BIULETYN PAŃSTWOWEGO INSTYTUTU GEOLOGICZNEGO 456: 595–600, 2013 R.

ZMIANY HYDRODYNAMICZNE NA OBSZARZE DRENAŻU GDAŃSKIEGO SYSTEMU WODONOŚNEGO W ŚWIETLE NAJNOWSZYCH OBSERWACJI

HYDRODYNAMICS CHANGES IN THE DRAINAGE AREA OF GDAŃSK HYDROGEOLOGICAL SYSTEM ON THE BASIS OF RECENT RESEARCH

ANNA SZELEWICKA[1], ZBIGNIEW KORDALSKI[1]

Abstrakt. Wprowadzenie monitoringu wód podziemnych w centralnej części gdańskiego systemu wodonośnego w 2011 roku pozwoliło na uzupełnienie dotychczasowej wiedzy, dotyczącej dynamiki wód podziemnych, które występują na tym terenie. Przy obecnym stanie eksploatacji zaobserwowano utrzymywanie się nieznacznego leja depresji wokół największych ujęć komunalnych. W trakcie modernizacji ujęcia Zaspa w 2011 roku doszło do tymczasowych podtopień na jego zapleczu. Analiza dynamiki wód podziemnych na obszarze tarasu nadmorskiego pozwoliła na wyodrębnienie dwóch niezależnych strumieni wody podziemnej (warstwy górnej i dolnej).

Słowa kluczowe: gdański system wodonośny, zmiany hydrodynamiki.

Abstract. Implementation of groundwater monitoring in the central part of the Gdańsk hydrogeological system has made it possible to complement existing knowledge about the dynamics of groundwater in this area. A minor cone of depression around the largest intakes is observed at the present stage of groundwater exploitation. There was even a temporary flooding episode while rebuilding the Zaspa intake in 2011. Analysis of the dynamics of the groundwater in the Coastal Terrace has made it possible to distinguish two independent groundwater fluxes (upper and lower).

Key words: Gdańsk hydrogeological system, hydrodynamic changes.

WSTĘP

Tematyka zmian hydrodynamicznych na obszarze gdańskiego systemu wodonośnego i związanych z tym zmian w chemizmie wód podziemnych była już wielokrotnie opisywana przez badaczy (Kozerski, Kwaterkiewicz, 1997; Kozerski i in., 2005; Kozerski, 2007; Lidzbarski, Sadurski, 2013). W 2011 roku wprowadzono monitoring wód podziemnych dla Gdańska i Sopotu, co pozwoliło, w związku z uzupełnieniem sieci obserwacyjnej nowymi piezometrami, uzyskać wiele nowych informacji na temat dynamiki wód podziemnych na obszarze drenażu gdańskiego systemu wodonośnego, a w szczególności tarasu nadmorskiego, gdzie są położone najważniejsze ujęcia, zaopatrujące Gdańsk i Sopot w wodę.

[1] Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Geologii Morza, ul. Kościerska 5, 80-328 Gdańsk; e-mail: anna.szelewicka@pgi.gov.pl, zbigniew.kordalski@pgi.gov.pl

CHARAKTERYSTYKA ANALIZOWANEGO TERENU

Na kształtowanie się warunków hydrogeologicznych w rejonie Gdańska zasadniczy wpływ wywierają wodonośne osady czwartorzędu (plejstocenu i holocenu) oraz utwory miocenu, oligocenu–eocenu i kredy górnej, które stanowią podstawę gdańskiego systemu wodonośnego. Najpłycej występuje plejstoceńsko-holoceński poziom wodonośny, stanowiący główne źródło zaopatrzenia miasta w wodę pitną. Obejmuje on oprócz piaszczystych osadów holocenu piaski wodnolodowcowe stadiału górnego zlodowacenia wisły. Zasadniczy obszar zasilania tego systemu wodonośnego jest położony poza granicami Gdańska i Sopotu, na terenie Pojezierza Kaszubskiego. Obszar tranzytu wód najwyraźniej występuje w strefie krawędziowej Pojezierza Kaszubskiego, obejmującej zachodnie dzielnice Gdańska i Sopotu. Cechują go znaczne spadki zwierciadła wód podziemnych. Miejscami warunki hydrogeologiczne są bardzo skomplikowane i przeważają przepływy przez utwory słabo przepuszczalne i półprzepuszczalne. Na niektórych odcinkach granicy Pojezierza Kaszubskiego z tarasem nadmorskim i Żuławami Gdańskimi zachodzi bezpośredni kontakt między starszymi poziomami międzymorenowymi a plejstoceńsko-holoceńskim poziomem wodonośnym. Są to miejsca uprzywilejowanych przepływów lateralnych z obszaru Pojezierza Kaszubskiego w kierunku obniżeń nadmorskich Gdańska i Sopotu. Główne strefy drenażu wód są związane z Zatoką Gdańską oraz z obszarem Żuław Gdańskich i tarasu nadmorskiego.

