

Ingresje i ascensje wód słonych na Pobrzeżu Słowińskim

Arkadiusz Krawiec¹

Ascension and ingression of saline waters of the Pobrzeże Słowińskie Region. *Prz. Geol.*, 63: 867–872.

Abstract. The paper presents comprehensive results of the hydrogeochemical and isotope analysis of waters in terms of their genesis and “ages”. Mostly chloride anomalies were found on the Polish Baltic coast. The processes of ascension and ingression of saline and brackish waters are the main reasons for their development. The water exchange rate was determined in each aquifer systems within the study area the results of isotope analysis, the concentrations of ⁴He and ³H. A significant contribution of infiltrating waters in cold climate is apparent in samples taken from: Ustka, Jarosławiec and Dąbki, for which NGT values range from 4.3 to 5.2°C. Waters with this genesis are found mainly in deep Pleistocene aquifers and Cretaceous roof layers. Changes in the chemical composition of waters in this area are strongly affected by human activity consisting in excessive exploitation of aquifers (mainly in the 1970s and 1980s). The process of saline water penetration into exploited aquifers was most extensive at that time. At present, it has been significantly inhibited as a result of reduced water extraction at the water intakes in this area. New water intakes are located at a considerable distance from the areas threatened with ingression or ascension of brine and saline water.

Keywords: ascension and ingression process, isotope analysis, groundwaters genesis and ages, Baltic coast

W pracy przedstawiono genezę anomalii chlorkowych w warstwach wodonośnych w centralnej strefie polskiego wybrzeża Bałtyku. Z gospodarczego i środowiskowego punktu widzenia zasolenie wywołane eksploatacją ujęć jest zagrożeniem dla jakości zwykłych wód podziemnych. Na analizowanym obszarze występują zagrożenia dla stanu chemicznego i zasobów użytkowych poziomów wodonośnych związane z dopływem wód o podwyższonej mineralizacji. Budowa geologiczna tego obszaru jest złożona, występują tu różne systemy obiegu wód oraz zachodzą procesy ingresji i ascensji, co stwarza wiele problemów badawczych, praktycznych, które były omawiane w pracach hydrogeologicznych m.in. przez Kleczkowskiego i Nguyena (1977), Kozerskiego (1981, 1988), Pietrucienia (1983), Kozerskiego i Kwaternikiewicza (1984, 1997), Dowgiałłę i Fronczka (1990), Burzyńskiego i Sadurskiego (1990, 1995), Kozerskiego i in. (1992, 2005), Burzyńskiego (1997), Sadurskiego i Krawca (1998), Burzyńskiego i in. (1999), Kwaternikiewicza i in. (2000), Krawca i in. (2000), Zuberę i in. (2001) czy Krawca (2013).

Praca powstała w celu wyjaśnienia pochodzenia anomalii chlorkowych na rozpatrywanym obszarze oraz określenia wieku badanych wód.

OBSZAR BADAŃ

Omawiany obszar znajduje się na Pobrzeżu Słowińskim. Pomiędzy Mielnem a Ustką wybrzeże ma charakter akumulacyjny, a od Ustki do Rowów oraz w rejonie Jarosławca występują brzegi klifowe. Na analizowanym obszarze znajdują się duże przybrzeżne jeziora, takie jak: Jamno, Bukowo, Kopań czy Wicko, wzdłuż których rozwinęły się obszary mierzejowe (ryc. 1). Wody jezior przybrzeżnych są słonawe i charakteryzuje je duża zmienność zawartości chlorków. W wodach jeziora Bukowo średnie wartości chlorków są na poziomie powyżej 750 mg/dm³, a w wodach jeziora Gardno – 551 mg/dm³. Jeziora Jamno i Kopań to przykład zbiorników, gdzie w czasie okresowych wlewów wód słonych Bałtyku stężenia chlorków

dochodzą do 2000 mg/dm³ (Cieśliński, 2010). W przypadku jezior Wicko i Modła okresowo jest widoczny wzrost zasolenia wynikający z bezpośredniego oddziaływania morza, a maksymalne stężenia jonu chlorkowego zazwyczaj nie przekraczają 160 mg/dm³.

METODY BADAŃ

W ramach badań w wytypowanych studniach i piezometrach pobrano próbki wody do szczegółowych analiz chemicznych, oznaczeń izotopowych oraz stężeń gazów szlachetnych. Probki wody pobierano w terenie przy wykorzystaniu pomp zainstalowanych w otworach studziennych lub pompy MP-1 firmy Grundfos.

