BIULETYN PAŃSTWOWEGO INSTYTUTU GEOLOGICZNEGO 445: 447–454, 2011 R.

ROZPOZNANIE HYDROGEOLOGICZNE JAKO ELEMENT PRZYGOTOWAŃ DO BADAŃ MIGRACJI ZNACZNIKA W WARSTWIE WODONOŚNEJ

HYDROGEOLOGICAL RECONNAISSANCE AS A BACKGROUND OF TRACER MIGRATION RESEARCH

MONIKA OKOŃSKA[1], FILIP WOLNY[1]

Abstrakt. W artykule przedstawiono wyniki rozpoznania hydrogeologicznego, które przeprowadzono podczas badań migracji znacznika w warstwie wodonośnej w skali lokalnej. Badania dotyczyły fragmentu Sandru Naramowickiego, struktury hydrogeologicznej położonej w rejonie miasta Poznania. Podczas przeprowadzonych prac terenowych i laboratoryjnych rozpoznano budowę geologiczną rejonu badań, głębokość położenia zwierciadła wody podziemnej, kierunki przepływu wody podziemnej i jej skład chemiczny, a także wybrane parametry filtracji. Rozpoznano zachodzącą relację pomiędzy wodami powierzchniowymi i podziemnymi. Ustalenie warunków hydrogeologicznych na obszarze planowanych badań migracji znacznika pozwoliło prawidłowo zaplanować doświadczenie terenowe w hydrowęźle badawczym.

Słowa kluczowe: rozpoznanie hydrogeologiczne, współczynnik filtracji, Sandr Naramowicki.

Abstract. In this paper, the results of a hydrogeological reconnaissance are presented. It was performed during the analysis of a tracer migration through an aquifer on a local scale. The research focused on a fragment of the Naramowicki Sandur, a hydrogeological structure located in the vicinity of Poznan, Poland. The subjects of field and laboratory work included describing the geological structure of this area, and measuring the depth of the water table, the directions of water flow and the concentrations of chemical compounds in the groundwater. Some chosen filtration parameters were also analyzed. Furthermore, the relationship between groundwater and surface waters was diagnosed. The analysis of the hydrogeological conditions of the area designated for tracer migration research rendered it possible to properly plan field experiments in a set of observation wells.

Key words: hydrogeological reconnaissance, permeability coefficient value, Naramowice Sandur.

WPROWADZENIE

Modelowanie matematyczne i symulacja numeryczna procesów filtracji wód podziemnych oraz migracji substancji w warstwach wodonośnych są obecnie intensywnie rozwijającą się dziedziną badań hydrogeologicznych. Wyspecjalizowane programy komputerowe umożliwiają wizualizację procesów zachodzących w środowisku wód podziemnych. Możliwość przeprowadzenia obliczeń symulacyjnych jest jednak uwarunkowana znajomością wartości liczbowych parametrów hydrogeologicznych niezbędnych do opisu matematycznego procesów filtracji wód podziemnych i migracji substancji.

Wyznaczenie wartości poszczególnych parametrów hydrogeologicznych wymaga przeprowadzenia badań laboratoryjnych i terenowych. Autorzy w ramach niniejszego artykułu przedstawiają wyniki szczegółowego rozpoznania hydrogeologicznego przeprowadzonego dla fragmentu Sandru Naramowickiego. Etap rozpoznania hydrogeologicznego był elementem prac przygotowawczych przed zaplanowanymi badaniami migracji znacznika w warstwie wodonośnej w skali lokalnej (skali hydrowęzła).

[1] Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, ul. Dzięgielowa 27, 61-680 Poznań; e-mail: okonska@amu.edu.pl

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Obszar badań położony jest w północnej części miasta Poznania, na terenie Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza (fig. 1A, B). Rozpatrywany obszar obejmuje fragment akumulacyjnej równiny sandrowej (Sandru Naramowickiego), uformowanej w czasie fazy poznańskiej zlodowacenia bałtyckiego. W rejonie badań zaznacza się ponadto fragment niewielkiej formy erozyjnej o przebiegu NW–SE – doliny Różanego Po-

