

SYSTEMY KRAŻENIA WÓD PODZIEMNYCH W REJONIE ZALEWU KAMIEŃSKIEGO, POMORZE ZACHODNIE

GROUNDWATER CIRCULATION SYSTEMS IN THE AREA OF THE KAMIEŃSKI LAGOON, WESTERN POMERANIA

ARKADIUSZ KRAWIEC¹, ANDRZEJ SADURSKI^{1,2}, KAZIMIERZ BURZYŃSKI³

Abstrakt. Systemy krążenia wód podziemnych w rejonie Zalewu Kamieńskiego zależą od budowy geologicznej, ukształtowania terenu a także ascenzji solanek i ingresji wód morskich. Do obliczenia czasu przepływu wody w rozpatrywanych warstwach w ośrodku o znanej porowatości aktywnej posłużono się programem TFS opracowanym przez K. Burzyńskiego. Model przepływu wód podziemnych opracowano dla przekroju hydrogeologicznego wzdłuż linii Międzywodzie–Kamień Pomorski–Golczewo. Czasy przepływu i wymiany wód podziemnych obliczono dla dwóch przypadków, pierwszy dla okresu przed transgresją lityrynową (7500 lat temu) oraz drugi – dla współczesnych warunków przepływu wód podziemnych. Czas wymiany wód podziemnych w rejonie Zalewu Kamieńskiego jest obecnie prawie dwa razy dłuższy niż przed tą transgresją.

Słowa kluczowe: modelowanie przepływu wód podziemnych, poziomy wodonośne, izotopy środowiskowe, wiek wody, pochodzenie zasolenia.

Abstract. The study area is located in the north-western part of the Pomeranian sector of the Mid-Polish Anticlinorium. Factors influencing groundwater circulation systems in the area of the Kamieński Lagoon depend on the geological structure, ascension of brines from Mesozoic strata and the sea water encroachment. The calculation of groundwater flow time along the stream line was carried out for rocks of specified active porosity using a mathematical program developed by K. Burzyński. The groundwater flow model was used for a hydrogeological cross-section line along: Międzywodzie–Kamień Pomorski–Golczewo in the south. The numerical calculations of the flow path from the recharge area to the discharge base level of the present Baltic Sea and the base level in the beginning of the Littorina Sea (7500 years BP) were done to define the groundwater flow time. It has been stated that the current flow time in the fresh groundwater circulation system in the area of the Kamieński Lagoon is nearly twice longer than it was 7500 years ago.

Key words: groundwater flow modelling, coastal aquifers, environmental isotopes, water age, origin of salinity.

WSTĘP

Rozpatrywany obszar jest położony w regionie Pobrzeża Szczecińskiego i należy do północnej części antyklinorium pomorskiego (fig. 1). Na analizowanym terenie, pod osadami fluwioglacjalnymi o małej miąższości, występują warstwy mezozoiku (jura), w których stwierdzono wody słodkie oraz lokalnie słonawe i słone o długim czasie przebywania

¹ Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Wydział Nauk o Ziemi, ul. Gagarina 9, 87-100 Toruń; e-mail: arkadiusz.krawiec@umk.pl, andrzej.sadurski@umk.pl

² Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-950 Warszawa

³ Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, ul. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk; e-mail: kazimierz.burzynski@wilis.pg.gda.pl

