

Cel, metody i wybrane przykłady monitoringu środowiska na stacji badawczej przy Wydziale Geologii UW

Danuta Małecka*, Jerzy J. Małecki**

Goal, methods and selected examples of environment monitoring in the research station at the Faculty of Geology, Warsaw University. Prz. Geol., 50: 1004–1008.

Summary. The paper presents a general review of methods concerning activity of the research station and characteristics of particular research stands. The way of gathering, processing and input of data are shown on the selected examples. Importance of continuous monitoring of moisture gradient and temperature in the aeration zone is stressed. These parameters are essential for creating geochemical models. The results of experimental research conducted during three-step pumping tests of the Oligocene aquifer are discussed.

Key words: monitoring of groundwater, Oligocene aquifer, aeration zone, volume soil moisture, temperature gradient of soil, climatic parameters

Działalność Wydziału Geologii w dużej mierze opiera się na badaniach eksperymentalnych, prowadzonych zarówno w terenie, jak i w laboratoriach specjalistycznych. W geologii stosowanej ogromną rolę spełniają również badania monitoringowe dotyczące systematycznych pomiarów interesujących nas parametrów, charakteryzujących środowisko przyrodnicze. W przypadku wód podziemnych są to głównie obserwacje dynamiki oraz jakości i chemizmu wód, w celu oceny i prognozy zachodzących zmian pod wpływem czynników naturalnych i antropogenicznych. O znaczeniu wyników badań monitoringowych w rozwiązywaniu wielu problemów zarówno natury naukowej, jak i gospodarczej nie trzeba już dziś nikogo przekonywać (Kazimierski i in., 1999).

Negatywny wpływ emitowanych do atmosfery zanieczyszczeń znajduje odbicie w zmianach środowiska przyrodniczego, w tym również w degradacji jakości wód podziemnych, dla których głównym źródłem zasilania są opady atmosferyczne. Chemizm wód podziemnych jest wypadkową ścierania się wpływów dostarczanych przez infiltrujące wody opadowe zanieczyszczeń, składu mineralnego gleb i szkieletu gruntowego warstwy wodonośnej oraz dynamiki wód podziemnych. Bez rozpoznania procesów zachodzących na granicy atmosfera–litosfera nie można przejść z biernej do czynnej ochrony wód podziemnych, stanowiących cenne źródło zaopatrzenia ludności w wodę pitną.

Doceniając znaczenie badań monitoringowych zarówno w aspekcie ochrony środowiska, jak i wartości edukacyjnych, na początku lat 90. autorzy niniejszej publikacji opracowali założenia metodyczne i organizacyjne stacji eksperymentalnej, realizowane etapami do 1993 r. (Małecka i in., 1993). Zdając sobie sprawę, że jakość gromadzonych informacji zależy nie tylko od naszej inwencji, stosowanego sprzętu i aparatury badawczej, ale w dużej mierze od fachowości obserwatora, na miejsce lokalizacji badań wytypowano teren położony przy gmachu Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego u zbiegu ulic Żwirki i Wigury i Banacha. Rozwiązanie tego typu pozwala na:

- możliwość ciągłego, fachowego nadzoru,
- przestrzeganie terminu opróbowań,
- zainstalowanie w gmachu Wydziału Geologii mikroprocesorowego zestawu do zbierania, przetwarzania i zapamiętywania mierzonych parametrów z możliwością ich odczytu w dowolnym czasie.

Zgodnie z przyjętymi założeniami stacja pełni rolę bazy dydaktycznej, gdzie studenci mają możliwość zapoznania się z oprzyrządowaniem, konstrukcją i działalnością aparatury pomiarowej, metodyką badań oraz sposobem kontrolowania i gromadzenia danych rejestrowanych w systemie ciągłym. Równocześnie pełni ona rolę poligonu doświadczalnego w zakresie wpływu aglomeracji warszawskiej na środowisko (Małecka, 1996).