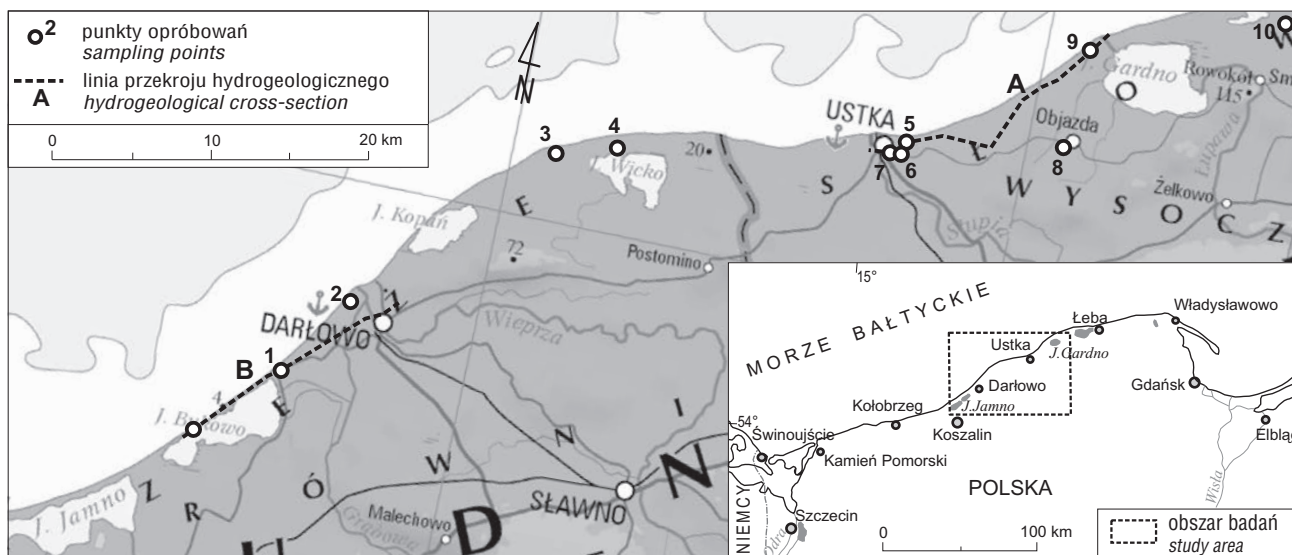
Analizę stężeń gazów szlachetnych w próbkach wody wykonano metodą chromatografii gazowej bez wzbogacania próbki, którą opracowano w Zakładzie Fizykochemii Ekosystemów IFJ PAN w Krakowie (Pusz i in., 2007; Żurek & Mochalski, 2010). Szczegółowy opis metod oraz metodyki poboru próbek do oznaczeń izotopowych i stężeń trytu wraz z odniesieniami do literatury został omówiony przez Zuberę i in. (2007).

Zastosowane metody badawcze pozwoliły na określenie zróżnicowania chemizmu wód, zmian składu chemicznego w czasie oraz w profilu pionowym, oszacowanie czasu wymiany wód w systemach wodonośnych, a także na przedstawienie genezy anomalii hydrogeochemicznych.

BUDOWA GEOLOGICZNA I WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Podłoże kenozoiku stanowią na tym obszarze utwory kredy górnej, wykształcone jako margle, wapienie i piaskowce. Praktycznie całą powierzchnię mezozoiku pokrywają osady starszego kenozoiku. Brak ich jedynie w rejonie Mierzei Uniestowskiej oraz w głębokich strukturach erozyjnych na wschód od Jarosławca. Najczęściej osady te są reprezentowane przez piaski i mułki oraz ropy miocenu i oligocenu (ryc. 2).

¹ Katedra Geologii i Hydrogeologii, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń; arkadiusz.krawiec@umk.pl.



Ryc. 1. Obszar badań
Fig. 1. The study area

Miąższość osadów czwartorzędu jest na tym obszarze zróżnicowana i wynosi od 25 m w pasie nadmorskim w części zachodniej (rejon Mielna) oraz wyniesień stropu podłoża (np. rejon Darłowa czy Ustki) do ponad 100 m na terenie obniżen (np. rejon Łaz, Darłówka czy Jarosławca). W osadach czwartorzędowych najczęściej można wyróżnić dwa poziomy glin zwałowych. Piaszczyste przewarstwienia występujące na różnych głębokościach rzadko tworzą ciągłe warstwy. Osady holocenu to piaszczyste wydmy w strefie przymorskiej o miąższości do 30 m, a w rejonie jezior i mierzei są to najczęściej namuły, torfy i mady.

Na analizowanym obszarze warstwy wodonośne o użytkowym znaczeniu występują w osadach czwartorzędu, paleogenu, neogenu oraz kredy. Piętro czwartorzędowe jest nieciągłe i w strefie nadmorskiej eksploatowane sporadycznie. Znaczenie użytkowe zyskuje w dalszej odległości od brzegu i tam też znajdują się większe ujęcia wód. Poziom mioceński, w którym występują przeważnie wody słodkie, często jest wykorzystywany przez ujęcia komunalne, np. w Dąbkach, Darłówku czy Ustce. W warstwach kredy występują najczęściej wody o podwyższonej mineralizacji. Wody słodkie z tego piętra są eksploatowane do celów konsumpcyjnych w Jarosławcu, a podwyższone stężenia jonu chlorkowego stwierdzono na ujęciu w Ustce (ryc. 2) oraz w zlikwidowanym ujęciu w Darłówku (Krawiec, 2013).