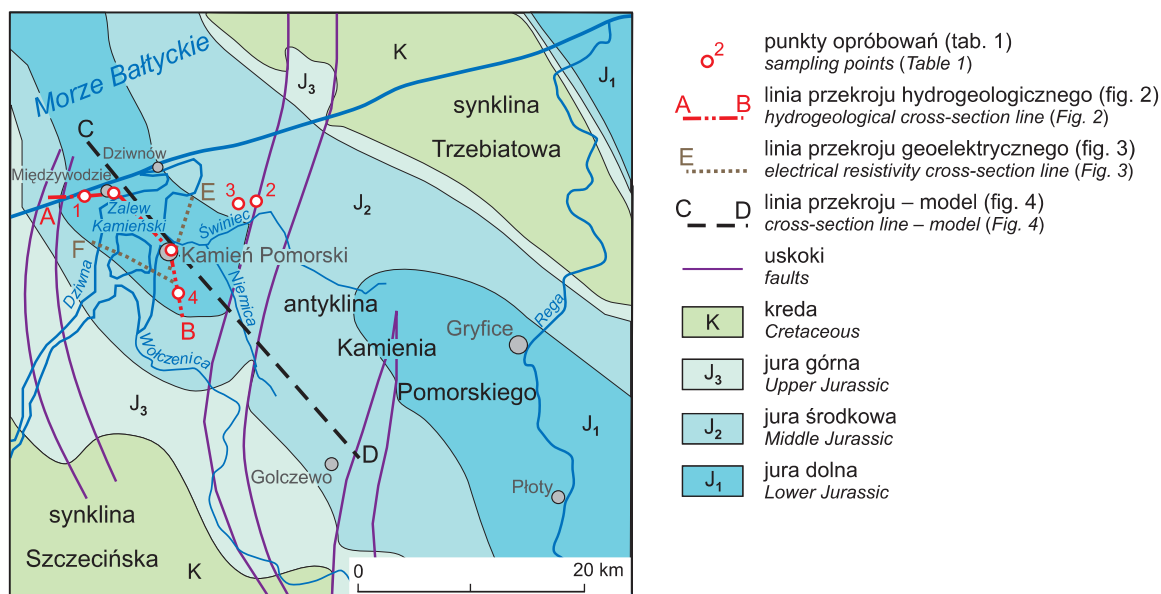


Fig. 1. Lokalizacja przekrojów na tle mapy geologicznej Polski bez utworów kenozoiku (wg Dadlez i in., 2000)

Location of cross-sections on the background of the geological map of Poland without Cenozoic deposits
 (after Dadlez *et al.*, 2000)

w ośrodku skalnym. Jednymi z głównych kwestii badawczych były określenie genezy tych wód i przyczyn ich zasolenia oraz obliczenie czasu przebywania wody w ośrodku skalnym. Genezą wód zmineralizowanych na tym obszarze zajmowali się m.in. Kolago (1964), Dowgiałło (1965, 1971), Zuber i Grabczak (1991) oraz Krawiec i in. (2000). Przepływy wód podziemnych polskiego zachodniego wybrzeża Bałtyku były przedmiotem analiz wykonanych dla celów bilansu zasobów oraz ocen zagrożenia ingresją wód morskich, m.in. w pracach Burzyńskiego i in. (1999), Krawca i in. (2000), Gurwina i Krawca (2010).

Wody słone typu Cl–Na są wykorzystywane w Kamieniu Pomorskim do celów leczniczych. Występujące w tej części

wybrzeża wody słone i słonawe mogą być różnego pochodzenia. Na podstawie badań elektrooporowych wskazano główne strefy ascenzji i ingresji wód o podwyższonej mineralizacji. Model przepływu wód podziemnych opracowano dla przekroju hydrogeologicznego wzdłuż południkowej linii Międzywodzie–Kamień Pomorski–Golczewo. Czasy przepływu i wymiany wód podziemnych obliczono dla dwóch przypadków, pierwszy dla okresu przed transgresją lityrnową (ponad 7500 lat temu), gdy poziom wody Bałtyku był o ok. 28 m niższy od obecnego (Uściniowicz, 2003, 2006), oraz drugi dla współczesnych warunków przepływu wód podziemnych.

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ I WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

W rejonie Kamienia Pomorskiego na powierzchni terenu dominują gliny zwałowe oraz piaski i żwiry zlodowacenia wisły. W obrębie dolin Świńca, Niemicy, Grzybnicy, jak również przy brzegach Zalewu Kamieńskiego powszechnie występują holocenijskie utwory fluwialne (piaski i mułki) oraz torfy i namuły torfiaste o miąższości do kilku metrów. W strefie nadbrzeżnej znajdują się piaski eoliczne i rzeczno-morskie. Osady plejstocenu to zazwyczaj dwie warstwy glin zwałowych rozdzielone kilkumetrową serią piasków różnoziarnistych ze żwirem. Na analizowanym obszarze utwory neogenu i paleogenu nie występują. Pod pokrywą czwartorzędową zalegają skały jury dolnej i środkowej oraz jury górnej w antyklinie Kamienia Pomorskiego (fig. 1). Na zewnątrz

od tej strefy, w obrębie niecki szczecińskiej oraz synkliny Trzebiatowa, znajdują się utwory kredy.

Poziomy wodonośne w rejonie Kamienia Pomorskiego zostały rozpoznane w piętrach triasu, jury i czwartorzędu. W profilu pionowym występują serie warstw wodonośnych o dużej wodoprzepuszczalności należące do osadów fluwio-glacialnych oraz piasków i piaszczowców jurajskich. Iłowce i mułowce w osadach jury dolnej i triasu utrudniają przepływ wód i pełnią na dużych obszarach rolę warstw izolujących. Gliny zwałowe spowalniają obieg wód w osadach czwartorzędu.

