

Hydrogeochemiczna i regionalna charakterystyka występowania wód termalnych na Spitsbergenie

Robert Tarka¹, Tomasz Olichwer¹

Hydrogeochemical and regional characteristics of thermal waters occurrences in Spitsbergen. Prz. Geol., 65: 1019–1024.

Abstract. On Spitsbergen there are four areas of occurrence of thermal spring waters. The studies of these waters have a long history dating back to the nineteenth century. Outflows of thermal waters are associated with tectonic discontinuities, where subpermafrost waters can flow to the surface area. The maximum temperatures of discharged thermal water exceed 25°C. The chemical composition of thermal waters from northern Spitsbergen derived from relict sea water, which is then modified by rainwaters, waters of melting permafrost and contemporary sea waters. On the other hand, on the southern Spitsbergen thermal waters are characterized by a lower mineralization and there are contemporary waters involved in the deep circulation. Thermal waters with low mineralization are mainly multi-ions with dominant type bicarbonate-chloride-sodium-calcium. Thermo-mineral waters belong mainly to the types of chloride-sodium and chloride-bicarbonate-sodium.

Keywords: thermal water; arctic areas; chemical composition

W rejonie Spitsbergenu na powierzchni terenu występują różne przejawy wód podziemnych – począwszy od okresowych źródeł związanych z topnieniem śniegu i wiecznej zmarzliny poprzez wypływy przed czołem lodowca, źródła krasowe, kończąc na stałych źródłach termalnych o temperaturach na wpływie od 8–10 do ponad 25°C (Pulina, 1977; Pociask-Karteczka, 1990; Banks i in., 1998). Źródła termalne obszaru badań są związane z systemami nieciągłości tektonicznych, gdzie wody ze stref płytkiego i pośredniego krążenia mogą dostawać się na znaczne głębokości (>1500 m), a następnie wydostawać się również systemami nieciągłości tektonicznych na powierzchnię terenu (Haldorsen i in., 1996).

Pierwsze udokumentowane badania wód termalnych na Spitsbergenie pochodzą z końca XIX w. z rejonu fiordu Bockfjord (północ Spitsbergen). Tamtejsze źródła są najdalej na północ położonymi źródłami termalnymi na świecie (79,5N). Podczas pierwszych badań zanotowano temperatury wody 24,5 oraz 28,3°C w źródłach Jotun i Troll (Hoel, Holtedahl, 1911). Z kolei w południowej części obszaru badań pierwsze opisane źródła wód termalnych pochodzą z lat 20. oraz 40. XX w. (Werenskiold, 1920; Orvin, 1944).

Duży udział w badaniach wód termalnych mają też polscy badacze obszarów polarnych. Od lat 70. XX w. są prowadzone badania naturalnych wypływów wód termalnych na południowym Spitsbergenie w rejonach fiordu Horsund oraz zatoki Stormbukta (Pulina, 1977; Miękała, Sobik, 1983; Krawczyk, 1989, 1996; Pociask-Karteczka, 1990).

W artykule scharakteryzowano dziesięć naturalnych wypływów wód termalnych na powierzchni terenu (ryc. 1). Charakterystyka czterech źródeł z północy Spitsbergenu pochodzi z danych archiwalnych (Banks i in., 1998; Salvigsen, Hagvard, 1998). Pieć punktów zlokalizowanych na południu Spitsbergenu opisano na podstawie własnych badań hydrogeologicznych przeprowadzonych w ramach wypraw naukowych Uniwersytetu Wrocławskiego (2003–2008), wspartych wcześniejszymi badaniami innych uczonych prowadzonymi w latach 80. i 90. XX w. (Postnov, 1983; Krawczyk, 1989, 1996; Pociask-Karteczka, 1990). Dane dotyczące jednego pun-

ktu na południowym Spitsbergenie pochodzą z literatury (Lauritzen, Bottrell, 1994; Lauritzen, 1996).

Celem artykułu jest przedstawienie genezy i przestrzennej zmienności parametrów fizyko-chemicznych wód termalnych występujących na Spitsbergenie.