Pomiędzy Mielnem a Unieściem, na obszarze Mierzei Uniestowskiej, w wodach podziemnych w latach 80. i 90. XX w. zanotowano wysokie stężenia jonu chlorkowego. W wodzie z poziomu mioceńskiego wraz z czasem eksploatacji studzien stężenia te wrastały od kilkuset do ponad 4500 mg/dm³, a w wodzie ze studzien ujmujących podglinowy poziom czwartorzędowy stężenia Cl⁻ osiągały 1000 mg/dm³. Tak wysokie zasolenie jest związane z ascencją solanek z podłoża mezozoicznego, co potwierdzają wyniki badań Kozerskiego i Pruszkowskiej (1996).

Na obszarze kolejnej mierzei, wzdłuż jeziora Bukowo, w miejscowości Dąbkowice mamy przykład anomalii chlorkowej oraz inwersji hydrogeochemicznej. Występują tutaj trzy poziomy wodonośne. Pierwszy znajduje się w piaszczystych osadach holocenijskich mierzei do głębokości ok. 10 m. W poziomie tym stężenie jonu Cl⁻ przekracza 850 mg/dm³. Drugi poziom wodonośny występuje

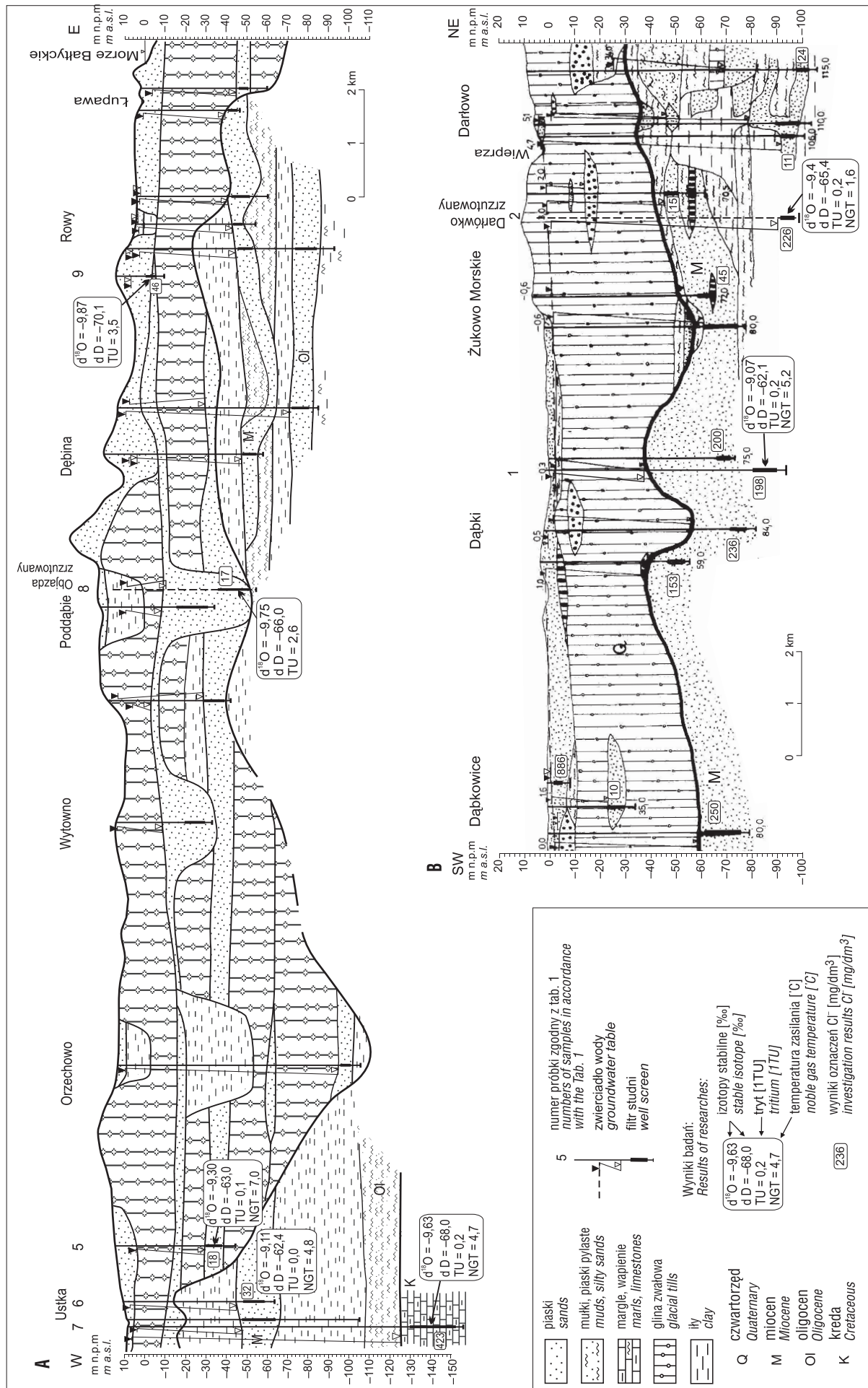
w warstwie piasków międzyglinowych, na głębokości ok. 25–30 m. W wodach tej warstwy stężenie tego jonu wynosi 10 mg/dm³. W poziomie wodonośnym w piaskach mioceńskich stężenie jonu chlorkowego wynosi 250 mg/dm³ (ryc. 2). Zasolenie pierwszego od powierzchni poziomu wodonośnego należy wiązać z ingresją wód morskich, natomiast podwyższone zawartości chlorków w poziomie mioceńskim to niewątpliwie dopływ zmineralizowanych wód z podłoża mezozoicznego (Krawiec, 2013).