W warstwach triasu stwierdzono wody typu Cl–Na, J o mineralizacji 93 g/dm³ (Kamień Pomorski IG 1 w Między-

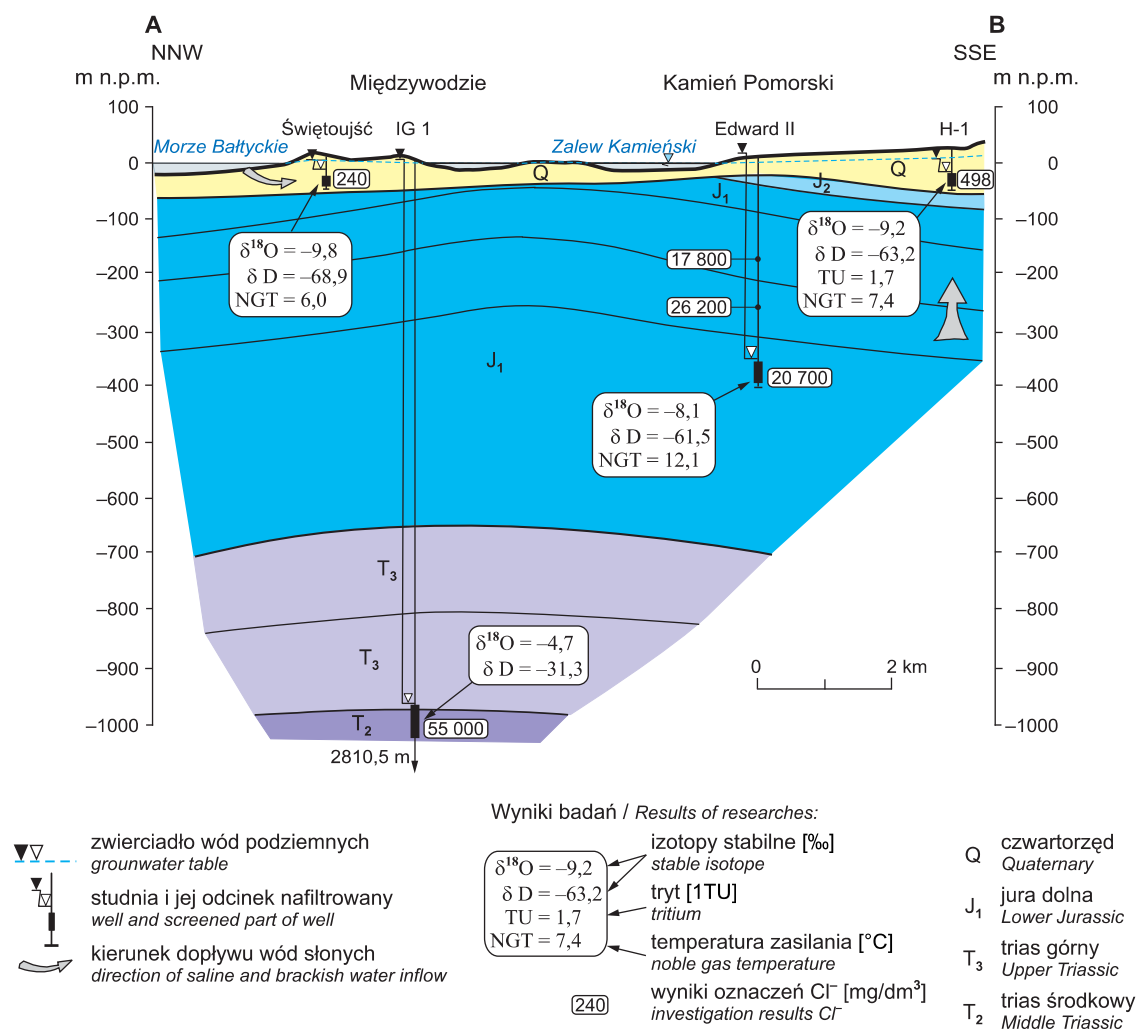


Fig. 2. Przekrój hydrogeologiczny w rejonie Kamienia Pomorskiego

Hydrogeological cross-sections in the vicinity of Kamień Pomorski

wodziu). W obrębie utworów jury dolnej mineralizacja wód waha się od kilku do ponad 70 g/dm³. Otwory „Józef” w Dziwnówku i „Edward III” w Kamieniu Pomorskim ujmują wody lecznicze typu Cl-Na z utworów jury dolnej. Podobna sytuacja jak w utworach jury dolnej występuje w warstwach wodonośnych w osadach jury środkowej. Znajdują się tu głównie wody zmineralizowane (fig. 2).

Największe rozprzestrzenienie i znaczenie gospodarcze ma warstwa wodonośna występująca w piaskach międzymorenowych zlodowacenia wisły. Czynnikiem utrudniającym korzystanie z zasobów tej warstwy jest jej zasolenie, występujące np. w rejonie Kamienia Pomorskiego, Dziwnowa czy Międzywodzia. Stwierdzone lokalnie zasolenie wód w warstwach plejstocenu pochodzi najczęściej z ascenzy solanek lub może wiązać się z ingresją wód morskich wzdłuż brzegów morskich i kanałów. Liczne dyslokacje wpływają na systemy krążenia wód podziemnych i często są przyczyną łączenia się różnych poziomów wodonośnych.