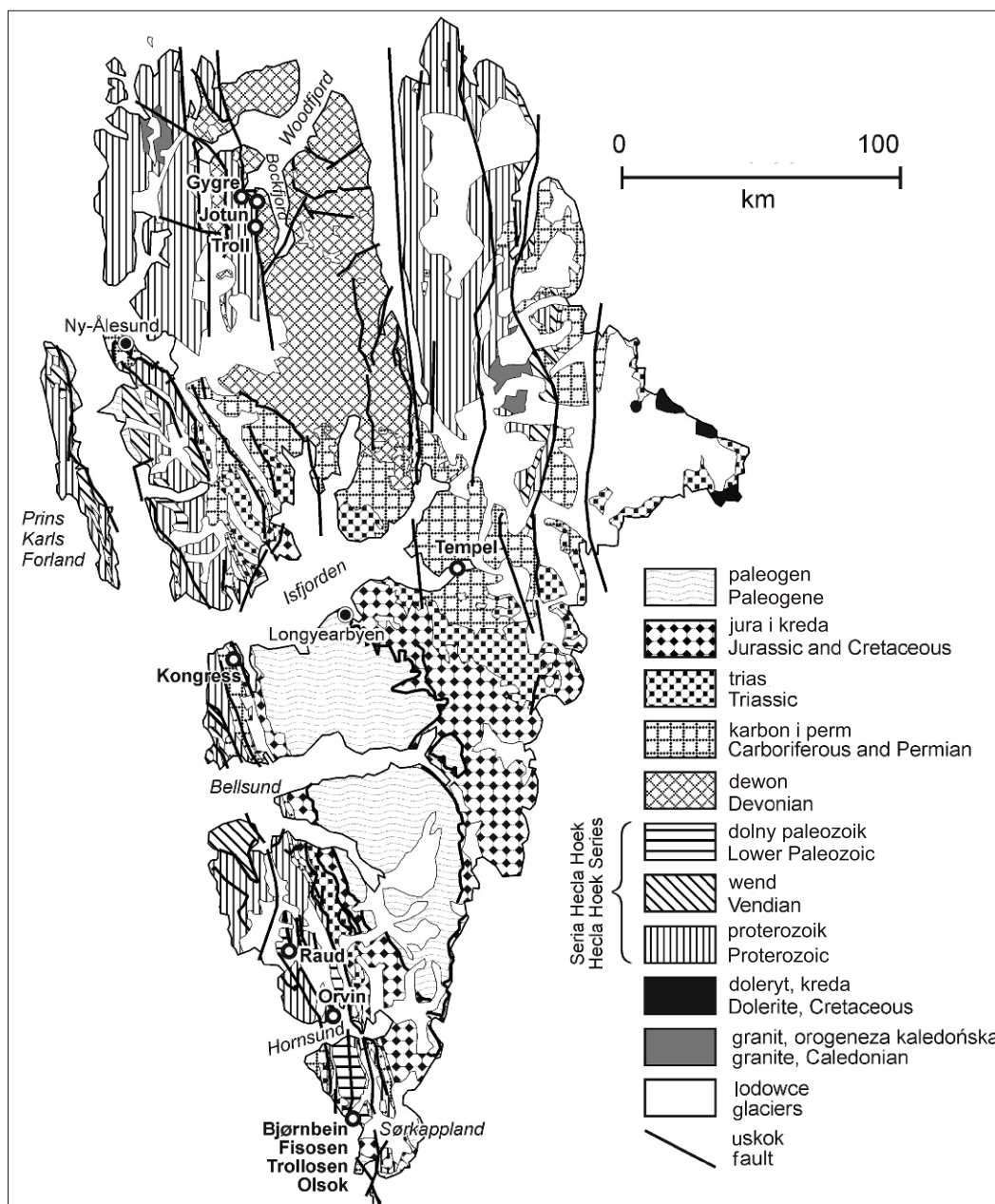
OBSZAR BADAŃ

Teren badań obejmuje obszar Spitsbergenu (76°40–80°03 N), będący wschodnią częścią archipelagu Svalbard. W krajobrazie obszaru badań dominują ułożone w południkowe łańcuchy masywy górskie i niziny nadmorskie. Obszar badań swój kształt i rozmiar w znacznym stopniu osiągnął w późnym paleoogene. Aktualny krajobraz w dużej mierze kształtowany był przez powtarzające się zlodowacenia czwartorzędowe. Na obszarze Spitsbergenu można wydzielić cztery główne jednostki geologiczne (ryc. 1): paleogeński basen sedimentacyjny, platformę zbudowaną ze skał od karbonu do kredy, dewoński basen sedymentacyjny oraz metamorficzne skały podłoża (proterozoik, wczesny paleozoik).

Najstarsze na terenie badań (prekambr–dolny ordowik) są silnie zmetamorfizowane skały serii Hecla Hoek. Ten litostratygraficzny kompleks jest reprezentowany przez paragnejsy, łupki łyszczykowe z wapieniami, kwarcytami, łupkami amfibolitowymi, gnejsami (Birkenmajer, 1990). Od dewonu na skałach krystalicznych powstawały skały osadowe okruchowe oraz węglanowe. Na skałach mezozoicznych zalegają formacje paleogeńskie reprezentowane przez piaskowce, łupki, zlepieńce (Birkenmajer, 1990). W czasie późnego plejstocenu i holocenu powstały podniesione morskie plaże, tarasy i klify, cechy charakterystyczne dla przybrzeżnej części Spitsbergenu.