DYSKUSJA

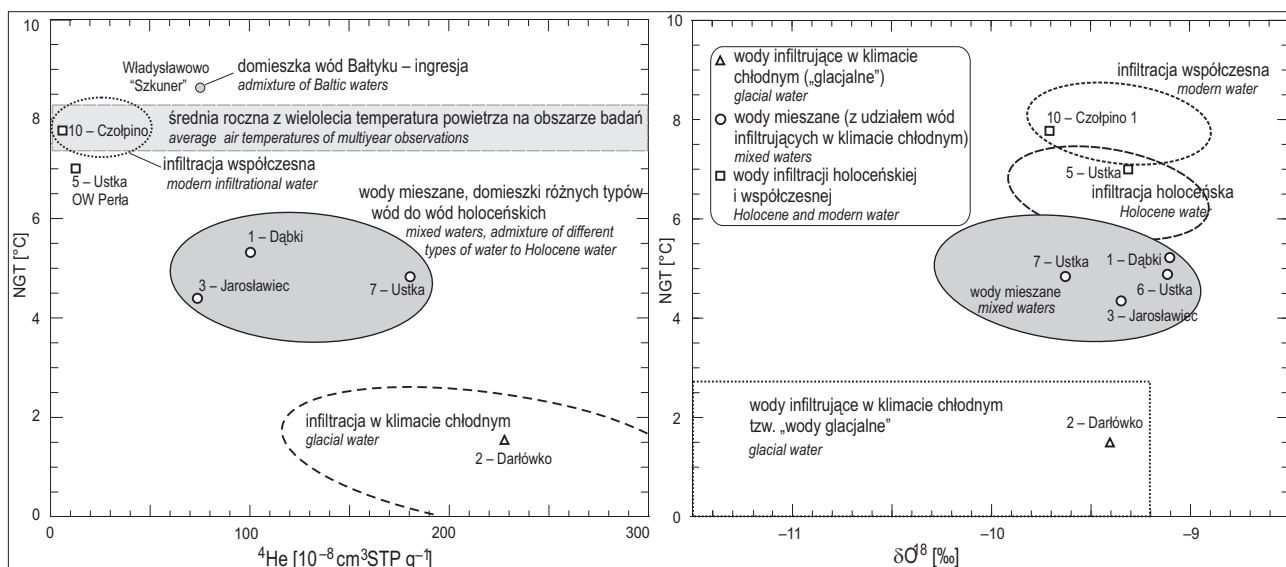
Uzyskane wyniki oznaczeń chemicznych, składu izotopowego oraz stężenia gazów szlachetnych przedstawiono w tabeli 1 i na rycinie 3. W poziomie mioceńskim w rejonie Dąbek, podobnie jak w Dąbkowicach i Darłówku (ryc. 2), są notowane podwyższone do ok. 200 mg/dm³ stężenia jonu chlorkowego. Mineralizacja wód na przestrzeni ostatnich 30 lat podlegała tu nieznacznym wahaniom. Na podstawie przeprowadzonych badań izotopowych i oznaczeń nadmiaru helu można stwierdzić, że są to wody holocenijskie (bez trytu) z domieszką wody starszej (próbka nr 1 – tab. 1). W poziomie czwartorzędowym, na terenie Dąbek, także notowane były podwyższone do ok. 200 mg/dm³ stężenia chlorków.

W Darłówku, w studni zafiltrowanej w warstwie kredy górnej, na zlikwidowanym ujęciu Przedsiębiorstwa Połowów „Kuter”, stężenie jonu Cl⁻ wynosiło ok. 200–230 mg/dm³, natomiast w wodach poziomu mioceńskiego stężenie chlorków wynosi obecnie 226 mg/dm³ (próbka nr 2 – tab. 1). W przeszłości, w nieczynnych już studniach jednostki wojskowej w Darłówku, stężenie jonu Cl⁻ osiągało nawet 500 mg/dm³. Przyczyną takiego stanu była prawdopodobnie wzmożona eksploatacja poziomu mioceńskiego, powodująca dopływ wód słonawych z podłoża. Badania izotopowe oraz oznaczenia gazów szlachetnych wskazują na ascenzyjny dopływ starszych wód z podłoża mezozoicznego (⁴He_{exc} = 2,29). W próbce tej zaznacza się także znaczny udział wody infiltrującej w klimacie chłodnym (oznaczenia NGT).