ZMIANY I SPECYFIKA HYDRODYNAMIKI ANALIZOWANEGO TERENU

Dynamika wód podziemnych w ciągu ostatnich 100 lat ulegała na opisywanym obszarze znaczącym zmianom. Na naturalny rytm wahań zwierciadła wody związany z intensywnością opadów nakładały się wahania, wynikające ze zmian wielkości poboru wód na ujęciach komunalnych. Pobór ten był nierównomiernie rozłożony zarówno w przestrzeni, jak i w czasie, co wynikało ze sposobu zarządzania ujęciami przez eksploatatorów. W okresie poprzedzającym intensywną eksploatację wód podziemnych dominowały przepływy pionowe skierowane ku powierzchni terenu. W miejscach bezpośrednich kontaktów hydraulicznych między poziomami wodonośnymi przekraczały one nawet wartość efektywnej infiltracji opadów atmosferycznych. Z czasem, w rejonach największych ujęć komunalnych, naturalny kierunek drenażu wód został odwrócony wskutek zmienionych warunków hydrodynamicznych, wywołanych wieloletnią eksploatacją wód podziemnych.

Największy pobór wód podziemnych na obszarze Gdańska i Sopotu miał miejsce w drugiej połowie lat 80. ubiegłego wieku. Suma łącznej eksploatacji wód ze wszystkich poziomów wodonośnych prawdopodobnie sięgała wtedy 8 000 m^3/h. Była to wartość przekraczająca naturalne zasoby wód podziemnych. Wysokość i struktura tego poboru wywołała wiele niekorzystnych zjawisk w dynamice i chemizmie wód podziemnych. Na obszarze tarasu nadmorskiego i Żuław Gdańskich powstały rozległe leje depresji w czwartorzędowym i kredowym poziomie wodonośnym. Zasięg tych obniżeń wykraczał znacznie poza granice nizin nadmorskich i sięgał kilku kilometrów na zachód pod wysoczyzną Pojezierza Kaszubskiego. Powierzchnia zwierciadła wód podziemnych obniżyła się od kilku (w plejstoceńsko-holoceńskim poziomie wodonośnym) do kilkudziesięciu (w kredowym poziomie wodonośnym) metrów poniżej stanów pierwotnych. Nastąpiło odwrócenie naturalnych kierunków przepływu wód podziemnych.

Specyficzną cechą wód podziemnych w strefie brzegowej morza jest chwiejna równowaga hydrodynamiczna, która może zostać łatwo naruszona przez obniżanie zwierciadła wody. Nadmierna eksploatacja wód podziemnych w połowie lat 80. wywołała zjawisko ingresji wód słonych do warstw wodonośnych. W następstwie tego zjawiska oraz w wyniku uruchomienia w 1986 r. ujęcia wód powierzchniowych w Straszynie, ograniczono pobór wód, najbardziej na ujęciach Zaspa, Czarny Dwór i Grodza Kamienna. Zanotowano również spadek poboru wód podziemnych z poziomów oligoceńsko-eoceńskiego i kredowego, eksploatowanych na ujęciu Czarny Dwór. W ślad za ograniczeniem poboru wód nastąpiło wypełnianie się lejów depresji i powrót zwierciadła wody ku powierzchni terenu (fig. 1).