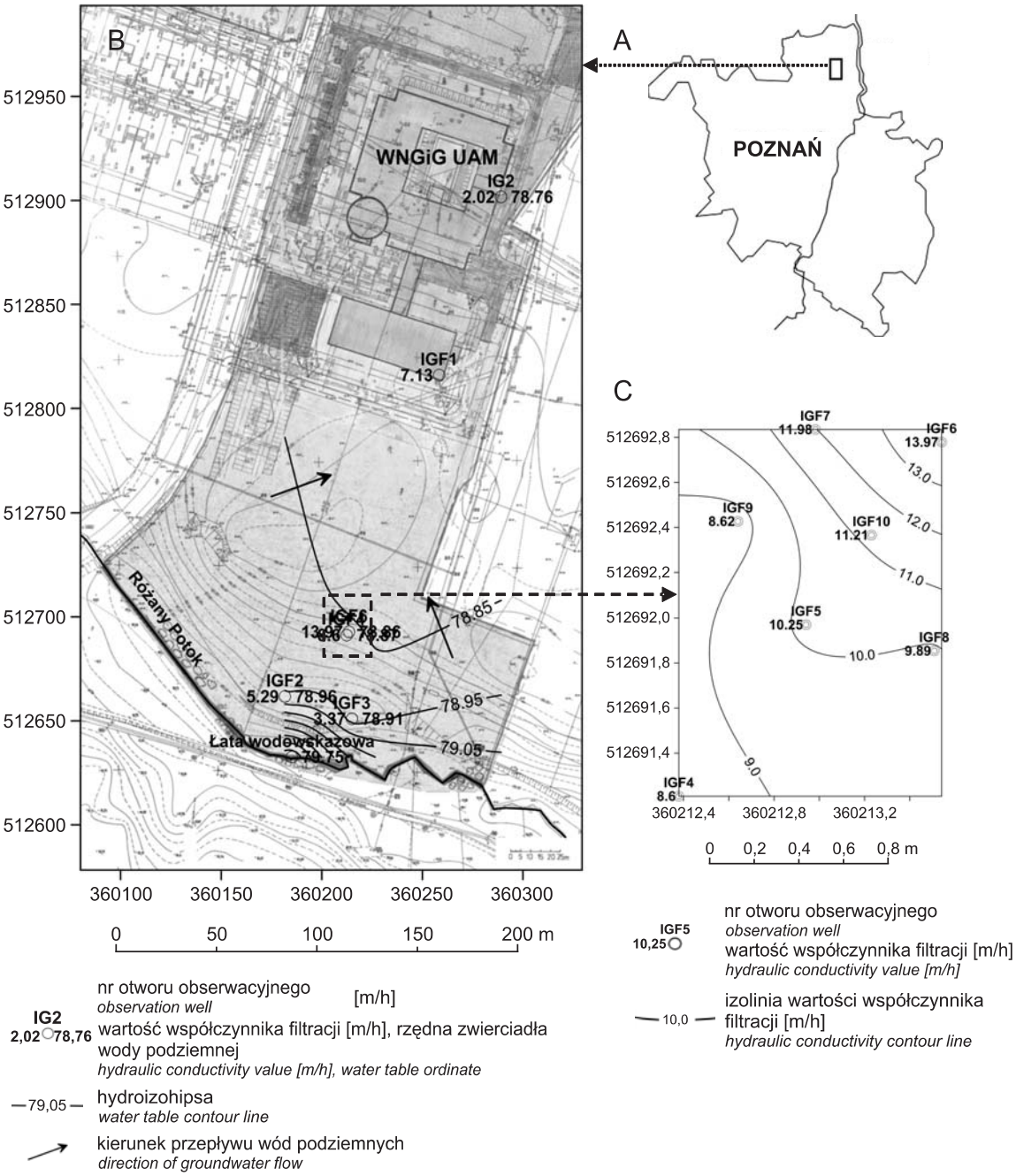

Fig. 1. Lokalizacja obszaru badań

A – położenie rozpatrywanego obszaru w granicach miasta Poznania; **B** – mapa zwierciadła wód podziemnych (21.05.2007 r.); **C** – rozkład wartości współczynnika filtracji w hydrowęźle badawczym

Location of studied area

A – location of the research area against a background of Poznań boundary; **B** – map of the groundwater table (21.05.2007 r.); **C** – distribution of the permeability coefficient values in the research field

toku (znanego również pod nazwą Strumień Różany). Deniwelacje objętego badaniami terenu wynoszą ok. 7,00 m, tj. od rzędnej 79,50 m n.p.m., w rejonie doliny Różanego Potoku, do ponad 86,50 m n.p.m., w części centralnej obszaru badań.

Analiza dostępnych dokumentacji geologiczno-inżynierskich wykonanych dla potrzeb prac budowlanych prowadzonych na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych, pozwoliła stwierdzić, że na badanym obszarze do głębokości ok. 10 m od powierzchni terenu występują głównie piaski drobne i pylaste z licznymi wkładkami i przewarstwieniami pyłów, piaski gliniaste, przechodzące miejscami w pyły piaszczyste i gliny pylaste oraz piaski średnio- i różnoziarniste. Utwory te w obrębie jednej warstwy są dość zróżnicowane pod względem parametrów geotechnicznych (inżynierskich). Poniżej poziomu sandrowego znajdują się gliny lodowcowe fazy poznańskiej zlodowacenia bałtyckiego, pod którymi zalegają prawdopodobnie piaski i żwiry należące do fazy leszczyńskiej zlodowacenia bałtyckiego. W ich spągu występują gliny lodowcowe zlodowaceń środkowopolskich, leżące na neogeńskich iłach i mułkach.

Pod względem hydrograficznym obszar badań należy do zlewni Różanego Potoku, będącego lewobrzeżnym dopływem rzeki Warty. Z wyjątkiem Różanego Potoku, sieć cieków występująca na obszarze zlewni ma charakter okresowy. Przepływy wody w Różanym Potoku na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat znacznie się zmniejszyły. Podczas pomiarów wykonywanych w rejonie badań od grudnia 2001 r. do grudnia 2002 r. odnotowano średnie natężenie przepływu wody w cieku ok. 30 dm^3/s (od 6,62 dm^3/s w grudniu 2001 r. do 67,50 dm^3/s w styczniu 2002 r.) (Bazyly, 2003). Na podstawie rocznego hydrogramu przepływu Różanego Potoku wyróżniono okres wezbrań wiosenny i zimowy oraz jedną niżówkę przypadającą na okres letni. Zgodnie z klasyfikacją reżimów rzek polskich według Dynowskiej (1971), Różany Potok ma reżim umiarkowany z wezbraniem wiosennym o zasilaniu gruntowo-deszczowo-śnieżnym.

