekadzie lipca, co związane było z podwyższoną temperaturą powietrza, a także w ostatniej dekadzie sierpnia, na skutek napływu ciepłych mas powietrza (fen). W rozkładzie dobowym przepływu zaznacza się minimum występujące w godzinach porannych oraz maksimum występujące w godzinach popołudniowych (16.00-18.00). Średni udział ablacji w odpływie w analizowanym okresie wyniósł 64%, natomiast w latach 1996-2005 zmieniał się od 26 do 81 % (Sobota 2005). Zmienność przepływu w czasie była uzależniona od temperatury powietrza, a w mniejszym stopniu od opadów deszczu. Są to czynniki, które mają najważniejszy wpływ na wielkość topnienia lodowca, czego efektem jest zasilanie rzeki lodowcowej.

W zależności od wielkości przepływu i budowy terenu, po którym rzeka płynie może ona transportować znaczne ilości materiału. Szczególnie zaznacza się to w przypadku rzek lodowcowych. Ilość transportowanej zawiesiny jest niekiedy bardzo duża w stosunku do długości i objętości prowadzonej przez rzekę wody. W sezonie letnim koncentracja zawiesiny wynosi zwykle kilka g·dm⁻³, a podczas największych wezbrań może wzrosnąć do 20-30 g·dm⁻³.

Zaobserwowano zmniejszanie się wielkości przepływu z biegiem rzeki. Sytuacja taka jest wynikiem roztokowego charakteru Rzeki Waldemara, która wraz ze swoim z biegiem, głównie w środkowym odcinku rozwidła się na wiele ramion i odnóg. Wielkość natężenia przepływu w punktach pomiaru w górnym i dolnym odcinku rzeki pozostawały jednak w pewnej zależności. Związane jest to z faktem, iż intensywność przepływu w danym miejscu rzeki nie wynika z morfometrii koryta, czy obszaru, po którym płynie rzeka, a związana jest przede wszystkim ze wzmożonym zasilaniem.

W czasowej zmienności przepływu Rzeki Waldemara można wyróżnić kilka charakterystycznych okresów. Do połowy sierpnia występują na ogół wysokie stany wody i przepływy. Koniec drugiej dekady sierpnia to spadek przepływów. Następnie na przełomie drugiej i trzeciej dekady obserwuje się ponowny wzrost przepływów. Na przełomie sierpnia i września następuje spadek przepływów związany z ochładzaniem temperatury powietrza i brakiem opadów. W ostatnich dniach sierpnia dochodzi do krótkotrwałych, gwałtownych wzrostów odpływu wywołanych zjawiskami fenowymi. Można zatem mówić o pewnej stałej cykliczności zmienności przepływu.

Należy pamiętać, że zmienność natężenia przepływu w dużym stopniu uzależniona jest również od czynników niemeteorologicznych, takich jak na przykład skomplikowany drenaż i odpływ wewnętrzno-lodowcowy, czy też struktura hydrotermiczna lodowca. Szczegółowe analizy związku reżimu rzeki z warunkami hydrologicznymi lodowca będą przedmiotem dalszych badań.