Na opisywanym obszarze mamy do czynienia z bogatą historią tektoniczną, której początki sięgają prekambriu (Harland, 1997). Efektem tego jest duża ilość uskoków i nieciągłości, które w znacznym stopniu wpływają na krążenie wód podziemnych, dotyczy to zwłaszcza wód podpermafrostowych i termalnych związanych z głębokim krążeniem.

¹ Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław, robert.tarka@uwr.edu.pl, tomasz.oliczwer@uwr.edu.pl.



Ryc 1. Mapa obszaru badań
 Fig. 1. Map of the study area

CHARAKTERYSTYKA WÓD TERMALNYCH

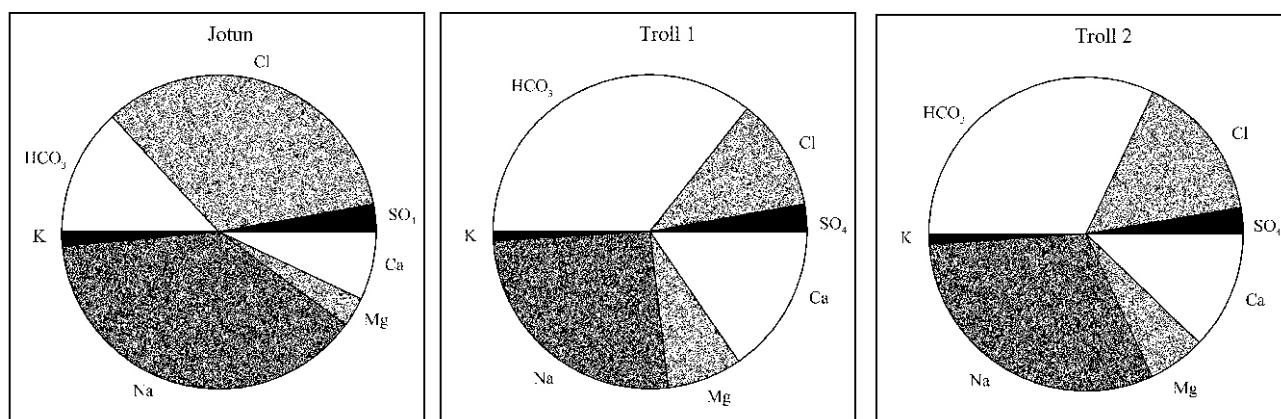
Na obszarach o ciągłej wiecznej zmarzlinie występowanie wód podziemnych jest związane z trzema strefami (Williams, van Everdingen, 1973): nad wieczną zmarzliną (suprapermafrost), wewnątrz wiecznej zmarzliny (intra-permafrost) i pod wieczną zmarzliną (subpermafrost). Strefę krążenia nad wieczną zmarzliną określić można mianem strefy płytkiego krążenia, natomiast wody w strefie wewnątrz i pod zmarzliną jako strefę pośrednią. Dodatkowo na Spitsbergenie należy wyróżnić strefę głębokiego krążenia. Jest ona związana z systemami nieciągłości tektonicznych, gdzie wody z pierwszych dwóch stref mogą dostawać się na znaczne głębokości (>1500 m), a następnie wydostawać się również systemami nieciągłości tektonicznych na powierzchnię terenu. Z tą strefą są związane liczne źródła wód termalnych o temperaturach

na wpływie do ponad 25°C (Banks i in., 1998; Krawczyk, 1996; Lauritzen, 1996; Olichwer i in., 2013).

Na Spitsbergenie występują cztery główne rejony występowania wód termalnych: Bockfjord, Tempelfjorden, fiord Horsund i Sörkappland.

Rejon Bockfjord

W rejonie Bockfjord są zlokalizowane trzy strefy wypływów: Jotun, Troll (Troll 1, Troll 2) i Gygre. Źródła te są najdalej na północ położonymi źródłami termalnymi na świecie (79,5N). Występują one na uskoku przebiegającego wzdłuż zachodniego brzegu Bockfjord. Uskok ten stanowi zachodnią granicę rowu, wzdłuż której mułowce i piaskowce dewonu kontaktują z utworami kompleksu Hecla Hoek (Harland, 1997).



Ryc. 2. Skład chemiczny wód termalnych z rejonu Bockfjord
Fig. 2. The chemical composition of the thermal waters of the Bockfjord region

Podczas pierwszych badań zanotowano temperaturę wody w źródłach Jotun – 24,5°C i w źródłach Troll – 28,3°C (Hoel, Høltedahl, 1911). Późniejsze badania (Banks i in., 1998) wykazały temperatury źródeł do 25,6°C. Mineralizacja wody w tych punktach wynosi od 990 (Troll) do 2400 mg/dm³ (Jotun). W wodach ze źródła Troll dominują jony HCO₃ i Na⁺ natomiast w Jotunie Cl oraz Na⁺ (ryc. 2).