W próbce wody z warstw kredy w Jarosławcu (próbka nr 3 – tab. 1) zaznacza się udział wody infiltrującej w kli-



Ryc. 2. Przekroje hydrogeologiczne w rejonie badań: **A** – rejon Uszka–Rowy (Krawiec, 2013), **B** – rejon Dąbkowice–Darłowo (Ziółkowski, 2000, z uzupełnieniami autora)
Fig. 2. Hydrogeological cross-section: **A** – in the vicinity of Uszka–Rowy area (Krawiec, 2013), **B** – in the vicinity of Dąbkowice–Darłowo area (Ziółkowski, 2000, modified by author)



Ryc. 3. Współzależność oznaczeń ${}^4\text{He}_{\text{exc}}$ -NGT oraz NGT- $\delta^{18}\text{O}$ dla badanych wód (numery próbek zgodnie z tabelą 1)
 Fig. 3. ${}^4\text{He}_{\text{exc}}$ -NGT and NGT- $\delta^{18}\text{O}$ relationship of the investigated waters (numbers of samples in accordance with the table 1)

macie chłodnym, o czym świadczy wartość NGT równa $4,3^\circ\text{C}$. Możliwy jest także udział wody starszej o wyższej mineralizacji, na co wskazują wartości ${}^4\text{He}_{\text{exc}}$. W Wicku Morskim w wodach poziomu mioceńskiego odnotowano podwyższone do ok. 500 mg/dm^3 stężenie chlorków. Skład izotopowy wód (próbka nr 4 – tab. 1) oraz oznaczenia radiowęglu wskazują na infiltrację wód z powierzchni terenu w początkowej fazie holocenu (wiek ${}^{14}\text{C}$ = ok. 11,2 tys. lat). Skład izotopowy wyklucza możliwość ingresji wód morskich, a zasolenie jest związane z dopływem wód zmineralizowanych z podłoża kenozoiku.

W poziomie wodonośnym kredy w Ustce stężenia chlorków wynoszą ok. $420\text{--}670\text{ mg/dm}^3$ (próbka nr 7 – tab. 1), czego przyczyną jest ascenzja wód zmineralizowanych z głębszego podłoża. W poziomie mioceńskim oraz w poziomach plejstoceniowych na terenie Ustki występują wody słodkie. Wyniki oznaczeń gazów szlachetnych z poziomu mioceńskiego (próbka nr 6) wskazują, że są to wody infiltrujące w holocenie, ze znacznym udziałem wody pochodzącej z klimatu chłodniejszego niż obecnie (NGT = $4,8^\circ\text{C}$). Próbkę wody z czwartorzędowych poziomów podglinowych reprezentują typowe wody holoceniowe, bez trytu, w których $\delta^{18}\text{O}$ wynosi ok. $-9,3\text{‰}$, a $\delta^2\text{H}$ jest równe $-63,0\text{‰}$, natomiast NGT wynosi $7,0^\circ\text{C}$ (próbka nr 5 – tab. 1). Jedynie w płytkim poziomie czwartorzędowym w rejonie ujścia Słupi notowano podwyższone stężenia chlorków, związane z ingresją wód morskich (Pruszkowska, 1996; Pruszkowska-Caceres, 2011). W rejonie Ustki możliwa jest ascenzja wód z piętrowego kredowego do użytkowych plejstoceniowych poziomów wodonośnych wzdłuż stref nieciągłości tektonicznych lub przez strefy bezpośredniego kontaktu utworów kredowych z osadami mioceńskimi czy czwartorzędowymi.

Pomiędzy Ustką a Rowami są eksploatowane wody z poziomu czwartorzędowego oraz mioceńsko-oligoceniowego (Dębina-Rowy). Wody podziemne w warstwach kredy przebadano w Machowinku, gdzie stwierdzono stężenia chlorków sięgające 1000 mg/dm^3 . Na większości tego obszaru, w poziomie czwartorzędowym oraz mioceńsko-oligoceniowym, występują wody o niskiej mineralizacji i stężeniu Cl^- poniżej 50 mg/dm^3 . Problem z zasoleniem

wód wystąpił w Rowach, gdzie w latach 90. ub. w. w warstwach mioceńskich i oligoceniowych notowano podwyższone stężenia jonu chlorkowego do ponad 500 mg/dm^3 i z tego powodu większość studzien zlikwidowano. Także w poziomie wodonośnym w utworach czwartorzędowych, występującym pod warstwą glin zwałowych na głębokości $30\text{--}50\text{ m}$, stężenia jonu Cl^- przekraczały wartości dopuszczalne dla wód pitnych i wynosiły $270\text{--}380\text{ mg/dm}^3$. Dobra izolacja poziomu wodonośnego warstwą glin zwałowych oraz rzędne zwierciadła wody wykluczają raczej możliwość ingresji wód morskich zarówno do międzymorenowego poziomu wodonośnego, jak i poziomów w osadach starszego kenozoiku. Hipotezę tę potwierdza także całkowity brak lub niewielkie stężenia trytu w warstwach wodonośnych (Pruszkowska, 1996). Podwyższone stężenia jonu Cl^- były spowodowane ascenzyjnym dopływem wód z utworów kredy, który nasilił się w latach 80. ub. w. w wyniku intensywnej eksploatacji międzymorenowego poziomu wodonośnego oraz warstwy mioceńskiej. Pruszkowska (1996) zwraca także uwagę na możliwość przetrwania na tym obszarze (Rowy, Dębina, Objazda) tzw. wód „młodorelikto-wych”, co jest raczej mało prawdopodobne z uwagi na wymianę wody w systemie wodonośnym dodatkowo wymuszoną w latach 80. i 90. XX w. przez intensywną eksploatację. Wyniki badań izotopowych przeprowadzone w 2004 r. w miejscowości Objazda jednoznacznie wskazują, że jest tam eksploatowana woda holoceniowa z niewielką zawartością trytu.