Od 2001 r. trwa proces stabilizowania się położenia zwierciadła wody, zwłaszcza w płytkim plejstoceńsko-holoceńskim poziomie wodonośnym. Obecnie lej depresji w czwartorzędowym poziomie wodonośnym jest zredukowany i zaznacza się tylko wokół dużych ujęć komunalnych na tarasie nadmorskim i Żuławach Gdańskich. Regionalny lej depresji w poziomie kredowym również wypełnił się, co spowodowało, że w strefie nadmorskiej panują artezyjskie warunki (samowypływy ze studni). Korzystne zmiany w dynamice wód podziemnych przyczyniły się do ograniczenia ingresji wód zasolonych, natomiast dla niektórych, nisko położonych terenów Gdańska i Sopotu pojawiło się zagrożenie podtopieniami.

Opierając się na nowym rozpoznaniu warunków hydrogeologicznych (Kowalewski i in., 2011), na obszarze plejstoceńsko–holoceńskiego poziomu wodonośnego wyróżniono dwie warstwy wodonośne (górną i dolną), które miejscami są rozdzielone kompleksem osadów słabo przepuszczalnych i nad którymi znajduje się strefa aeracji. Miąższość strefy aeracji jest zróżnicowana – od wartości poniżej 1 m do kilkunastu metrów w sąsiedztwie strefy krawędziowej, a bez-