Zasilanie warstw wodonośnych odbywa się na wysoczyznach morenowych. Za strefę zasilania warstw wodonośnych

dla Pobrzeża Zachodniego powszechnie jest przyjmowany obszar źródłowy rzek Przyszorza na linii Golczewo–Nowogard–Płoty–Świdwin–Szczecinek. Jest to obszar najwyższych wzniesień morenowych, których rzędne często przekraczają 100 m n.p.m. Z uwagi na znaczne deniwelacje terenu wymiana wód podziemnych zachodzi do dużej głębokości – ok. 500–800 m (Krawiec, Śmietański, 2007). Podobne dane świadczące o głębokim obiegu wód w regionalnych systemach polskiego wybrzeża Bałtyku podaje także Sadurski (1989).

W obszarze nadmorskim wymiana wód sięga najczęściej kilkudziesięciu metrów (Sadurski, 1989; Krawiec i in., 2000). Strefami drenażu wód podziemnych są doliny rzek (Dziwna, Wólcznica, Niemica i Świniec) oraz pas nizin nadmorskich i Zalewu Kamieńskiego. Na figurze 3 przedstawiono wyniki badań elektrooporowych przeprowadzonych w bezpośrednim sąsiedztwie Zalewu Kamieńskiego. Na przekrojach wyraźnie zaznaczają się wpływ ascendujących słonych wód z podłoża (przekrój E) oraz ingresja słonawych wód Zalewu Kamieńskiego (przekrój F).