Przy źródłach Troll i Jotun obserwuje się depozyty utworów węglanu wapnia w postaci kalcytu. Przy źródłach Troll występują one w postaci spektakularnych trawertynów tworzących kilka tarasów (Banks i in., 1998). Na zachód 500 m. od źródeł Jotun znajduje się źródło Gygre o przeciętnej wydajności 10 l/s. Najwyższa zanotowana temperatura wyniosła 13,8°C (Salvigsen, Hagvard, 1998).

Rejon Tempelfjorden

W środkowej części fiordu Tempel występują wody o podwyższonej temperaturze. W zimie w tym miejscu obserwuje się okrągły otwór w pokrywie lodowej. Niewątpliwie jest to związane z podmorskim wypływem w tym miejscu wód termalnych. Brak jest jednak bliższych danych o tym wypływie. Z dopływem wód termalnych w środkowej części Spitsbergenu mogą być również związane źródła mineralne wypływające w pobliżu jeziora Kongress k. Barentsburga.

Rejon fiordu Horsund

Wody termalne w tym rejonie są reprezentowane przez krasowe źródła Raud i źródło Orvina. Wypływy (źródliśko) termalne pod Raudfjellet odkryte zostały w 1973 r. przez ekspedycję Uniwersytetu Wrocławskiego kierowaną przez S. Baranowskiego (Migala, Sobik, 1983). Jest to strefa wypływów przy brzegu lodowca Torella, w miejscu występowania skał węglanowych należących do serii Hecla Hoek. Zanotowano wtedy temperaturę wody wynoszącą na wypływie 12,1°C (Krawczyk, 1989).

Źródło Orvina, pod górą Gnalberget, jest zlokalizowane na obszarze masywu Sofiekammen, który jest zbudowany z marmurów i wapieni należących do serii Hecla Hoek. Wody ze źródła Orvin'a wypływają w strefie brzegowej z osadów żwirowych w kilku punktach na szerokości około 40 m. Wydajności poszczególnych wypływów wahają się od 0,05 do ponad 1 l/s, przy sumarycznej wiel-

kości ok. 15 l/s. Wypływy te są widoczne jedynie podczas odpływu. Źródło to po raz pierwszy zostało opisane przez Orvina w 1944 r., który zanotował temperaturę wody wynoszącą 12°C.

Rejon Sørkappland

Kolejnym miejscem występowania wód termalnych na Spitsbergenie jest Sørkappland. U podnóża masywu Hilmarfjellet można wyróżnić kilka punktów wypływu wód termalnych różniących się składem chemicznym i temperaturą. Pod względem geologicznym wypływy te są związane z wapieniami i dolomitami serii Hecla Hoek (w części południowej i środkowej) oraz skałami węglanowymi pochodzenia osadowego (część północna). W tym miejscu rozciąga się największy na południowym Spitsbergenie pas wybrzeża wapiennego i leży on w obrębie kilku podniesionych tarasów morskich, będących efektem krasu litoralnego (Pulina, 1977).

Pierwsze obserwacje przeprowadził Werenskiöld (1920), odnotowując temperaturę występujących tu wód w granicach 10–15°C, a następnie Major i Wisnes (1955), którzy zanotowali najwyższą temperaturę wody na tym obszarze wynoszącą 16,3°C. W latach 70. XX w. dokładne badania hydrologiczno-hydrochemiczne prowadził Pulina, czego efektem było ponad 30 analiz chemicznych. Zanotował on temperatury w granicach 10–16,5°C. W 1981 r. region ten był miejscem badań hydrogeologów radzieckich, a wyniki badań przedstawił Postnov w (1983). We wszystkich występujących tu wypływach autorzy badań stwierdzali obecność siarkowodoru w wodach źródłanych.

Najbardziej na południe, na morenie bocznej lodowca Olsok znajduje się źródło o tej samej nazwie i wydajności wahającej się w granicach 150–450 l/s. Pulina (1977) odnotował w nim mineralizację równą 8,6 g/l, która jest najwyższą jak dotąd wartością stwierdzoną na Spitsbergenie.

W centralnej części obszaru Sørkappland występuje źródło krasowe Trollosen, które z przeciętną wydajnością 10 m³/s jest największym źródłem na Spitsbergenie. Temperatura wody na wypływie wynosi 4°C. Około 400 m na północ od źródła Trollosen jest położone niewielkie źródło termalne Fisosen, stwierdzone w latach 90. XX w. przez Lauritzena (1996).