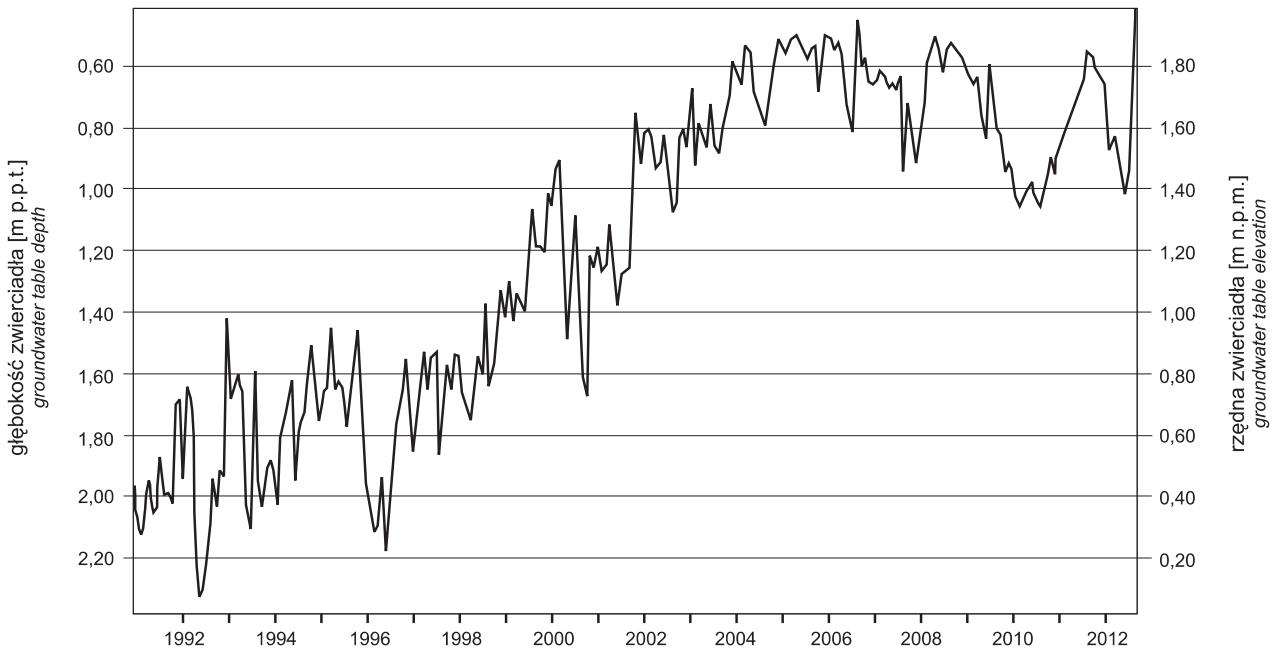

Fig. 1. Wykres wahań zwierciadła wód podziemnych P-I/S01

Groundwater table fluctuations P-I/S01

pośrednio w pasie nadmorskim, wynoszącej od 1 do 2 m. W strefie brzegowej morza, w miejscu występowania wydm, miąższość wzrasta i wynosi od 2 do 5 m. W kierunku zachodnim teren tarasu podnosi się, ponieważ jest nadbudowany holoceńskimi piaszczystymi osadami stożków napływowych. W związku z tym miąższość suchych piasków, znajdujących się nad zwierciadłem wody wzrasta systematycznie w kierunku zachodnim. Przestrzenny rozkład miąższości strefy aeracji pokazano na mapie hydrogeologicznej (fig. 2).

Warstwy (górna i dolna) mają różną dynamikę i parametry hydrogeologiczne. Jest to szczególnie widoczne w zachodniej części tarasu nadmorskiego, gdzie zróżnicowanie hydrodynamiczne jest najwyraźniejsze. Współczynnik filtracji dla górnej warstwy, ustalony na podstawie wyników próbnych pompowań, wynosi od 2 do ponad 30 m/d, a w profilu pionowym przeważają piaski drobno- i średnioziarniste. Współczynnik filtracji dla dolnej warstwy wynosi od 8 do 150 m/d. Najwyższe wartości obejmują centralną część tarasu nadmorskiego w rejonie ujęć komunalnych miasta. Niższe wartości są rejestrowane zarówno w strefie przykrawędziowej, jak i bezpośrednio nad samym morzem. W profilu pionowym dolnej warstwy wodonośnej przeważają piaski różnoziarniste ze żwirem. Zróżnicowanie współczynników filtracji skutkuje szybszymi przepływami w dolnej warstwie, a wolniejszymi w górnej.

Powierzchnie piezometryczne obu warstw czwartorzędowych są zróżnicowane:

- zwierciadło wody górnej warstwy wodonośnej w stosunku do zwierciadła wody dolnej warstwy wodonośnej leży wyżej w rejonie strefy krawędziowej,
- wyrównanie ciśnień w obu warstwach wodonośnych następuje w środkowej części tarasu,
- w rejonie ujęć Czarny Dwór i Zaspa, czyli intensywnej eksploatacji, wyraźniej zaznacza się obniżenie zwierciadła wody w dolnej warstwie niż w górnej,
- zwierciadło wody dolnej warstwy wodonośnej w stosunku do zwierciadła wody górnej warstwy wodonośnej leży nieznacznie wyżej w strefie brzegowej morza.

Zróżnicowanie w dynamice wód podziemnych między górną a dolną warstwą wodonośną zaprezentowano na mapie (fig. 2) oraz na przekroju hydrogeologicznym (fig. 3). Różnice ciśnień (ΔH) w skrajnych przypadkach sięgają kilkunastu metrów. Intensyfikuje to infiltrację wód w głąb poziomu wodonośnego.

Obszar badań charakteryzuje się występowaniem swobodnego zwierciadła wód podziemnych. Na podstawie wykonanych w 2012 r. pomiarów głębokości występowania zwierciadła stwierdzono, że układa się ono na rzędnych od 0 do około 15 m n.p.m. – górna warstwa wodonośna i od 0 do około 10 m n.p.m. – dolna warstwa wodonośna. W pobliżu strefy krawędziowej występują większe spadki zwierciadła wody. W centralnej części tarasu powierzchnia piezometryczna wypłaszcza się i prędkości przepływu maleją. W strefie ujęć prędkości rosną, wymuszone przez eksploatację. Na mapie (fig. 2) zaprezentowano zamknięte hydroizohipsy wokół najintensywniej eksploatowanych studni. W pasie nadmorskim, znajdującym się między ujęciami a brzegiem morza prędkość przepływu wód podziemnych jest zdecydowanie najmniejsza, miejscami mogą występować wody stagnujące. Wody płyną w kierunku wschodnim – od wysoczyzny do ujęć położonych wzdłuż linii brzegowej Zatoki Gdańskiej, a we wschodniej części tarasu w kierunku Martwej Wisły.