W Rowach analiza próbki wody z płytkiego czwartorzędowego poziomu wodonośnego (próbka nr 9 – tab. 1), znajdującego się ok. 200 m od brzegu morza, wykazała, że jest to współczesna woda słodka ($46\text{ mgCl}^-/\text{dm}^3$) o niewielkiej zawartości trytu ($3,5\text{ TU}$). Na tym obszarze wpływ wód morskich na zasolenie użytkowych poziomów wodonośnych może mieć miejsce jedynie w rejonie doliny Łupawy i jeziora Gardno, gdzie zaznacza się oddziaływanie słonych wód Morza Bałtyckiego. Średnia zawartość jonu chlorkowego w jeziorze Gardno wynosi 551 mg/dm^3 , a wartości maksymalne określa się na 1512 mg/dm^3 (Cieśliński, 2010). W zlikwidowanej studni w Rowach, położonej pomiędzy jeziorem Gardno a Morzem Bałtyckim, w archi-

Tab. 1. Oznaczenia izotopowe oraz wyniki badań gazów szlachetnych z obszaru badań
Table 1. Isotope and noble gas data from the investigation area

Lp. ^A No. ^A	Miejsce poboru <i>Sampling site</i>	Stratygrafia/ głębokość <i>Stratigraphy/ depth</i> [m]	Data <i>Date</i>	Cl ⁻ [mg/dm ³]	Tryt (TU)	δ ¹⁸ O [‰] V-SMOW	δ ² H [‰] V-SMOW	δ ¹³ C [‰] V-PDB	¹⁴ C [pMC]	NGT [°C]	⁴ He _{exc} [10 ⁻⁶ cm ³ g ⁻¹]	„Wiek” wody “Age” water
1	Dąbki	M/95	2010	198	0,2 ± 0,4	-9,07	-62,1	-	-	5,2	1,00	H + pQ + G?
2	Darłówko	M/102	2010	226	0,2 ± 0,4	-9,40	-65,4	-	-	1,6	2,29	H + G + pQ
3	Jarosławiec 2	K/150	1997 ^B 2010	110 112	0,3 ± 0,5	-9,34 -9,35	-62,8 -63,0	-	-	4,3	0,74	H + G + pQ?
4	Wicko Morskie	M/97	1996	500	0,6 ± 0,5	-9,70	-67,0	-6,3	7,4	-	-	H + pQ
5	Ustka Perła	Q/49	1997 ^B 2010	10 18	0,1 ± 0,5 0,1 ± 0,3	-9,32 -9,30	-63,4 -63,0	-	-	7,0	<LOD ^E	H
6	Ustka M	M/72	2010	32	0,0 ± 0,3	-9,11	-62,4	-	-	4,8	<LOD	H + G
7	Ustka K	K/155	2010	423	0,2 ± 0,3	-9,63	-68,0	-	-	4,8	1,81	H + G + pQ
8	Objazda	Q/72	2004 ^C	17	2,6 ± 0,4	-9,75	-66,0	-	-	-	-	H, M
9	Rowy P2	Q/11,7	2010	46	3,5 ± 0,5	-9,87	-70,1	-	-	-	-	M
10	Czołpino s.1	Q/27	2000 ^D 2000	21	27,8 ± 1,3	-9,50 -9,70	-66,0 -67,0	-15,5	77,3	7,8	0,0014	M

^A Lp. oznacza równocześnie numer próbki. Miejsca poboru próbek przedstawia rycina 1.

^B Fuszara (1998).

^C Staško i in. (2004).

^D Kwaternikiewicz i in. (2000).

^E <LOD – poniżej granicy wykrywalności.

Dokładność pomiaru: δ¹⁸O – ±0,05‰; δD – ±1‰; NGT – ±0,7°C; ⁴He_{exc} – ±10%.

„Wiek” wody, infiltracja: M – współczesna, H – holocena, G – w klimacie chłodnym, tzw. wody glacialne, pQ – wody stare o podwyższonej mineralizacji (infiltracja przedczwartorzędowa), ? – interpretacja niepewna.

^A No. is the number of samples. Place of sampling are presented in Figure 1.

^B Fuszara (1998).

^C Staško et al. (2004).

^D Kwaternikiewicz et al. (2000).

^E <LOD – below the detection limit.