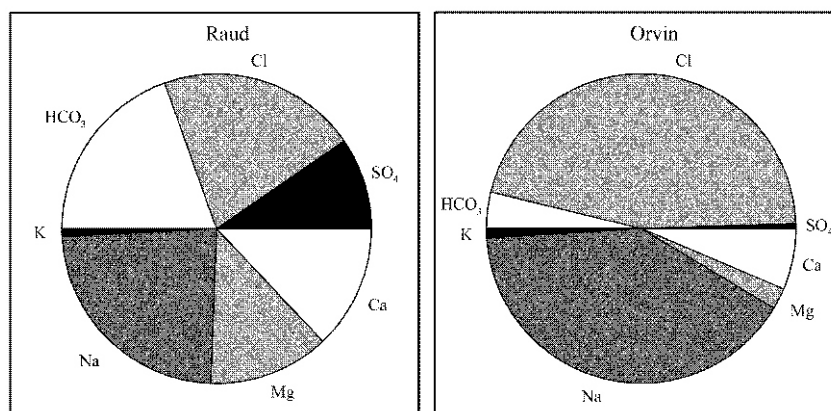
Najbardziej na północ Sørkapplandu na tarasie morskim (Bjørnbeinfla) występuje strefa rozległych

wypływów o nazwie Bjørnbein. W latach 70. i 80. XX w. opisano tu trzy miejsca wypływów o temperaturze wody wynoszącej 15,2–16,5°C. Wody te miały skład Cl–Na i mineralizację powyżej 1 g/l (Pulina, 1977; Krawczyk, 1996). Jednak podczas badań w latach 90. XX w. stwierdzono, że miejsca tych wypływów są suche (Lauritzen, 1996).

METODYKA

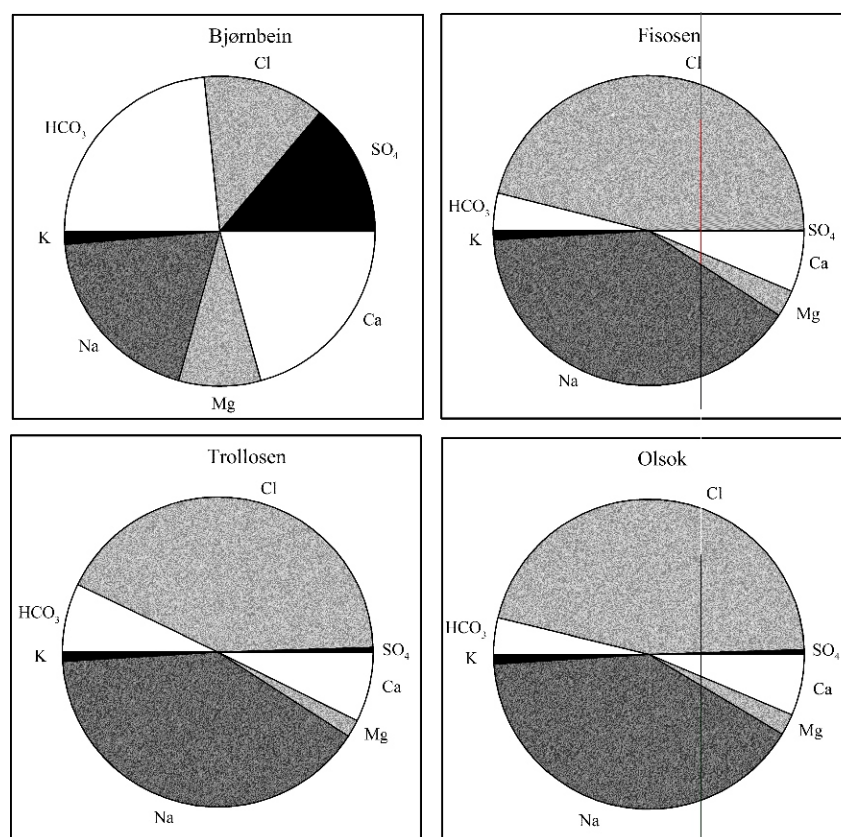
Własne badania objęły pięć punktów występowania wód termalnych w rejonie południowego Spitsbergenu (ryc. 1). Analizowane źródła są zlokalizowane pod górami Raudfjelet oraz Gnalberget (Raud, Orvin), a także dalej na południe (Olsok, Bjørnbein, Trollosen) w zatoce Stormbukta (Sorkappland). W artykule oprócz własnych wyników analiz również podsumowano badania źródeł termalnych prowadzonych w tym rejonie we wcześniejszych latach przez badaczy polskich i zagranicznych. W charakterystyce hydrogeologicznej i hydrochemicznej źródeł wód termalnych były także pomocne badania prowadzone na północnym Spitsbergenie (Jotun, Troll 1, Troll 2, Gygre) (Banks i in., 1998), a także w części południowej (źródło Fisosen) (Lauritzen, Bottrell, 1994; Lauritzen, 1996).