Prowadzone badania i obserwacje koncentrują się głównie wokół:

- kształtowania się stanu wód podziemnych czwartorzędowego i oligoceńskiego poziomu wodonośnego pod wpływem cykliczności zjawisk przyrodniczych oraz sposobu i wielkości eksploatacji,
- prześledzenia zmian składu chemicznego wód opadowych z uwzględnieniem mokrej i suchej depozycji, wód przesiąkowych migrujących przez strefę aeracji oraz wód podziemnych z odwierconych na terenie stacji piezometrów i dwu studni głębinowych.

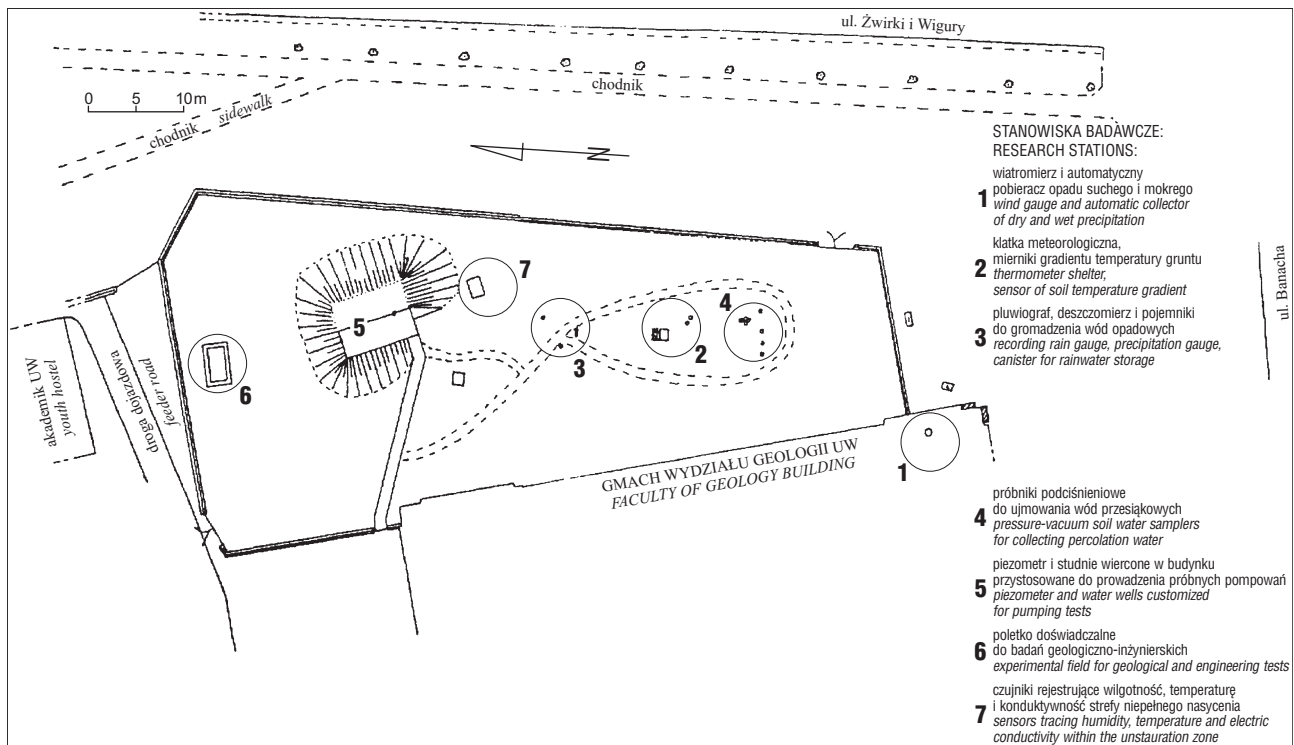
Poza szczegółowym rozpoznaniem profilu geologicznego do głębokości 269 m, określeniem parametrów hydrogeologicznych ujmowanych poziomów wodonośnych oraz zawartości pierwiastków śladowych w profilu czwartorzędowego i właściwości filtracyjnych strefy aeracji, stacja została wyposażona w kilka stanowisk badawczych, z których obserwacje są gromadzone w czterech pionach tematycznych obejmujących:

- parametry klimatyczne (prędkość wiatru, ciśnienie atmosferyczne, temperatura i wilgotność powietrza, opady atmosferyczne),
- dynamikę wód podziemnych,
- makro- i mikro-składniki wód opadowych, przesiąkowych i podziemnych,
- badania eksperymentalne.