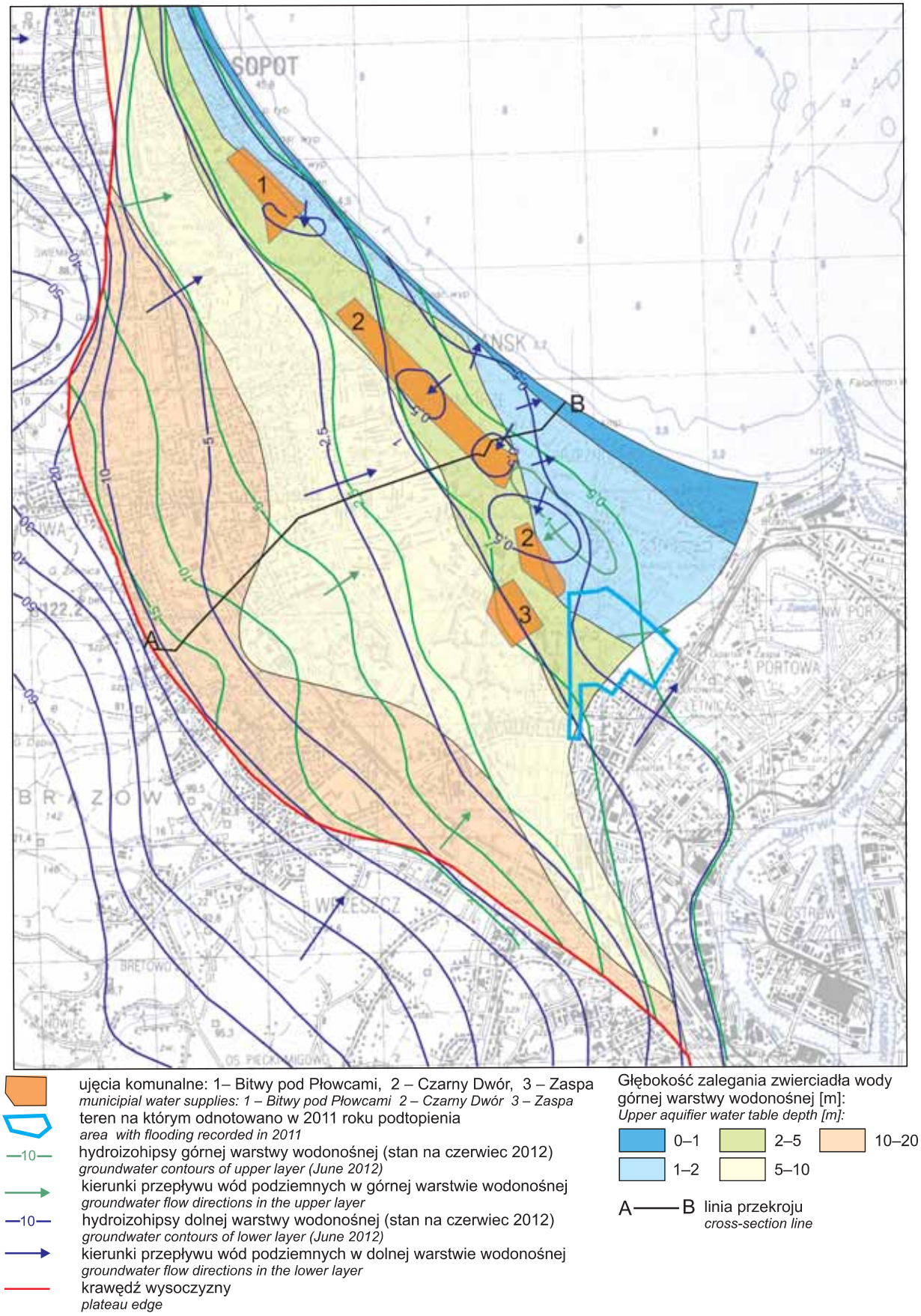

Fig. 2. Mapa dynamiki wód podziemnych dla tarasu nadmorskiego

Groundwater hydrodynamics on seaside terrace

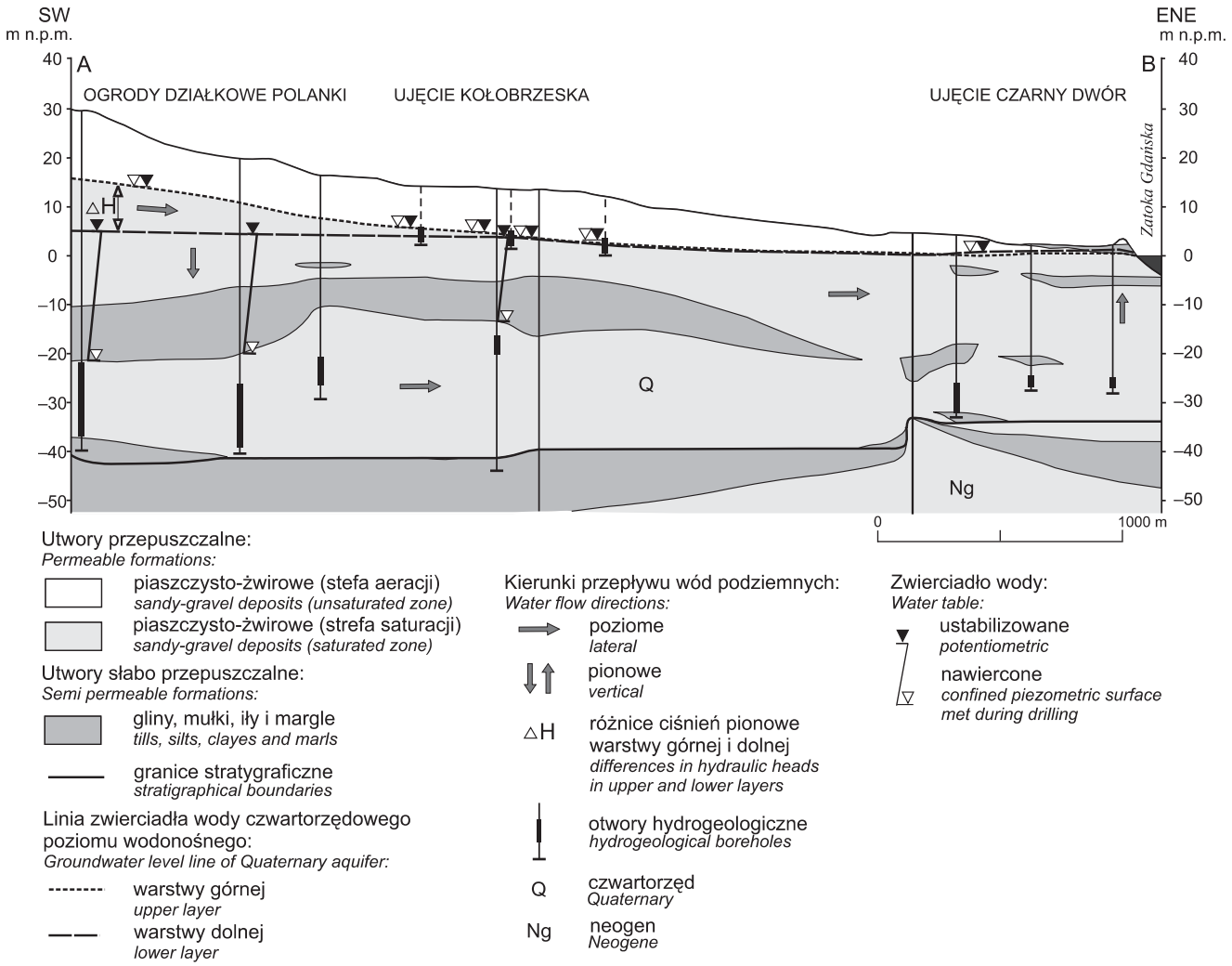

Fig. 3. Przekrój hydrogeologiczny A–B

Hydrogeological cross-section A–B

W rejonie ujęcia Czarny Dwór zaobserwowano występowanie leja depresji związanego z eksploatacją ujęcia. Zasięg tego leja jest znacznie zredukowany w stosunku do leja z 1985 r., kiedy zanotowano maksymalny pobór wody. Przeprowadzona kompleksowa modernizacja ujęcia Zaspa, która rozpoczęła się w 2009 r., a skończyła w 2012 r., wiązała się z brakiem lub mocno ograniczoną eksploatacją, co spowodowało, że lej depresji nie obejmuje obecnie rejonu tego ujęcia. Należy dodać, że ograniczony pobór wód podziemnych na ujęciu Zaspa w 2010/2011 r. skutkował podniesieniem się zwierciadła wód podziemnych i przejściowymi podtopieniami na terenie ogródków działkowych w rejonie ul. Hallera.

PODSUMOWANIE

Wskutek ograniczenia poboru wód podziemnych w centralnej części gdańskiego systemu wodonośnego nastąpiło wypełnianie się lejów depresji i powrót zwierciadła wody ku powierzchni terenu. Zjawisko to obserwowano we wszystkich poziomach wodonośnych od lat 90. XX w. do lat 2001–2005, w zależności od poziomu wodonośnego i lokalizacji