Podczas badań w lipcu 2006, 2008 oraz 2011 r. pobrano próby w pięciu punktach, reprezentujące wody termalne i termomineralne (Raud, Orvin, Olsok, Bjørnbein, Trollosen). Podczas pracy terenowej za pomocą urządzeń elektronicznych były mierzone: temperatura wody, pH, Eh i przewodniczość elektrolityczna właściwa. Do oznaczenia zasadowości w terenie wykorzystano metodę miareczkowania kolorometrycznego używając wskaźnika o pH = 4,3. Za wartość końcową zasadowości brano pod uwagę średnią z trzech miareczkowań. Z każdego punktu pobierano próbki wody 200 ml w polietylenowych butelkach. Przed poborem wody butelka była płukana kilkakrotnie wodą z miejsca opróbowania oraz dwukrotnie przefiltrowaną wodą ze źródła. Próbki były przesączone z użyciem filtrów z nitrocelulozową membraną o średnicy 0,45 μm. Następnie jedną z próbek zakwaszono, stosując 0,5 ml/100 ml HNO₃. Analizę składu chemicznego wód wykonano za pomocą spektroskopu ICP-MS Elan 6100 po miesiącu od czasu pobrania. Do czasu analizy próbki przetrzymywano w stanie zamrożonym.



Ryc. 3. Skład chemiczny wód termalnych z rejonu Horsundu

Fig. 3. The chemical composition of the thermal waters of the Horsund region



Ryc. 4. Skład chemiczny wód termalnych z rejonu Sørkappland

Fig. 4. The chemical composition of the thermal waters of the Sørkappland region

WYNIKI I DISKUSJA

Źródło w rejonie Raudfjellet ma powierzchnię ok. 1000 m² i jest położone na morenie środkowej lodowca Torella. Pierwsze analizy chemiczne przeprowadzono na początku lat 80. XX w. przez Migalę i Sobika (1983), wody te miały skład Cl–HCO₃–Na⁺+K⁺, o mineralizacji do 260 mg/dm³. Następnie chemizmem wód termalnych, wys-

tępujących pod Raudfjellet, zajmowali się między innymi Misztal i Pulina (1983) oraz Krawczyk (1989). Najnowsze badania prowadzone przez autorów wykazały w punkcie Raud typ wody $\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$ o temperaturze $11,9^\circ\text{C}$ i mineralizacji 230 mg/dm^3 (ryc. 3).

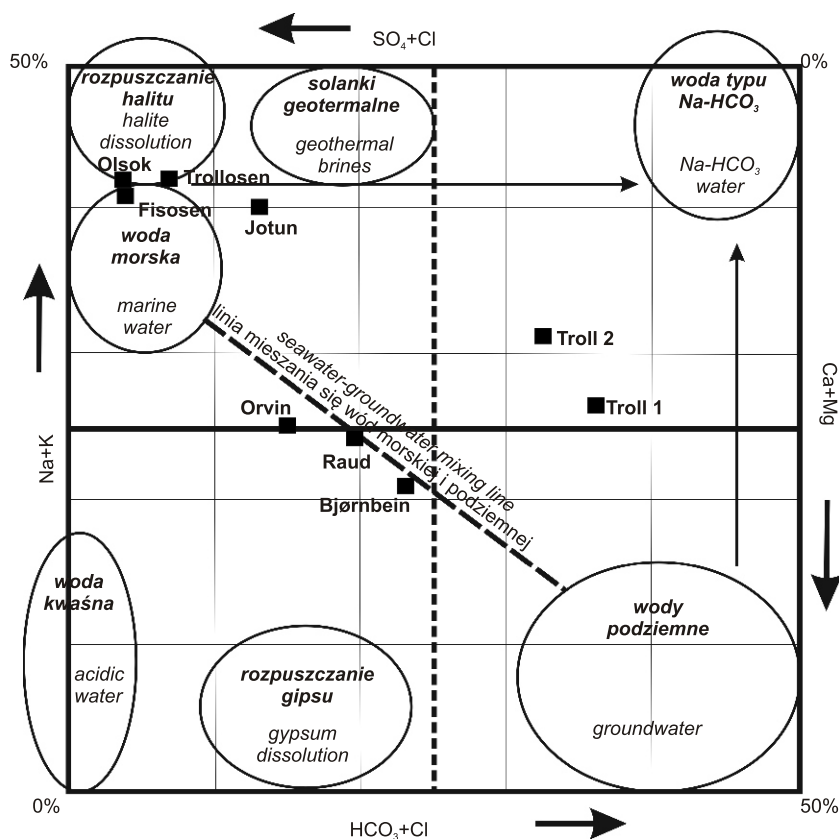
W źródle Orvina szczegółowe obserwacje były prowadzone w latach 70. XX w. przez Pulinę (1977), który podał temperatury na wypływie w granicach $12,5^\circ\text{C}$. Badania własne z 2006 i 2008 r. wykazały typ wody $\text{Cl}^- - \text{Na}^+$ (ryc. 3), o temperaturze 13°C , przy mineralizacji 380 mg/dm^3 (Olichwer i in., 2013).