Na terenie zlewni Różanego Potoku średnie roczne sumy opadów nie przekraczają zwykle 500 mm/rok. Dane opadowe otrzymane ze stacji meteorologicznej zlokalizowanej na terenie Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM, w bezpośrednim sąsiedztwie obszaru badań, zaprezentowano na wykresie (fig. 2). Dane przedstawiono w relacji do położenia zwierciadła wody w Różanym Potoku: rzędnej zwierciadła wody i wysokości słupa wody w strumieniu. Wysokość opadu i słupa wody uśredniono dodatkowo linią łamaną (średnia ruchoma). Łączna suma opadów w 2007 r. wyniosła 503,8 mm, a w 2008 r. 470,2 mm. W niektórych okresach brak jest jednak zapisu obserwacji wysokości opadów z uwagi na awarię sprzętu pomiarowego na stacji, co może nieznacznie zaniżać wysokość opadu na rozpatrywanym obszarze.

Wody Różanego Potoku należą do II klasy czystości wód powierzchniowych (Gołdyn i in., 1996). Próbka wody pobrana z Różanego Potoku na przekroju hydrometrycznym w rejonie badań w czerwcu 2002 r. wykazała typ wody, określony zgodnie z klasyfikacją hydrogeochemiczną Altowskiego i Szwieca, jako wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowo-magnezowy.

Na podstawie profilu geologicznego i pomiarów w istniejącym otworze obserwacyjnym IG 2, położonym w bezpośrednim pobliżu obszaru badań, stwierdzono występowanie, w obrębie piętra czwartorzędowego w utworach piasz-

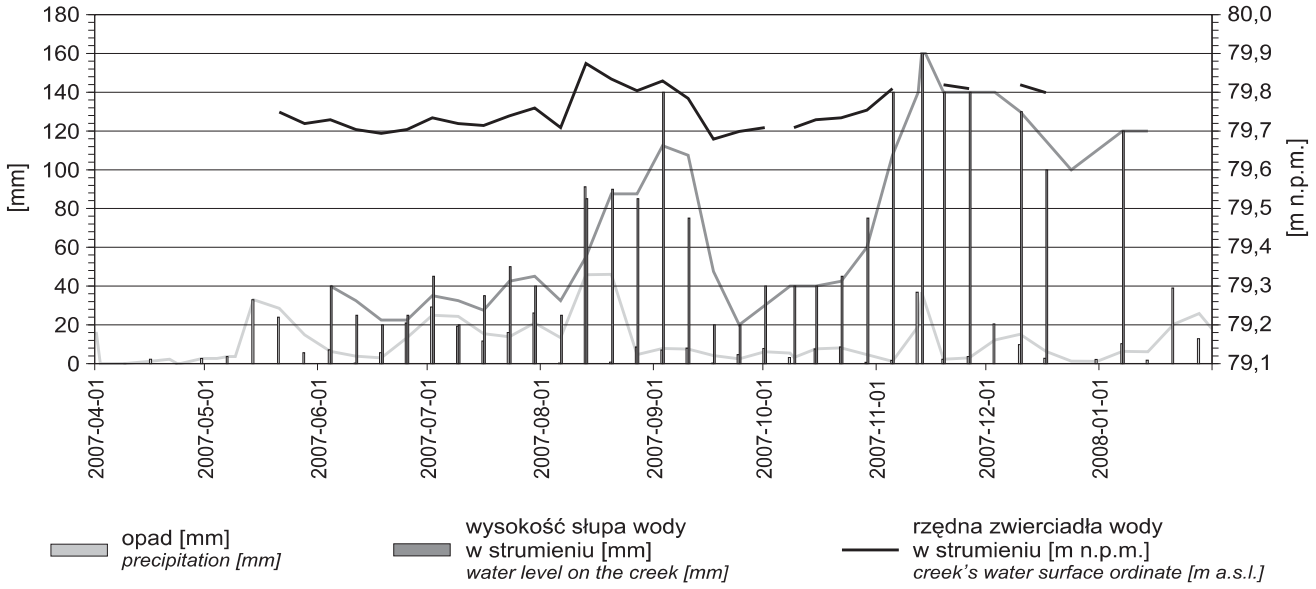

Fig. 2. Położenie zwierciadła wody w Różanym Potoku na tle opadów zarejestrowanych na stacji meteorologicznej WNGiG

Position of Rozany Potok water table against a background of precipitation registered in WNGiG meteorological station

czysto-żwirowych, I poziomu wód podziemnych (poziomu wód gruntowych) o swobodnym zwierciadle wód. Wody te tworzą system płytkiego krążenia, którego bazą drenażu jest dolina Warty. Według Górskiego i Przybyłka (1996) w serii piaszczysto-żwirowej równiny sandrowej, o stosunkowo niewielkiej miąższości (na ogół do 5 m), występują wody, które mają najczęściej charakter wód zaskórnych, nieprzydatnych do wykorzystania. Tylko lokalnie, gdzie miąższości piasków sandrowych są większe, wody te mogą mieć znaczenie użytkowe. Ponadto na omawianym terenie w podłożu istnieje możliwość występowania sandru kopalnego (poziomu międzyglinowego górnego) – zbiornika wodonośnego o znaczeniu użytkowym, który tworzy seria fluwioglacjalnych piasków i żwirów, o miąższości od kilku do kilkunastu metrów, zalegających pod przykryciem kilkumetrowej warstwy glin lodowcowych.