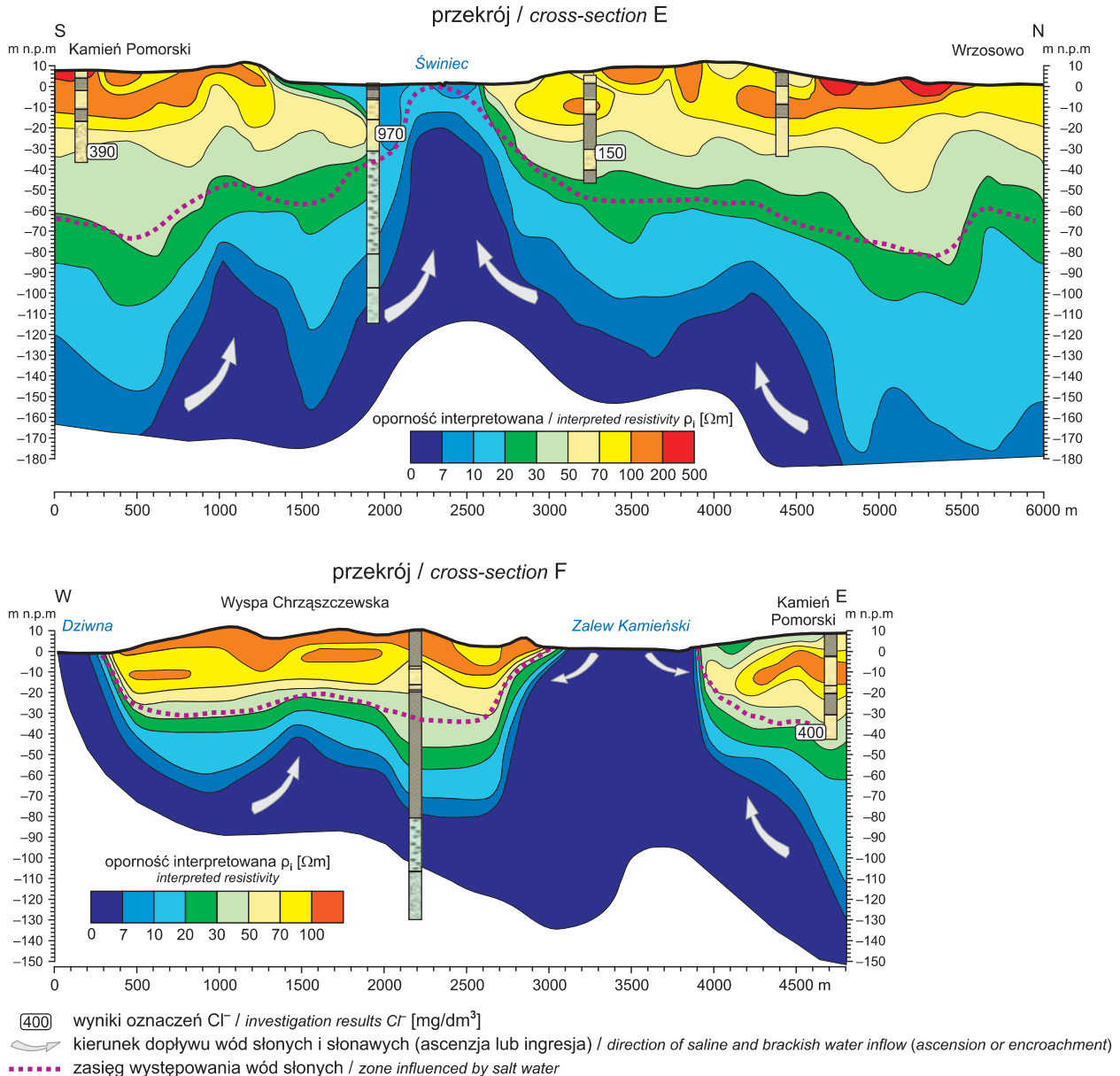


Fig. 3. Wyniki badań elektrooporowych

The results of the geoelectrical logging

OPIS MODELU NUMERYCZNEGO

Parametry hydrauliczne (współczynnik filtracji k i porowatość n_e) ośrodka skalnego przyjęto według wyników próbnych pompowań, obserwacji hydrologicznych i kalibracji modeli przepływu wód. Do oceny przepływu i czasu przebywania wody w ośrodku skalnym przyjęto uśrednione wartości porowatości aktywnej i współczynnika filtracji warstw czwartorzędu i jury. Warstwy iłów i iłowców o dużej miąższości należące do triasu stanowią barierę izolacyjną dla wód podziemnych (*aquicluds*). Dlatego w profilu pionowym przyjęto warstwę tych iłów jako dolną granicę modelu. Krążenie wód podziemnych modelowano w osadach kenozoiku i jury. Uśredniony współczynnik filtracji dla warstw

czwartorzędu oszacowano na 0,1 m/h, a współczynnik porowatości na 0,12. Dla osadów jury uśredniony współczynnik filtracji wynosi $k = 0,00036$ m/h, a współczynnik odsączalności $n_e = 0,1$.

Istotnym zagadnieniem w analizie genezy wód słonych na wybrzeżu może być określenie czasu przebywania jednostkowej objętości (cząstki) wody w systemie, tj. czasu liczonego od momentu jej wejścia do systemu wodonośnego aż do momentu jego opuszczenia. Tak zdefiniowany czas przepływu można oszacować wtedy, gdy znane jest pole prędkości płynącej wody w ośrodku skalnym. Analizę przepływu ustalonego w pionowym przekroju (x, z) warstwy

wodonośnej wykonano, posługując się modelem numerycznym rozwiązującym równanie [1]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x b \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z b \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) = W \quad [1]$$

gdzie:

k_x, k_z – składowe współczynnika filtracji, odpowiednio w kierunku osi x oraz z układu współrzędnych, [L/T];

b – jednostkowa szerokość przekroju rozpatrywanego systemu przepływu, [L];

$\Phi = z + p/\rho g$ – wysokość potencjału, [L];

W – funkcja źródła (zasilanie), [L³/T].

Powyższe równanie rozwiązano metodą elementów skończonych, według procedury opisanej przez Burzyńskiego

(1997). Znane pole prędkości umożliwia obliczanie czasu przepływu jednostkowych objętości wody w systemie krążenia. Układ równań rozwiązano metodą Rungego–Kutty IV rzędu z zadanym krokiem czasowym Δt .

Program TFS umożliwia obliczanie trajektorii cząstki wody oraz czasu jej przepływu w zdefiniowanym wcześniej systemie wodonośnym. Jeśli przyjąć, że z każdą cząstką jest związany lokalny czas jej ruchu, to dla cząstki mającej współrzędne (x_o, z_o) , startującej np. ze swobodnej powierzchni w chwili t_o w obszarze zasilania i opuszczającej obszar przepływu po skończonym czasie t_k , różnica $(t_k - t_o)$ będzie czasem przepływu jednostkowej objętości wody wzdłuż jej obliczonej trajektorii.

DYSKUSJA WYNIKÓW

Na przekroju C–D (fig. 4) przedstawiono wyniki modelowania przepływu w przekroju poprowadzonym od wysoczyzny morenowej Pojezierza Zachodniopomorskiego (obszar

zasilania) w kierunku Zalewu Kamieńskiego i Morza Bałtyckiego (obszar drenażu). Czas przepływu obliczono dla wybranych trajektorii jednostkowych objętości wody i zesta-