Najnowsze badania źródła Olsok autorzy przeprowadzili notując temperatury na wypływie $9,3^\circ\text{C}$, przy mineralizacji wody wynoszącej 4030 mg/dm^3 . W wodach źródła Olsok dominują jony Cl^- oraz Na^+ (ryc. 4).

W kolejnym badanym punkcie, źródło Trollosen, woda wypływająca pochodzi z krążenia podpermafrostowego i prawdopodobnie jedynie z niewielkim udziałem wód termalnych głębokiego krążenia. Sąsiadujące źródło Fissosen jest wypływem o średnicy 20 cm i niewielkiej wydajności (ok. 1l/s) występuje w strefie wybrzeża na wysokości 1–2 m n.p.m. Źródło to charakteryzuje się wysokim przewodnictwem właściwym w granicach $6,2 \text{ mS/cm}$ (zbliżonym do źródła Olsok) i temperaturą wody $12,9 - 15,1^\circ\text{C}$. Oba wypływy reprezentują wody $\text{Cl}^- - \text{Na}^+$ (ryc. 4).

Ostatnim badanym punktem jest wypływ Bjørnbein. W 2006 r. w wyniku badań własnych zaobserwowano występowanie wód termalnych na tarasie morskim (Bjørnbeinflya). Zanotowano wypływ o temperaturze wody $13,9^\circ\text{C}$ i mineralizacji wynoszącej 350 mg/dm^3 . Wyniki analiz chemicznych wskazały na typ wody $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^+$ (ryc. 4).

Reasumując, wody termalne południowego Spitsbergenu charakteryzują się niższą mineralizacją niż w jego



Ryc. 5. Diagram Langeliera-Ludwiga dla próbek wody z obszaru badań
Fig. 5. Langelier-Ludwig diagram for the water samples investigated

północnej części. Są to współczesne wody uczestniczące w głębokim krążeniu, których skład chemiczny jest następnie modyfikowany przez rozcieńczenie wodami opadowymi i z topnienia permafrostu oraz w niewielkim stopniu wodą morską, z wyjątkiem źródła Trollosen (ryc. 5).

Skład chemiczny wód termalnych na północnym Spitsbergenu pochodzi od kopalnej wody morskiej, który następnie jest modyfikowany przez interakcje pomiędzy wodą a skałą oraz rozcieńczenie wodami opadowymi i z topnienia permafrostu oraz wodą morską (ryc. 5). Udział wód płytkiego krążenia w wodach źródłanych wynosi od 60–90% na północy do ponad 90% w wodach na południu Spitsbergenu.

PODSUMOWANIE

Źródła termalne na Spitsbergenu występują w strefach uskokowych powstałych w czasie paleogeńskich ruchów tektonicznych, mających jednak wcześniejsze założenia. Strefy te są miejscami głębokiego krążenia wody. Potencjalnymi miejscami pojawiania się wód termalnych na powierzchni terenu są strefy granic prekambryjsko-paleozoicznej serii skalnej Hecla Hoek z młodszymi mezozoicznymi skałami osadowymi.

Wody termalne o niskiej mineralizacji są głównie wielojonowe, dominuje typ wodowęglanowo-chlorkowo-sodowo-wapniowy. Wody termomineralne należą głównie do typów chlorkowo-sodowych oraz chlorkowo-wodorwanowo-sodowych (tab. 1).

Tab. 1. Zestawienie parametrów źródeł termalnych Spitsbergenu
Table 1. Parameters list of thermal springs of Spitsbergen

Nazwa Name	Dominujące jony Dominating ions	Mineralizacja Mineralization	Temperatura Temperature	Lokalizacja Location
Jotun	$\text{Cl}^- - \text{Na}^+$	2658	23,0	Bockfjord
Troll 1	$\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^+$	1394	25,6	Bockfjord
Troll 2	$\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^+$	1571	19,4	Bockfjord
Gygre	b.d.	b.d.	13,8	Bockfjord
Orvin	$\text{Cl}^- - \text{Na}^+$	378	13,0	Horsund
Raud	$\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$	228	11,9	Horsund
Olsok	$\text{Cl}^- - \text{Na}^+$	4030	9,3	Sørkappland
Trollosen	$\text{Cl}^- - \text{Na}^+$	1526	3,4	Sørkappland
Fissosen	$\text{Cl}^- - \text{Na}^+$	3420	15,4	Sørkappland
Bjørnbein	$\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^+$	346	13,9	Sørkappland

b.d. – brak danych / not determined

Autorzy składają podziękowania Recenzentom i Redakcji Przeglądu Geologicznego za cenne uwagi i sugestie, które wykorzystano w ostatecznej wersji publikacji.