Literatura

- Bartoszewski S., 1998. Reżim odpływu rzek Ziemi Wedel Jarlsberga, Spitsbergen. Wydawnictwo UMCS, Lublin: 167 s.
- Bartoszewski S., 2002. Odpływ ze zlewni Lodowca Scotta (Spitsbergen) w sezonie letnim 2001 r. *Polish Polar Studiem*, 27: 65–72.
- Collins D.N., 1978. Hydrology of an alpine glacier as indicated by the chemical composition of meltwater. *Zeitschrift für Gletscher- und Glazialgeologie*, 13: 219–238.
- Collins D.N., 1979. Hydrochemistry of meltwaters draining from an alpine glacier. *Arctic Alpine Research*, 11 (3): 307–324.
- Grześ M., Sobota I., 2000. Winter snow accumulation and discharge from the Waldemar Glacier, northwestern Spitsbergen in 1996-1998. *Polish Polar Research*, 21 (1): 19–32.
- Hodson, A., Gurnell, A., Tranter, M., Bogen, J., Hagen, J. O. and Clark, M., 1998. Suspended sediment yield and transfer processes in a small High-Arctic glacier basin, Svalbard. *Hydrological Processes*, 12: 73–86.
- Jania J., 1993. *Glaciologia*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa: 359 s.
- Leszkiewicz J., 1987. Charakterystyczne cechy zlewni polarnych oraz próba modelowania statystycznego topnienia śniegu i odpływu ablacyjnego w zachodniej części Spitsbergenu. *Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego*, No 920, Katowice: 84 s.
- Milner A.M., Brown L.E., Hannah D.M., 2009. Hydroecological response of river systems to shrinking glaciers. *Hydrological Processes*, 23: 62–77.
- Mucha A., 2003. Porównanie odpływu z lodowca Waldemara i lodowca Ireny (NW Spitsbergen). *Maszynopis pracy magisterskiej*, IG UMK, Toruń.
- Pietrucień C., Skowron R., Szczepanik W., 1989. Badania koncentracji zawiesiny w rzekach Kaffiøyry (NW Spitsbergen). [w:] *Dorobek i perspektywy polskich badań polarnych, Materiały XVI Sympozjum Polarne*, UMK, Toruń: 196–200.
- Pietrucień C., Szczepanik W., 1982. Studies on the concentration of suspended material in the rivers of Kaffiøyra (NW Spitsbergen) in summer 1977. *Acta Univ. N. Copernici, Geografia XVI*, 51: 185–202.
- Rachlewicz G., 2007. Mechanizmy wezbrań rzecznych w zlewniach zlodowaconych (przykłady z doliny Ebba, Spitsbergen Środkowy). [w:] *Funkcjonowanie geosystemów rzecznych*, 4: 197–207.
- Sobota I., 1997. Preliminary characteristics of outflow from the Waldemar Glacier (Kaffiøyra, NW Spitsbergen) in the 1996 summer. [w:] *Dynamics of polar environment*. UMCS. Lublin: 157–162.
- Sobota I., 1998. Ablacja i odpływ z lodowca Waldemara w sezonie letnim 1997. [w:] *Relief, Quaternary Paleogeography and Changes of the Polar Environment Polar Session*. Spitsbergen Geographical Expeditions, UMCS: 149–168.
- Sobota I., 2000. Ablation and discharge of the Waldemar Glacier, north-western Spitsbergen, in summer 1998. *Polish Polar Research*, 21 (1): 3–18.
- Sobota I., 2004. Ablacja i odpływ z lodowca Waldemara i lodowca Ireny w sezonie letnim 2001 i 2003 roku. *Polish Polar Studies. XXX Międzynarodowe Sympozjum Polarne*, Gdynia: 333–343.
- Sobota I. (red.), 2005. *Zarys hydrografii Kaffiøyry*, [w:] *Kaffiøyra. Zarys środowiska geograficznego Kaffiøyry (NW Spitsbergen)*, Toruń: 13–16.

- Sobota I., 2007. Ablation and outflow from Kaffiøyra glaciers in 1996-2006, Svalbard. The Dynamic and Mass Budget of Arctic Glaciers. Extended abstracts, Workshop and GLACIODYN (IPY) Meeting, IASC Working Group on Arctic Glaciology, Utrecht University: 104–107.
- Sobota I., 2009. The near-surface ice thermal structure of the Waldemarbreen, Svalbard. Polish Polar Research, 30 (4): 317–338.
- Szczepanik W., 1977. Selected problems in the hydrography of the catchment basin of the Waldemar River (West Spitsbergen, Oscar II Land). Acta Universitatis N. Copernici, Geografia XIII, 43: 113–126.
- Szczepanik W., 1993. Reżim wybranych rzek Kaffiøyry (Ziemia Oskara II, NW Spitsbergen) w okresie lata polarnego, Acta Universitatis N. Copernici, Geografia XXIV, 82: 55–146.
- Szczepanik W., Marciniak K., 1989. Wpływ ekstremalnych warunków pogodowych na zjawiska hydrologiczne na przykładzie wybranych rzek z regionu Kaffiøyry (NW Spitsbergen), [w:] Dorobek i perspektywy polskich badań polarnych, Materiały XVI Sympozjum Polarnego, UMK, Toruń: 185–188.

Wpłynęło: 18 czerwca 2010; poprawiono: 15 września 2010.

SUMMARY

The river network of the Kaffiøyra Region is formed by river systems draining individual glaciers. In their drainage areas they often create the heavy, complicated system of channels. Flows are mainly fed with waters coming from ablation of glaciers, and next with waters coming from melting permafrost and melting patches of snow on the plain and mountains slopes. It is characteristic that the Kaffiøyra's river network exist only in the period of the polar summer, as well as is changing during one season.

The main aim of the project was the analysis of the outflow from the drainage area of the Waldemar River, the temporal changeability of the outflow, as well as short-term changes of the rate of flow (daily and hourly changeability) Hydrological characteristics of the river were analysed relating to weather conditions, as well as the size of glacier ablation. The another aim was suspended sediment transport.

The catchment of the Waldemar River belongs to smallest and occupies the area about 4 km², from what 62 % constitutes the Waldemar Glacier. The first measurements point was located in the area of the leakage of the river for the outwash plain, in the distance of the about 500 m from the front of the glacier. The length of the Waldemar River is an about 1 km to this place. From this place the river has braided character. The other measurements point was located in the river mouth area, about 20 m from the sea.

From about 3 963 645 m³ in the Waldemar River in 2009, 64% comes from surface ablation on the Waldemar Glacier. During the years 1996-2005 this share was accounted for 26 to 81%. The other most important sources of river feeding comprise melting of icings, precipitation and water runoff down the surrounding slopes.

Key words: discharge intensity, outflow, suspension, glacial river, Svalbard.