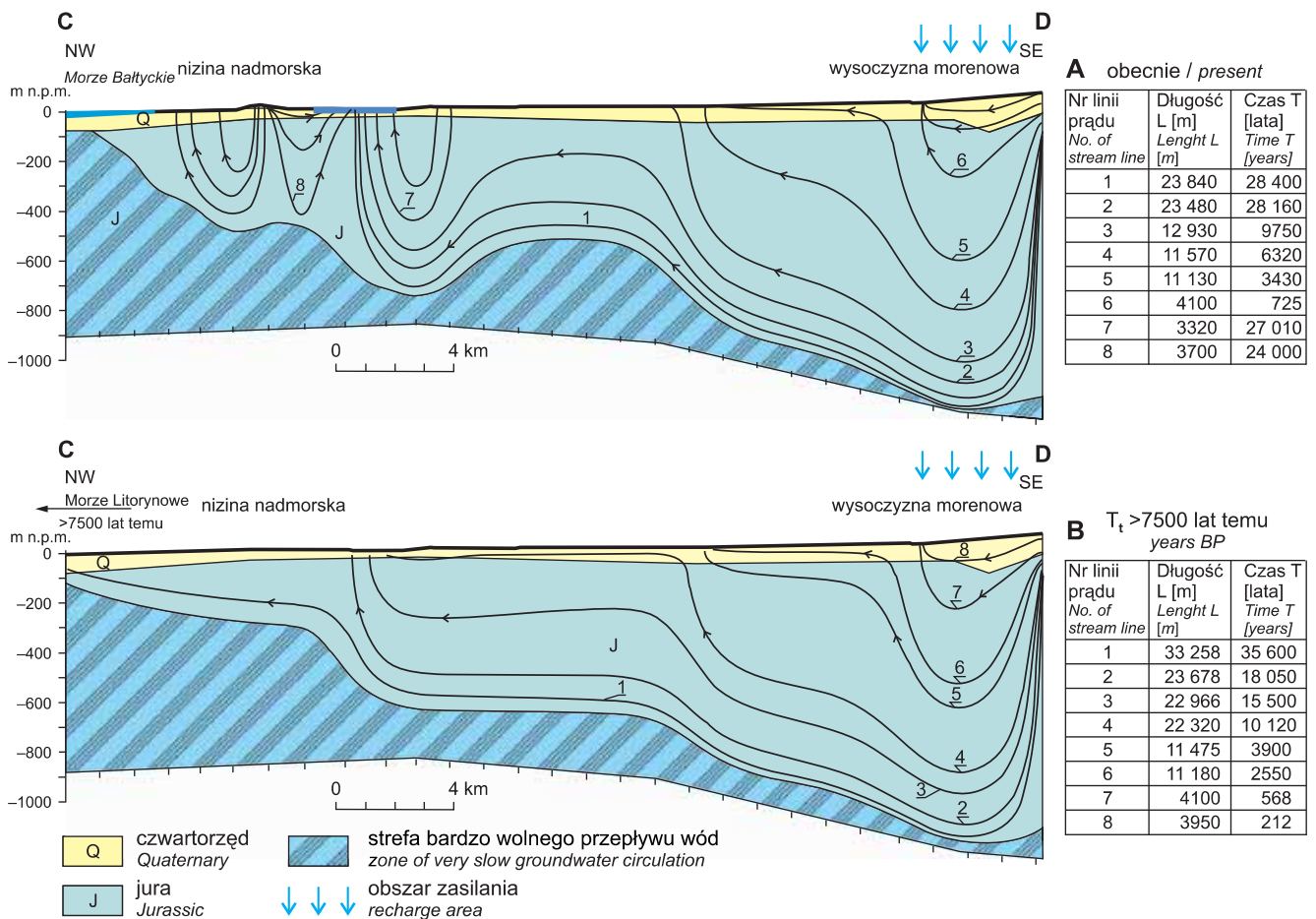


Fig 4. Linie przepływu cząstek wody na przekroju C–D obliczone dla stanu obecnego (A) oraz sprzed 7500 lat (B)

Flow path and vertical distribution of groundwater stream lines in the cross-section C–D, calculated for the present conditions (A) and for the conditions before 7500 yrs BP (B)

Tabela 1

Oznaczenia izotopowe oraz wyniki badań gazów szlachetnych (Krawiec i in., 2000) z rejonu Zalewu Kamińskiego
Isotope and noble gas data (Krawiec *et al.*, 2000) from the region of the Kamiński Lagoon

Nr	Nazwa ujęcia, stratygrafia/głębokość	Data poboru	Mineralizacja [mg/L]	Cl ⁻ [mg/L]	Tryt [T.U.]	δ ¹⁸ O [‰]	δD [‰]	NGT [°C]	⁴ He _{excess} 10 ⁻⁶ cm ³ g ⁻¹	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar	Uwagi, „wiek” wody
1	Świętujęć S-1 Q/30,5	1998 2008	360	40 240		-9,86 -9,83	-68,6 -68,9	6,0	1,10	296	współczesna, domieszka słonych wód
2	Strzeżewo S-11 Q / 15	2000 2004		920	12,8 ±0,5 8,5 ±0,5	-9,27 -9,43	-64,4 -65,0	7,9	2,54		współczesna, domieszka starszej zasolonej wody
3	Strzeżewo II/2 Q / 55	2000 2004	308	16,7 270	0,6 ±0,3 0,2 ±0,3	-9,33 -9,21	-64,7 -63,8	6,5	0,008		późny holocen, woda „młoda”
4	Jaroszewo H-1 Q / 48	1998 2004	1210 1200	498 430	1,7 ±0,3	-9,41 -9,16	-66 -63,2	7,4	2,19	295	holocen, domieszka starszej zasolonej wody