Szeroka problematyka badawcza, przy automatycznej rejestracji wyników wymaga różnej częstotliwości uśredniania danych, od zapisów średnich 10-minutowych wartości do średnich godzinowych. Poza standardowymi parametrami klimatycznymi, dynamiką i chemizmem wód są rejestrowane pomiary temperatury i wilgotności skał strefy niepełnego nasycenia. Na stacji są prowadzone rów-

*Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

**Katedra Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych, Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa;



Ryc. 1. Plan sytuacyjny stacji badawczej „Ochrony środowiska i wpływów antropogenicznych na wody podziemne”, działającej przy Wydziale Geologii UW

Fig.1. Location of the research station, at the Faculty of Geology of Warsaw University

niez badania eksperymentalne dotyczące zmian koncentracji żelaza, zawartości tlenu i wolnego dwutlenku węgla podczas próbnych pompowań studni głębinowych.

Placówką naszą zainteresowanych jest wiele instytucji naukowych oraz Wydział Ochrony Środowiska Urzędu Wojewódzkiego Warszawy, a wyniki prowadzonych obserwacji zostały włączone do Krajowej Sieci Monitoringu Wód Podziemnych.

Stanowiska badawcze

Stacja jest zlokalizowana u zbiegu dwu arterii komunikacyjnych, które stanowią ul. Żwirki i Wigury oraz ul. Banacha. Od zachodu graniczy bezpośrednio z gmachem Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego. Teren stacji obejmuje powierzchnię 2510 m² i jest wyposażony w siedem stanowisk badawczych, nie zawsze monotematycznych (ryc. 1).

W przypadku parametrów klimatycznych poza **stanowiskiem drugim**, gdzie znajduje się klatka meteorologiczna z czujnikami rejestrującymi ciśnienie, wilgotność i temperaturę powietrza, w strefie aeracji zamontowano mikroprocesorowe mierniki gradientu temperatury gruntu. Zgodnie z wymaganiami standardów Światowej Organizacji Meteorologicznej mierniki są umieszczone na głębokościach: 0,05, 0,10, 0,20, 0,50, 1 m oraz dodatkowo na 2 i 4 m. Wszystkie pomiary zapamiętywane są z godzinną częstotliwością i gromadzone w pamięci komputerowej.

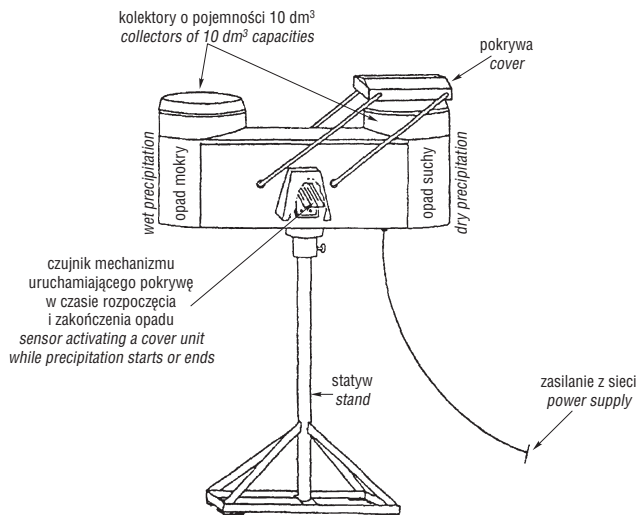
Stanowisko trzecie poświęcone jest problematyce wpływu konstrukcji deszczomierzy oraz wysokości umieszczenia ich powierzchni recepcyjnej na chemizm wód opadowych. Dlatego też, na dachu budynku Geologii (**stanowisko pierwsze**) poza analogicznym jak w sieci

IMiGW wiatromierzem, zamontowano automatyczny pobieracz suchego i mokrego opadu (ryc. 2).