LITERATURA

- BANKS D., SLETTEN R.S., HALDORSEN S., DALE, B., HEIM M., SWENSEN B. 1998 – The thermal springs of bockfjord, svalbard: occurrence and major ion hydrochemistry. *Geothermics*, 27 (4): 445–467.
- BIRKENMAJER K. 1990 – Geology of the Hornsund area, Spitsbergen. Explanations to the map 1 : 75 000 scale. UWSŁ., Katowice.
- HARLAND W.B. 1997 – The Geology of Svalbard. The Geological Society, London.
- HALDORSEN S., HEIM M., LAURITZEN S.E. 1996 – Subpermafrost groundwater. *Western Svalbard. Nordic Hydrology* 27: 57–68.
- HOEL A., HOLTEDAHL O. 1911 – Les nappes de lave, les volcans et les sources thermals dans les environs de la baie Wood au Spitsberg. *Videnskapsselskapets skrifter (Christiania), I. Matematikk, Naturvernklasse*, 8: 37.
- KRAWCZYK W.E. 1989 – Thermal springs below Raudfjellet, South West Spitsbergen. *Results of Investigations of the Polish Scientific Spitsbergen Expeditions. Acta Universitatis Wratislaviensis*, 7 (1069): 67–74.
- KRAWCZYK W.E. 1996 – Karst springs in the region of Hornsund Fjord (SW Spitsbergen). *23rd Polar Symposium*, 27–29 september, Sosnowiec, Poland: 51–66.
- LAURITZEN S.E., BOTTRELL S. 1994 – Microbiological activity in thermoglacial karst springs, South Spitsbergen. *Geomicrobiol. J.*, 12: 161–173.
- LAURITZEN S.E. 1996 – Interaction between glacier and karst aquifers: preliminary results from Hilmarfjellet, South Spitsbergen. *Kras i Speleologia*, Pr. Nauk. UWSŁ., 1527: 17–27.
- MAJOR H., WISNES T.S. 1955 – Cambrian and Ordovician fossils from Sarkapp Land, Spitsbergen. *Norsk Polarinst. Skr.*, 106.
- MIGAŁA K., SOBIK M. 1983 – Discovery of thermal springs in the Raudfiellet region, SW Spitsbergen. *Polar Research*, 2: 109–110.
- MISZTAŁ S., PULINA M. 1983 – Investigations of glacier caves. In: *Field investigations performed during the Glaciological Spitsbergen Expedition in 1983. Interim report. UWSŁ.*: 26–33.
- OLICHWER T., TARKA R., MODELSKA M. 2013 – Chemical composition of groundwaters in the Hornsund region, southern Spitsbergen. *Hydrology Research* 44 (1): 117–130.
- ORVIN A.K. 1944 – Litt om kilder pa Svalbard. *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 10 (1): 16–38.
- POCIASK-KARTECZKA J. 1990 – The Thermal Orvin Spring below Mount Gnälberget (Hornsund, South Spitsbergen). *Acta Universitatis Wratislaviensis*, 7 (1069), Results of investigations of the Polish Scientific Spitsbergen Expeditions: 75–85.
- POSTNOV M. 1983 – Mineralnye vody Szpicbergena. *Gidrogeologiya, inzyniernaya geologiya, geomorfologiya arkhipelaga Szpicbergena. (Mineral waters of Spitsbergen. Hydrogeology, engineering geology, geomorphology of Spitsbergen). PGO Sievmorgieologiya, Leningrad*: 5–53.
- PULINA M. 1977 – Uwagi o zjawiskach krasowych w południowej części Spitsbergenu. *Kras i Speleologia*, 1(10): 104–125.
- SALVIGSEN O., HOGVARD K. 1998 – Gygrekjelda, a new warm spring in Bockfjorden. *Polar Research* 17 (1): 107–109.
- WERENSKIOLD W. 1920 – Spitsbergens fysiske geografi. *Naturen*, 44: 209–242.
- WILLIAMS J.R., VAN EVERDINGEN R.O. 1973 – Groundwater investigations in permafrost regions of North America: a review. *Permafrost: N. Am. Cont. 2nd International Conference, Washington, D.C., National Academy of Sciences*: 435–446.