punktu obserwacyjnego. W ostatnich kilku latach zaobserwowano stabilizowanie się położenia zwierciadła wody, zwłaszcza w płytkim plejstoceńsko-holoceńskim poziomie wodonośnym. Obecnie lej depresji w czwartorzędowym poziomie wodonośnym zaznacza się tylko wokół dużych ujęć komunalnych na tarsie nadmorskim i Żuławach Gdańskich. Udokumentowanie dwóch niezależnych strumieni wód podziemnych na tarasie nadmorskim może odegrać rolę w analizie kierunków migracji zanieczyszczeń wód podziemnych.

LITERATURA

KORDALSKI Z. i in., 2012 — Ocena stanu dynamiki i jakości wód podziemnych na terenie Gdańska i Sopotu. PIG-PIB, Oddział Geologii Morza, Gdańsk.

KOWALEWSKI T., MACKIEWICZ M., BROŻEK A., 2011 — Dokumentacja hydrogeologiczna z rozbudowy sieci piezometrów monitoringu osłonowego ujęcia „Czarny Dwór" i „Zaspa" w Gdańsku. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.

KOZERSKI B. (red.), 2007 — Gdański system wodonośny. Wyd. Politechniki Gdańskiej.

KOZERSKI B., KWATERKIEWICZ A., 1997 — O zmianach zasolenia wód podziemnych czwartorzędu Gdańska. *W*: Współczesne Problemy Hydrogeologii, **8**: 345–347. WIND, Wrocław.

KOZERSKI B., JAWORSKA-SZULC B., PRUSZKOWSKA-CACERES M., PRZEWŁÓCKA M., 2005 — Wysładzanie się wód podziemnych w piętrze czwartorzędowym Gdańska jako rezultat zmniejszonego poboru. *W*: Współczesne Problemy Hydrogeologii, **12**: 371–375. Wyd. UMK, Toruń.

LIDZBARSKI M., SADURSKI A., 2013 — Analiza uwarunkowań formalnoprawnych gospodarowania zasobami wodnymi w aglomeracji gdańskiej. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **456**, 2: 371–376.

SUMMARY

As a result of the reduction of groundwater exploitation in the drainage area of Gdańsk hydrogeological system, the water table rose and the wide cone of depression started to fill in. This phenomenon was observed from the 1990s until 2001–2005, depending on the aquifer and the location of the observation point. In the last few years, we have observed stabilization of the groundwater table, especially in the shallow Pleistocene-Holocene aquifer. Currently, the cone of depression in the Quaternary aquifer is observed only around major groundwater intakes located on the coastal terrace and the Vistula delta plain. The implementation of groundwater monitoring in the central part of the Gdańsk hydrogeological system made it possible to complement the existing knowledge about the dynamics of the groundwater in this area. The analysis of groundwater dynamics in the coastal terrace has made allowed distinguishing two independent groundwater fluxes (upper and lower).