Dokładność pomiaru: δ¹⁸O – ±0,05–0,1‰, δD – ±1‰, NGT – ±0,7°C, ⁴He_{excess} – ±10 ‰, ⁴⁰Ar/³⁶Ar – ±0,001
Measuring accuracy: δ¹⁸O – ±0,05–0,1‰, δD – ±1‰, NGT – ±0,7°C, ⁴He_{excess} – ±10 ‰, ⁴⁰Ar/³⁶Ar – ±0,001

wiono w tabelach na figurze 4. Symulację czasu przepływu i wymiany wód podziemnych obliczono dla dwóch przypadków. Pierwszy z nich odpowiada obecnej sytuacji geologicznej, natomiast drugi – sytuacji sprzed 7500 lat (fig. 4B). Linia brzegowa południowego Bałtyku we wczesnym holocenie była przesunięta o kilkanaście kilometrów na północ od dzisiejszego wybrzeża. Współczesne położenie linii brzegowej Bałtyku notuje się od końca transgresji lityrynowej (Svensson, 1991; Lampe, 2005; Uścińowicz, 2006).

Poniżej linii nr 1 na przekroju znajduje się strefa wód praktycznie stagnujących. Strefa ta zawiera wodę słoną. W rejonie nizin nadmorskich pojawiają się ascendujące „starsze” wody o najdłuższym czasie przebywania w środowisku skalnym. Stan Bałtyku na początku transgresji lityrynowej został przyjęty na lewym brzegu modelu (rzędna –30 m n.p.m.). Wiązało się to z dłuższą drogą przepływu wód do regionalnej bazy drenażu. Z uwagi na większe gradienty hydrauliczne prędkości przepływu wody na porównywalnych liniach prądu były wówczas ponad dwa razy większe niż obecnie.

Wyniki obliczeń czasu przepływu wód otrzymane na modelu są zgodne z wynikami badań izotopów tlenu i wodoru z rejonu Kamienia Pomorskiego (Rasała, Krawiec, 2011).

Znaczne stężenie nadmiaru ⁴He odnotowano w próbkach nr 2 ze Strzeżewa oraz nr 4 z Jaroszewa (tab. 1), co oznacza możliwość dopływu wody o długim czasie przebywania z mezozoicznego podłoża. Woda o podwyższonej mineralizacji dopływa w wyniku ascenzji w dolinie Świńca, co potwierdzają wyniki badań elektrooporowych (fig. 3 – przekrój E).

Wzrost zasolenia wraz z czasem eksploatacji obserwuje się w wodach z ujęcia w Świętujęć. Po kilku godzinach pracy w wodzie z tego ujęcia znacząco wzrasta zawartość chlorków (od ok. 30 do ponad 500 mg/dm³). Wyniki oznaczeń izotopowych wskazują, że jest to woda współczesna z domieszką wody zasolonej. Zasolenie może pochodzić z ingresji wody morskiej, a także z dopływu wód słonych z podłoża.

Próbki wody pobrane do oznaczeń izotopowych pochodzą ze strefy lokalnych, przybrzeżnych systemów krążenia wody, na które dodatkowo nakłada się wpływ ascendujących zmineralizowanych wód o dłuższym czasie przebywania w ośrodku skalnym. Według obliczeń na przekroju (fig. 4A) średni czas obiegu wody w rejonie nizin nadmorskich wynosi od kilkunastu do ponad 3000 lat (linia 7 i 8 na przekroju A – fig. 4). Wartości te dobrze korespondują z uzyskanymi danymi izotopowymi.

WNIOSKI

Słonawe wody podziemne nizin nadmorskich w rejonie Zalewu Kamińskiego są mieszaniną wód zmineralizowanych ascendujących z warstw mezozoicznych i współczesnych wód infiltracyjnych. Proces wymiany wody w pasie nadmorskich nizin jest bardzo powolny wskutek niskich (i →0) spadków hydraulicznych.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że obecnie czas wymiany wód podziemnych w rejonie Zalewu Kamiń-

skiego jest prawie dwa razy dłuższy niż na początku holocenu (7500 lat temu). Spowolnienie przepływu i obniżenie gradientów hydraulicznych pod wpływem transgresji lityrynowej sprzyjały powstaniu strefy powolnej wymiany wód na rozpatrywanym obszarze i większego zagrożenia zasobów wód słodkich ascenzją solanek i ingresją wód morskich.

Praca była współfinansowana ze środków na naukę w latach 2009–2010 – projekt badawczy nr N525 461336.