Deszczomierz ten zaopatrzony w dwa kolektory o pojemności 10 dm³ każdy, pozwala na gromadzenie w dowolnym okresie czasu zarówno opadu mokrego, jak i pyłu atmosferycznego składającego się z cząstek naturalnych i antropogenicznych. Zastosowany materiał konstrukcyjny nie wchodzi w reakcję z opadem a przyrząd może pracować w przedziale temperatur -20 do +40°C.

Do najmniej spójnych tematycznie należy **stanowisko czwarte**. Głównym jego zadaniem jest określenie składu chemicznego wód migrujących przez strefę aeracji. W tym celu zamontowano tu wiele próbników podciśnieniowych produkcji USA (ryc. 3). Pobór próbki wody odbywa się za pomocą ręcznej pompki. Wytworzenie podciśnienia umożliwia przenikanie wód infiltracyjnych przez ceramiczną membranę i gromadzenie się ich w zbiorniku. Tu również został odwiercony piezometr z chemicznie obojętnego materiału, ujmujący płytkie wody strefy saturacji. Poza tym na dwumetrowym statywie są umieszczone 4 plastikowe kolektory, służące do łącznego gromadzenia wód opadowych i pyłów. Zbierany w cyklach miesięcznych opad, każdorazowo jest zlewany do wspólnego naczynia, a kolektory po przepłukaniu destylowaną wodą są umieszczane ponownie na statywie. W laboratorium pyły ulegają separacji wskutek powolnej sedymentacji oraz dekantacji wody znad osadu. Uzyskane w ten sposób próbki wody i pyły są poddawane badaniom laboratoryjnym, a wyniki ich stanowią materiał porównawczy z danymi uzyskanymi z automatycznego pobieracza opadu mokrego i suchego.

Do największych i najkosztowniejszych należy **stanowisko piąte**. W specjalnie zbudowanym, zagłębionym w podłożu budynku o powierzchni 33 m² znajdują się dwie studnie głębinowe ujmujące wody z utworów czwartorzę-



Ryc. 2. Automatyczny pobieracz opadu suchego i mokrego
Fig. 2. Automatic collector of dry and wet precipitation

du i oligocenu oraz piezometr reprezentujący płytkie wody gruntowe o zwierciadle swobodnym. W budynku tym mieści się również skrzynia przelewowowa, a możliwość odprowadzenia wody do sieci burzowej pozwala na prowadzenie w ramach zajęć dydaktycznych trzystopniowych, próbnych pompowań oraz badań eksperymentalnych, których wyniki są wykorzystywane przez doktorantów naszego Wydziału.

W celu określenia rytmiki wahań w cyklu rocznym i wieloletnim w obu studniach zostały założone czujniki do ciągłej rejestracji stanów i temperatury wód. Ma to szczególne znaczenie w przypadku wód poziomu oligoceńskiego. Problematyka dotycząca eksploatacji tego poziomu była i nadal jest tematem licznych publikacji naukowych oraz kilkuset dokumentacji hydrogeologicznych studni odwierconych na terenie Warszawy i całej niecki mazowieckiej. Poza badaniami bilansowo-zasobowymi (Macioszczyk, 1996, 1997; Paczyński, 1996) wiele uwagi poświęcano kształtowaniu się leja depresji (Bażyński, 1996; Kazimierski i in., 1999) oraz konieczności uzdatniania tych wód, głównie ze względu na ponadnormatywną zawartość żelaza.