Wody gruntowe na terenie Poznania charakteryzują się mineralizacją od 500 do ponad 1000 mg/dm^3, podwyższoną zawartością chlorków, siarczanów i azotanów oraz stężeniem związków żelaza do 10 mg/dm^3 (Nowicki, red., 2007). Chemizm wód podziemnych w rejonie badań ustalono na podstawie bilansu jonowego wykonanego w marcu 2002 r., marcu 2005 r. oraz styczniu 2008 r. dla analizy fizyczno-chemicznej wody z otworu obserwacyjnego IG 2 (Theuss, 2009). Typ wody podziemnej określony początkowo jako wapniowo-chlorkowo-wodorowęglanowy, uległ zmianie w 2008 r. na wapniowo-wodorowęglanowy.

METODYKA BADAŃ

Po analizie dostępnych materiałów archiwalnych obejmujących dane geologiczne, hydrogeologiczne i hydrochemiczne oraz pomiarów przeprowadzonych w istniejącym otworze obserwacyjnym IG 2, wykonano uszczegóławiające badania terenowe i laboratoryjne.

PRACE WIERTNICZE

Zaprojektowano i odwiercono cztery otwory hydrogeologiczne, które utworzyły sieć obserwacyjną wód podziemnych i w których prowadzono regularne pomiary hydrogeologiczne i hydrochemiczne (fig. 1B). W dalszej kolejności wykonano hydrowęzeł badawczy do doświadczeń znacznikowych (fig. 1C).

PRACE LABORATORYJNE

Podczas prac wiertniczych pobierano próbki gruntów, m.in. w celu wykonania analizy makroskopowej i granulometrycznej. Badania laboratoryjne pozwoliły ustalić szczegółowy profil litologiczny każdego otworu obserwacyjnego, a po wykreśleniu przekrojów hydrogeologicznych, budowę geologiczną i warunki hydrogeologiczne obszaru badań (fig. 3).

Próbki gruntu i wody, pobrane z warstwy wodonośnej ujmowanej przez otwory obserwacyjne, wykorzystano również do przeprowadzenia serii badań kolumnowych w warunkach laboratoryjnych. Badania migracji wybranych znaczników, tj. jonów chlorkowych i jonów litu, przeprowadzono w warunkach dynamicznych przy pełnej saturacji próbki gruntu. W doświadczeniu odwzorowano iniekcję ciągłą oraz iniekcję krótkotrwałą roztworu ze znacznikami. Zarejestrowane podczas badań krzywe przejścia znaczników przez próbkę gruntu oraz pomierzone parametry hydrogeologiczne poddano interpretacji w celu identyfikacji parametrów dyspersji i sorpcji w skali laboratoryjnej. Identyfikację przeprowadzono na modelu numerycznym kolumny filtracyjnej, skonstruowanym w programach Visual MODFLOW i MT3D. W wyniku kalibracji modelu uzyskano wartość takich parametrów jak: stała dyspersji, stała podziału i współczynnik opóźnienia (Okońska, 2010).

POMIARY TERENOWE

W wykonanych otworach hydrogeologicznych prowadzono pomiary położenia zwierciadła wody podziemnej (fig. 4). Początkowo pomiary prowadzono ręcznie przy użyciu gwizdka hydrogeologicznego w odstępach tygodniowych. Następnie w otworach obserwacyjnych zainstalowano rejestratory umożliwiające automatyczny i ciągły pomiar wysokości zwierciadła wody podziemnej. Pomiar ręczny za pomocą gwizdka hydrogeologicznego wykonywano odtąd jedynie w określonych odstępach czasu, w celu weryfikacji wskazań rejestratorów i ich kalibracji.

Na obszarze badań prowadzono również monitoring stanu wód powierzchniowych (fig. 2, 4). Na Różanym Potoku założono i zaniwelowano łatę wodowskazową, z której odczyt stanu wody w strumieniu odbywał się jeden raz na tydzień. Ponieważ jednak stanowisko pomiarowe na Różanym Potoku uległo w krótkim czasie dwukrotnej dewastacji, zrezygnowano z ponownego instalowania łaty wodowskazowej do czasu, aż teren nie zostanie odpowiednio zabezpieczony.

Wykonane pomiary położenia zwierciadła wody podziemnej i powierzchniowej umożliwiły wykreślenie mapy hydroizohips obszaru badań i wyznaczenie kierunku przepływu wód podziemnych (fig. 1B). Prowadzony monitoring i uzyskane dane pozwoliły na bieżąco aktualizować wykreśloną mapę zwierciadła wód podziemnych i obserwować zmiany jego położenia w czasie.