Measurement accuracy: δ¹⁸O – ±0.05‰; δD – ±1‰; NGT (noble gas temperature) – ±0.7°C; ⁴He_{exc} – ±10%.

“Age” classification: M – modern, H – Holocene, G – glacial, pQ – pre-Quaternary saline waters, ? – means doubtful interpretation.

walnych analizach chemicznych odnotowano stężenia jonu chlorkowego przekraczające 1000 mg/dm³, co, jak podaje Pruszkowska (1996), może mieć związek z ingresją wód morskich. Brak szczegółowych badań jednak nie pozwala jednoznacznie rozstrzygnąć tej kwestii. Dobra izolacja poziomu wodonośnego od powierzchni terenu warstwą glin o miąższości ok. 30 m również ogranicza możliwość dopływu wód morskich (ryc. 2).

WNIOSKI

Na omawianym obszarze wybrzeża Bałtyku stwierdzono powszechne występowanie anomalii chlorkowych. Przyczyną większości z nich jest ascenzja wód zmineralizowanych z podłoża mezozoicznego. Ingresje wód morskich mają ograniczony zasięg i obecnie są sporadycznie notowane, głównie w pierwszym poziomie wodonośnym, na obszarach mierzei (Mielno, Dąbkowice).

Na zmiany chemizmu wody znacząco wpłynęła działalność ludzka przez nadmierną eksploatację warstw wodonośnych, głównie w latach 70. i 80. XX w. Proces wnikania wód słonych do użytkowych warstw wodonośnych miał wówczas największe nasilenie. Obecnie uległ on zahamowaniu, co jest wynikiem znacznego zmniejszenia poboru wód na ujęciach. Zaniechano eksploatacji ujęć wód, gdzie stale notowano podwyższone stężenia jonu Cl⁻, a nowe ujęcia wody są położone w znacznej odległości od obszarów zagrożonych ingresją lub ascenzją wód słonych i solanek. W rejonie Mielna czy Unieścia całkowicie zlikwidowano pobór wód, a wodę słodką doprowadza się

z ujęć odległych o kilkanaście kilometrów od brzegu morza. Obecnie obserwuje się tu powolne wysładzanie zdegradowanych przez wody słone warstw wodonośnych (Krawiec, 2013).

Ważnym zagadnieniem w strefie brzegowej morza jest racjonalny pobór wód podziemnych. Kontrola wielkości poboru i jakości wód słodkich oraz bezpiecznie oszacowane zasoby eksploatacyjne dla poszczególnych obszarów wodnogospodarczych zapobiegną degradacji zasobów wód podziemnych przez zasolenie.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że w osadach kenozoicznych występują głównie wody młode – współczesne oraz nieco starsze, pochodzące z końca holocenu. W podłożu mezozoicznym plejstocenu znajdują się zazwyczaj wody zmineralizowane. Na podstawie oznaczeń gazów szlachetnych wykazano także obecność wód infiltrujących w klimacie chłodnym pod koniec plejstocenu.

Autor dziękuje recenzentom za konstruktywne uwagi.

Praca była współfinansowana ze środków na naukę w latach 2009–2011 – projekt badawczy nr N525 461336 oraz badań statutowych Katedry Geologii i Hydrogeologii UMK.

LITERATURA

- BURZYŃSKI K. 1997 – Modelowanie równowagi wód słonych i słodkich w obszarach mierzei polskiego wybrzeża. Zesz. Nauk. Politech. Gdań. Bud. Wodne, 43: 1–92.
 BURZYŃSKI K. & SADURSKI A. 1990 – The groundwater exchange rate of the southern Baltic coastal lowland. J. Hydrol., 119: 293–306.