LITERATURA

- BURZYŃSKI K., 1997 — Modelowanie równowagi wód słonych i słodkich w obszarach mierzei polskiego wybrzeża. *Zesz. Nauk. Politech. Gdań., Bud. Wodne*, **43**: 92.
- BURZYŃSKI K., KOZERSKI B., SADURSKI A., 1999 — Procesy ingresji i ascenzji wód na polskim wybrzeżu bałtyckim. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **388**: 35–48.
- DADLEZ R., MAREK S., POKORSKI J. (red.), 2000 — Mapa geologiczna Polski bez utworów kenozoiku, 1:1 000 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- DOWGIAŁŁO J., 1965 — Solanki Pomorza Zachodniego. Szczec. Tow. Nauk., Wydz. Nauk. Mat. Techn., 4, 2. Szczecin.
- DOWGIAŁŁO J., 1971 — Studium genezy wód zmineralizowanych w utworach mezozoicznych Polski północnej. *Biul. Geol. Wydz. Geol. UW*, **13**: 133–224.
- GURWIN J., KRAWIEC A., 2010 — Zagrożenia dla zasobów wód słodkich na wyspie Uznam w świetle badań modelowych i geofizycznych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **442**: 61–69.
- KOLAGO C., 1964 — Wody mineralne województwa szczecińskiego i perspektywy ich wykorzystania. *Prz. Zach.-Pom.*, **5**: 65–85.
- 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. 16th Salt Water Intrusion Meeting „Hydrogeology of the coastal aquifers”: 87–94. UMK, Toruń.
- KRAWIEC A., ŚMIETAŃSKI L., 2007 — System krążenia wód podziemnych na Pojezierzu Drawskim. Współczesne problemy hydrogeologii. T. 13, cz. 3: 687–695. WGGiOŚ AGH, Kraków.
- LAMPE R., 2005 — Lateglacial and Holocene water-level variations along the NE German Baltic Sea coast: review and new results. *Quat. Int.*, **133–134**: 121–136.
- RASAŁA M., KRAWIEC A., 2011 — Zmiany chemizmu i geneza wód leczniczych Kamienia Pomorskiego w świetle wieloletniej eksploatacji. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **445**: 561–572.
- SADURSKI A., 1989 — Górnokredowy system wód podziemnych Pomorza Wschodniego. *Zesz. Nauk. AGH, Geol.*, **46**: 1–137.
- SVENSSON N.-O., 1991 — Late Weichselian and early Holocene shore displacement in the central Baltic Sea. *Quat. Int.*, **9**: 7–26.
- UŚCINOWICZ S., 2003 — Relative sea-level changes, glacio-isostatic rebound and shoreline displacement in the Southern Baltic. *Pol. Geol. Inst. Spec. Pap.*, **10**: 1–80.
- UŚCINOWICZ S., 2006 — A relative sea-level curve for the Polish Southern Baltic Sea. *Quat. Int.*, **145–146**: 86–105.
- ZUBER A., GRABCZAK J., 1991 — O pochodzeniu solanek mezozoiku Polski centralnej i północnej. Współczesne problemy hydrogeologii. T. 5: 202–208. SGGW-AR, Warszawa.

SUMMARY

The study area is located in Northwest Poland, in the northern part of the Pomeranian Anticlinorium. The recharge area of the aquifers is a moraine plateau. The valleys of rivers and the coastal lowland are the drainage area. Mineralized waters occur in places in the near-surface Quaternary aquifer layer.

The origin of groundwater was examined by modelling the water flow systems along cross-sections, and according to the results of isotopic composition analyses as well as due to the noble gas assessment of water samples taken from the intakes. The hydraulic properties (hydraulic coefficient and porosity) of the rock medium were adopted according to the results of pumping tests, hydrogeological observations and calibration of water flow models. Mean values of these properties of the Quaternary and Jurassic strata were adopted in order to assess the flow and residence time of water in the aquifer. The thick Triassic clays and argillite layers constitute an aquiclude as an isolating barrier for groundwater flow. Therefore, these clay strata were considered as the lower boundary of the model in the vertical profile.

The numerical calculations of the flow path from the recharge area to the discharge basis level of the present Baltic

Sea and the Littorina Sea (7500 years BP) were performed to define the flow time of the groundwater unit. The boundary conditions implemented in the model correspond to the state of waters from the Littorina transgression. During the earlier phases of the Baltic evolution, the sea level was 50–60 m below the contemporary one (Uściniowicz *et al.*, 2003). For the level of the Baltic Sea before the Littorina transgression, the ordinate of –30 m a.s.l. was adopted for the model.

The time of water flow was computed alongside the flow line. The flow time differs much in the vertical profile according to the cross-section. The tables (Fig. 3) contain the flow times along the distance of filtration. The flow time was the longest below the line No. 1, along which a flow was distinguished, i.e. a zone of practically stagnant waters. This zone contains salty water.

Salty groundwaters in the western part of the Polish coast are a mixture of mineralized waters ascending from the deeper Mesozoic basement and contemporary infiltration waters. The water exchange process in the strip of the coastal lowlands is very sluggish.