W ramach pomiarów terenowych wykonano ponadto badania parametrów filtracji warstwy wodonośnej metodą PARAMEX. Metoda ta służy oznaczaniu współczynnika fil-

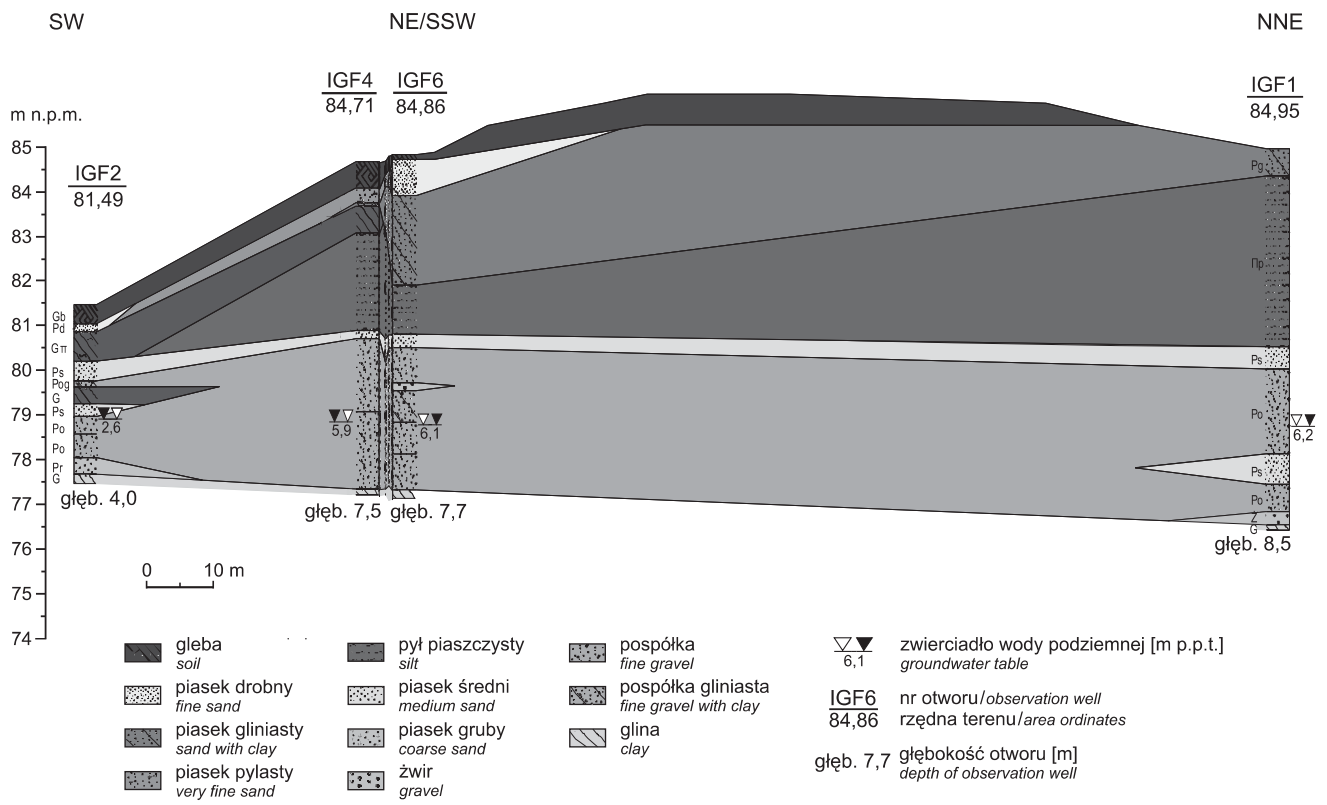

Fig. 3. Przekrój hydrogeologiczny IGF2–IGF1 (lokalizacja otworów na fig. 1B)

Hydrogeological cross-section IGF2–IGF1 (the location of the observation wells is indicated in Fig. 1B)

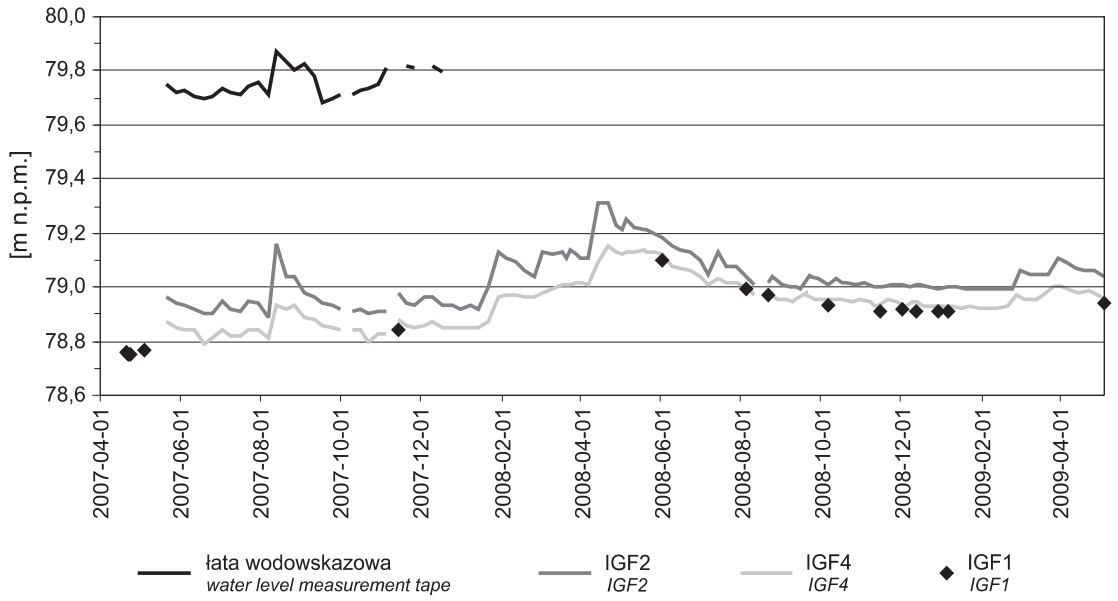

Fig. 4. Położenie zwierciadła wody w Różanym Potoku i zwierciadła wody podziemnej w wybranych otworach obserwacyjnych