- BURZYŃSKI K. & SADURSKI A. 1995 – Zagadnienie eksploatacji ujęć w strefie brzegowej morza. [W:] Współczesne Problemy Hydrogeologii, T. 7, Cz. 1. Wyd. AGH, Kraków: 69–77.
- BURZYŃSKI K., KOZERSKI B. & SADURSKI A. 1999 – Procesy ingresji i ascencji wód na polskim wybrzeżu bałtyckim. Biul. Państw. Inst. Geol., 388: 35–48.
- CIEŚLIŃSKI R. 2010 – Zróżnicowanie typologiczne i funkcjonalne jezior w polskiej strefie brzegowej południowego Bałtyku. Problemy Ekologii Krajobrazu, T. XXVI: 135–144.
- DOWGIAŁŁO J. & FRONCZEK E. 1990 – An attempt at the interpretation of new data on the Hel Spit hydrogeology (Poland). [W:] Proceed. of 11th Salt Water Intrusion Meeting. Gdańsk: 5–14.
- FUSZARA P. 1998 – Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000. Arkusz Łącko (8) i arkusz Ustka (9). Oddział Pomorski PIG. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- KLECZKOWSKI A.S. & NGUYEN-MANH-HA. 1977 – The effect of the Baltic water on the chemical composition of groundwater. Bulletin de l'Academie Polonaise des Sciences, 25 (1): 31–38.
- KOZERSKI B. 1981 – Salt water intrusions in to coastal aquifers of Gdańsk region. [W:] Proc. 7th Salt Water Intrusion Meeting, Uppsala: 83–89.
- KOZERSKI B. 1988 – Warunki występowania i eksploatacja wód podziemnych w gdańskim systemie wodonośnym. [W:] Aktualne Problemy Hydrogeologii, T. IV, Cz. I, Gdańsk: 1–20.
- KOZERSKI B. & KWATERKIEWICZ A. 1984 – Strefowość zasolenia wód podziemnych a ich dynamika na obszarze Delt Wisły. Arch. Hydrotech., 31 (3): 231–255.
- KOZERSKI B. & PRUSZKOWSKA M. 1996 – O pochodzeniu zasolenia wód podziemnych polskiego wybrzeża Bałtyku. Inżynieria Morska i Geotechnika, 1: 46–48.
- KOZERSKI B. & KWATERKIEWICZ A. 1997 – O zmianach zasolenia wód podziemnych czwartorzędu Gdańska. [W:] Współczesne Problemy Hydrogeologii, T. 8, WIND, Wrocław, s. 345–347.
- KOZERSKI B., KWATERKIEWICZ A. & SADURSKI A. 1992 – Zagrożenia wód podziemnych strefy brzegowej morza w rejonie Gdańska. [W:] W służbie polskiej hydrogeologii. Wyd. AGH, Kraków: 117–131.
- KOZERSKI B., JAWORSKA-SZULC B., PRUSZKOWSKA M. & PRZEWŁÓCKA M. 2005 – Wylądowanie się wód podziemnych w piętrze czwartorzędowym Gdańska jako rezultat zmniejszonego poboru. [W:] Współczesne Problemy Hydrogeologii, T. XII. Wyd. UMK Toruń: 371–375.
- KRAWIEC A. 2013 – Pochodzenie anomalii chlorkowych w wodach podziemnych polskiego wybrzeża Bałtyku. Wyd. UMK Toruń: 1–143.
- KRAWIEC A., RÜBEL A., SADURSKI A., WEISE S.M. & ZUBER A. 2000 – Preliminary hydrochemical, isotope, and noble gas investigations on the origin of salinity in coastal aquifers of Western Pomerania, Poland. Wyd. UMK Toruń: 87–93.
- KWATERKIEWICZ A., SADURSKI A. & ZUBER A. 2000 – Origin of salinity in coastal aquifers of Łeba region as indicated by environmental isotopes. UMK Toruń: 169–174.
- PIETRUCIEN C. 1983 – Regionalne zróżnicowanie warunków dynamicznych i hydrochemicznych wód podziemnych w strefie brzegowej południowego i wschodniego Bałtyku. Wyd. UMK Toruń, s. 278.
- PRUSZKOWSKA M. 1996 – Występowanie i wykorzystanie wód podziemnych w rejonie Ustka–Rowy. Inżynieria Morska i Geotechnika, 6: 390–393.
- PRUSZKOWSKA-CACERES M. 2011 – Wpływ wezbrań sztormowych morza na skład chemiczny płytkich wód podziemnych w rejonach nadmorskich na przykładzie Ustki. Biul. Państw. Inst. Geol., 445: 505–512.
- PUSZ J., LASA J. & ŚLIWKA I. 2007 – Metoda chromatografii gazowej w pomiarach stężenia helu w wodach podziemnych. [W:] Współczesne Problemy Hydrogeologii, T. 13. Wyd. AGH, Kraków: 303–311.
- SADURSKI A. & KRAWIEC A. 1998 – Zagrożenie zasobów wód podziemnych w nadmorskich obszarach zurbanizowanych Bałtyku Południowego. [W:] Hydrogeologia obszarów zurbanizowanych i uprzemysłowionych. Wyd. UŚL., Katowice: 176–184.
- STAŠKO S., KOŠLACZ R., SZLUFIK A. & TOMASZEWSKI B. 2004 – Dokumentacja zlewni rzeki Łupawy. Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych z utworów czwartorzędowych i trzeciorzędowych zlewni Łupawy. Integrated Management Services. Wrocław (niepublikowane). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- ZIÓŁKOWSKI M. 2000 – Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000. Arkusz Darłowo (18). Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu „PROXIMA”SA. Oddział w Poznaniu. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- ZUBER A., CIĘŻKOWSKI W. & RÓŻAŃSKI K. (red.) 2007 – Metody znacznikowe w badaniach hydrogeologicznych – poradnik metodyczny. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- ZUBER A., SADURSKI A., WEISE S.M., RUBEL A., OSENBRUCK K. & GRABCZAK J. 2001 – Badania izotopowe gazów szlachetnych kredy gdańskiej. [W:] Współczesne Problemy Hydrogeologii, T. 10, Wrocław: 115–123.
- ŽUREK A. & MOCHALSKI P. 2010 – Wykorzystanie metody chromatografii gazowej do oceny procesu denitryfikacji w wodach triasowego zbiornika wód podziemnych rejonu Opola. Geol. AGH, 56 (1): 135–148.