The water level of Różany Potok water and the height of the groundwater tables registered in three chosen observation wells

tracji *in situ* w strefie okołofiltrowej otworu obserwacyjnego. Umożliwia również ocenę stanu technicznego elementów konstrukcyjnych otworów hydrogeologicznych (Marciniak, 2002). Szczegółowy opis metody wraz ze schematem aparatury badawczej znajduje się m.in. w pracach Marciniaka (1999) oraz Marciniaka i in. (2010). Eksperymenty PARAMEX, poprzedzone serią pompowań oczyszczających, przeprowadzono w kwietniu i czerwcu 2007 r. w czterech otworach hydrogeologicznych (fig. 1B). Oznaczenie wartości współczynnika filtracji warstwy wodonośnej kontynuowano w listopadzie 2008 r., wykonując badania w otworach hydrogeologicznych hydrowęzła badawczego (fig. 1C).

Przy planowanej obserwacji migracji znacznika w warstwie wodonośnej niezwykle istotne jest określenie chemizmu wód podziemnych i tła hydrochemicznego. W tym celu w wybranych otworach hydrogeologicznych przeprowadzono pompowanie, w trakcie którego pobrano próbki wody do analizy fizyczno-chemicznej składu wody. Badania powtarzano każdego roku w celu monitorowania ewentualnych zmian chemizmu wody podziemnej. Do celów porównawczych pobierano również próbki wody z Różanego Potoku.

Na podstawie wykonanego bilansu jonowego określono typ wody z Różanego Potoku i z warstwy wodonośnej. Ponadto w wybranych otworach obserwacyjnych umieszczono rejestratory elektrolitycznej przewodności właściwej, co pozwoliło na regularne i automatyczne monitorowanie wartości tego parametru wód podziemnych.

WYNIKI ROZPOZNANIA HYDROGEOLOGICZNEGO

W trakcie prac przygotowawczych zgromadzono dane potrzebne do wykonania terenowego stanowiska badawczego (hydrowęzła badawczego) i zrealizowania na nim eksperymentów znacznikowych.

Wykonanie wierceń pozwoliło przeprowadzić szczegółowe rozpoznanie budowy geologicznej w rejonie badań na większej głębokości, niż miało to miejsce w przypadku dotychczasowych wierceń rozpoznawczych przy pracach budowlanych. Stwierdzono zaleganie, pod niewielką warstwą gleby, piasków pylastych i piasków gliniastych, przechodzących w spągu w pył piaszczysty i tworzących warstwę o łącznej miąższości ok. 4 m. Znajdująca się poniżej warstwa wodonośna, o zwierciadle swobodnym i średniej miąższości 3,6 m, zbudowana jest głównie z piasków średnioziarnistych, przechodzących w dolnej części w pospółkę, a przy spągu warstwy miejscami w żwir. W spągu warstwy wodonośnej występuje glina lodowcowa (fig. 3).

Na podstawie analizy granulometrycznej obliczono współczynnik nierównomierności uziarnienia U piasku średnioziarnistego (wyniósł 1,85–2,86), pospółki (2,17–3,63, a w jednym przypadku 5,56) oraz żwiru (8,00 i 12,31). Z wyjątkiem żwiru, dla którego współczynnik nierównomierności uziarnienia U był wyższy niż 5, grunty można zaliczyć do równomiernie uziarnionych (U <5).

Przeprowadzone pomiary położenia zwierciadła wody podziemnej i powierzchniowej, wykreślenie map hydroizohips oraz kierunków przepływu wody podziemnej umożliwiło rozpoznanie obiegu wody w rejonie badań i sposobu zasilania warstwy wodonośnej. Rozpoznanie hydrogeologiczne potwierdziło przypuszczenia, iż przepływ wody podziemnej w warstwie wodonośnej następuje w kierunku północno-wschodnim, tj. w kierunku rzeki Warty, będącej bazą drenażu zarówno dla wód powierzchniowych, jak i wód podziemnych. Ukształtowanie terenu badań mogło pierwotnie sugerować lokalny przepływ wód podziemnych w stronę Różanego Potoku i charakter drenujący strumienia. Na wykresie (fig. 4) przedstawiającym rzędne zwierciadła wody w otworach obserwacyjnych i w Różanym Potoku, widoczna jest analogia pomiędzy położeniem zwierciadła wody podziemnej we wszystkich otworach obserwacyjnych i wysokością zwierciadła wody w cieku, co świadczy o połączeniu hydraulicznym wód. Rzędne zwierciadła wody wskazują na charakter zasilający Różanego Potoku w stosunku do badanej warstwy wodonośnej. W położeniu zwierciadła wody podziemnej zaobserwowano trend wzrostowy w okresie od kwietnia 2007 r. do kwietnia 2008 r. Maksymalną rzędną zwierciadła zanotowano 21 kwietnia 2008 r. (79,15–79,31 m n.p.m.). W kolejnych miesiącach nastąpiło obniżenie wysokości zwierciadła wody podziemnej do rzędnej ok. 79,0 m n.p.m. w kwietniu 2009 r.

Wyniki oznaczeń współczynnika filtracji warstwy wodonośnej, wykonane metodą PARAMEX we wszystkich otworach obserwacyjnych rozpatrywanego obszaru, zestawiono w tabeli 1. Zamieszczone w niej wartości są wartościami średnimi. Należy ponadto zaznaczyć, iż stan techniczny badanych otworów nie budził zastrzeżeń. Stwierdzenie tego faktu, wraz z weryfikacją otrzymanych wartości współczynnika filtracji, poprzez zestawienie z danymi literaturowymi wskazują, że można przyjąć uzyskane rezultaty za wiarygodne.

Oceniając uzyskane wyniki, trzeba zauważyć, że w całym obszarze badań występują wysokie i bardzo wysokie wartości współczynników filtracji. W rejonie otworu obserwacyjnego IG 2 oraz w pobliżu Różanego Potoku (otwory IG F2 oraz IG F3) występują wysokie wartości współczynników filtracji, z przedziału 2–6 m/h. Natomiast pozostałe otwory obserwacyjne (otwory od IG F4 do IG F10) wykazują bardzo wysokie wartości współczynników filtracji rzędu 10 m/h i więcej.

Skład chemiczny wody zaprezentowano na wykresie (fig. 5). Zarówno woda podziemna, jak i wody Różanego Potoku w 2007 i 2008 r. należały do wód typu wapniowo-wodorowęglanowo-siarczanowego. Tylko w jednym przypadku w 2008 r. w otworze IG F4, należącym do hydrowęzła badawczego, nieznacznie wzrosła zawartość jonów chlorkowych i typ wody uległ zmianie na wapniowo-wodorowęgla-

Tabela 1

Zestawienie wyników pomiarów współczynnika filtracji metodą PARAMEX

Comparison of permeability coefficient measurements carried out using the PARAMEX method

Numer otworu obserwacyjnego	Głębokość otworu	Głębokość filtra	Współczynnik filtracji		
	[m p.p.t.]		[m/s]	[m/h]	[m/d]
IG 2	7,20	6,20	5,60E-4	2,02	48,38
IG F1	8,50	7,91	1,98E-3	7,13	171,20
IG F2	3,87	3,58	1,47E-3	5,29	127,08
IG F3	3,45	3,16	9,36E-4	3,37	80,88
IG F4	7,38	7,09	2,39E-3	8,60	206,47
IG F5	7,45	7,16	2,85E-3	10,25	246,04
IG F6	7,55	7,26	3,88E-3	13,97	335,31
IG F7	7,59	7,30	3,33E-3	11,98	287,51
IG F8	7,43	7,14	2,75E-3	9,89	237,31
IG F9	7,57	7,28	2,40E-3	8,62	206,85
IG F10	7,57	7,28	3,11E-3	11,21	268,91

nowo-siarczanowo-chlorkowy. W zakresie oznaczeń zawartości jonów chlorkowych w wodzie podziemnej i powierzchniowej nie stwierdzono przekroczenia 70 mgCl/dm^3 (47,5–64,0 mgCl/dm^3), przewodność elektrolityczna właściwa zawierała się w przedziale 0,8–0,9 mS/cm.

Zrealizowane badania kolumnowe pozwoliły na określenie wybranych parametrów dyspersji i sorpcji w skali laboratoryjnej. Uzyskano wartości stałej dyspersji podłużnej α_L, rzędu od kilku centymetrów do kilku milimetrów dla różnych rodzajów krzywych przejścia. Mieszczą się one w przedziale wartości charakterystycznych dla badań prowadzonych w skali laboratoryjnej. Zauważalna jest tendencja spadkowa stałej dyspersji podłużnej α_L w trakcie trwania doświadczenia. Otrzymane wyniki modelowania procesów sorpcyjnych świadczą o małej intensywności sorpcji w przypadku jonów litowych (współczynnik opóźnienia migracji *R* nieznacznie

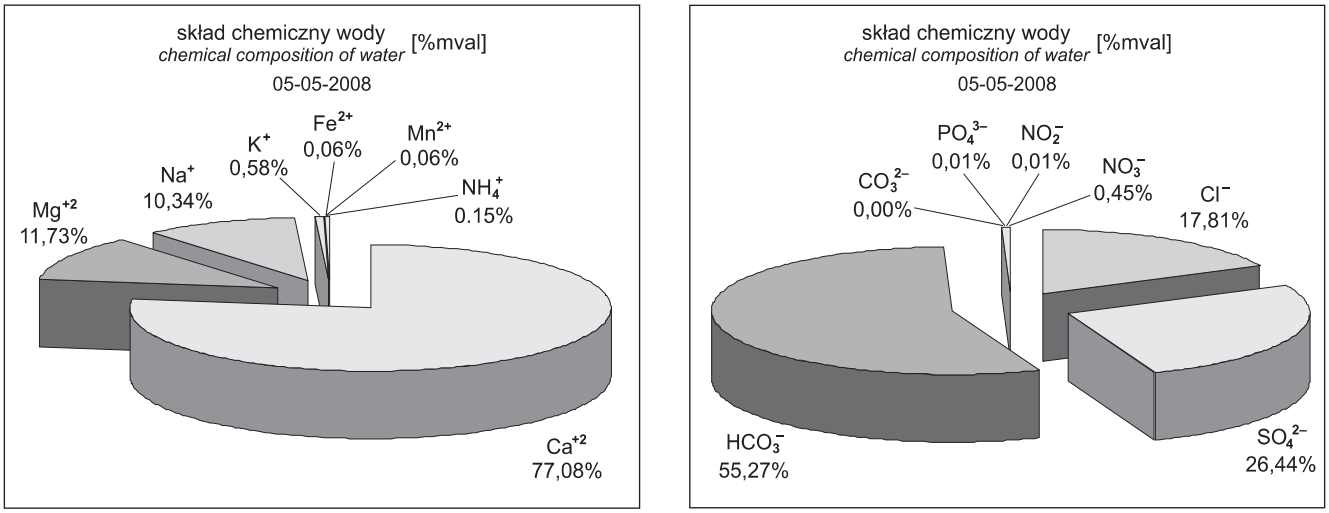

Fig. 5. Skład chemiczny wody podziemnej z otworu IGF4

The chemical composition of groundwater in observation well IGF4

przekraczający 1,0) lub braku opóźnienia migracji tego znacznika w stosunku do jonów chlorkowych (współczynnik opóźnienia migracji *R* równy 1,0). Zakłada się, że uzyskane wartości tego parametru nie powinny ulec znaczącej zmianie podczas doświadczeń znacznikowych w skali lokalnej.

PODSUMOWANIE

Analiza materiałów archiwalnych dotyczących badanego obszaru pozwoliła zaprojektować sieć otworów obserwacyjnych. Umożliwiły one przeprowadzenie szczegółowego rozpoznania hydrogeologicznego, m.in. budowy geologicznej, głębokości położenia zwierciadła wody podziemnej, jej parametrów fizyczno-chemicznych i związku z wodami powierzchniowymi. Oznaczono w warunkach terenowych wartości współczynnika filtracji warstwy wodonośnej. Wyznaczono precyzyjnie kierunki przepływu wody podziemnej. Uzyskano także wstępne informacje o migracji znacznika konserwatywnego i sorbowanego. Na podstawie zgromadzonych w trakcie badań danych wykonano hydrowęzeł badawczy i zaplanowano serię doświadczeń znacznikowych w warstwie wodonośnej.

LITERATURA

BAZYLY J., 2003 — Monitoring obiegu wody w zlewni Strumienia Różanego w Poznaniu. Praca magisterska, Arch. UAM, Poznań.

DYNOWSKA I, 1971— Typy reżimów rzecznych w Polsce. *Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr*., **28**.

GOŁDYN R., JANKOWSKA B., KOWALCZAK P., PUŁYK M., TYBISZEWSKA E., WIŚNIEWSKI J., 1996 — Wody powierzchniowe Poznania. *W*: Środowisko naturalne miasta Poznania: 45–68. Wyd. WOŚ UM w Poznaniu, Poznań.

GÓRSKI J., PRZYBYŁEK J., 1996 — Budowa geologiczna i wody podziemne. *W*: Środowisko naturalne miasta Poznania: 23–44. Wyd. WOŚ UM w Poznaniu, Poznań.

MARCINIAK M., 1999 — Identyfikacja parametrów hydrogeologicznych na podstawie skokowej zmiany potencjału hydraulicznego. Metoda PARAMEX. Wyd. Nauk. UAM, Poznań.

MARCINIAK M., 2002 — Metoda oceny stanu technicznego piezometrów na potrzeby monitoringu wód podziemnych. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.

MARCINIAK M., CHUDZIAK Ł., WOLNY F., 2010 — Zasięg oddziaływania eksperymentu identyfikacyjnego metodą PARAMEX. *W*: Zasoby, zagrożenia i ochrona wód podziemnych (red. R. Graf, M. Marciniak): 97–107. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.

NOWICKI Z. (red.), 2007 — Wody podziemne miast wojewódzkich Polski. Wyd. PIG, Warszawa.

OKOŃSKA M., 2010 — Laboratoryjne badania migracji jonów chlorkowych przez próbkę gruntu. *W*: Zasoby, zagrożenia i ochrona wód podziemnych (red. R. Graf, M. Marciniak): 127–140. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.

THEUSS T., http://www.geoinfo.amu.edu.pl/wngig/ig/MONITORING IG/monig.htm, 2009.

SUMMARY

The analysis of archive data describing the study area rendered it possible to design and construct a set of observation wells. This lead to a thorough hydrogeological reconnaissance which included the geological structure of the area, the depth of the groundwater table, the physical and chemical parameters of groundwater and its relationship with surface waters. The hydraulic conductivity of theaquifer was measured during field tests. The directions of water flow were determined with a high accuracy. Basic information concerning the migration of conservative and sorbing tracers were also obtained. An additional set of observation wells was constructed based on the above-mentioned data and a series of tracer experiments was planed.