Historia eksploatacji wód poziomu oligoceńskiego datuje się od ponad stu lat, kiedy to w 1896 r. na terenie miasta z otworu o głębokości 217 m uzyskano samowypływ 14,7 m nad powierzchnię terenu odpowiadający rzędnej 100 m n.p.m. Odkrycie możliwości ujmowania wód artezyjskich o wysokiej jakości spowodowało duże zainteresowanie tym poziomem, co na przestrzeni lat doprowadziło do wytworzenia się głębokiego leja depresji. Nadmierna eksploatacja szczególnie lat 60. i początku lat 70. spowodowała spadek ciśnienia hydrostatycznego i obniżenie zwierciadła w miejscu maksymalnej depresji o ok. 43 m, tj. do rzędnej 57 m n.p.m. (Miecznicki, 1983).

Z uwagi na położenie stacji w centralnej części miasta, całkowitą automatyzację pomiarów oraz możliwość prowadzenia badań eksperymentalnych, ujęcie wód poziomu oligoceńskiego znajdujące się na naszej stacji należy uznać za reperowe. Uzyskane wyniki stanowią cenny przyczynek do szeroko zakrojonych badań prowadzonych przez Państwowy Instytut Geologiczny nad reżimem wód podziemnych niecki mazowieckiej.

Stanowisko **zółte** zostało przygotowane do prowadzenia polowych badań geologiczno-inżynierskich. Wyko-

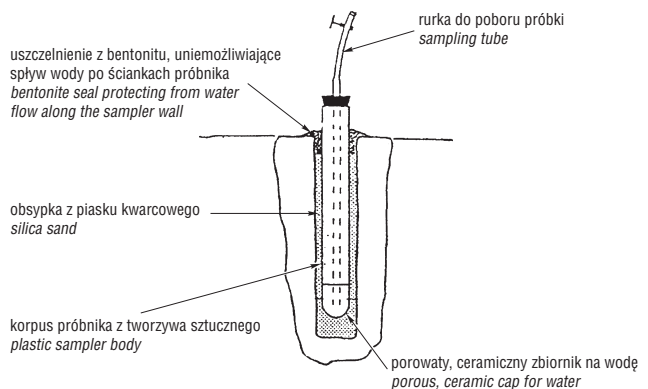
nano tu głęboki, obszerny wykop, który został następnie wypełniony piaskami aluwialnymi Wisły. Osady te charakteryzują się odmiennymi właściwościami fizyczno-technicznymi od otaczających wykop glin zwałowych złodowacenia środkowopolskiego. Na terenie stacji mogą więc być prowadzone zajęcia dydaktyczne, obejmujące badania w dwu różnych ośrodkach skalnych.

W badaniach dotyczących ochrony środowiska, w tym również wód podziemnych, niezmiernie ważnym zagadnieniem jest ocena podatności wód na zanieczyszczenia wnoszone do podłoża przez opad mokry oraz wskutek wymywania opadu suchego. W przypadku strefy pełnego nasycenia, w obliczeniach hydrogeologicznych uwzględnia się wartość porowatości aktywnej, dla strefy aeracji natomiast parametr ten w stosowanych schematach obliczeniowych powinien być zastąpiony wilgotnością objętościową (Witczak & Żurek, 1994; Macioszczyk, 1999). Aby określić czas przesączania się wód w strefie niepełnego nasycenia, inaczej pionowego ruchu wody przez strefę aeracji, niezbędna jest znajomość stopnia uwilgoczenia badanych utworów. Wilgotność należy do parametrów bardzo zmiennych, podlegających wahaniom sezonowym i dobowym. Zdaniem Wieczystego (1982) jest ona charakterystyczna tylko dla danego momentu. Spełnienie tego warunku wymagało zorganizowania odrębnego — **siódmego stanowiska** badawczego, które umożliwiła ciągłą rejestrację gradientu wilgotności strefy aeracji. W 1998 r. w profilu pionowym umieszczono 6 sond na głębokości: 0,1, 0,2, 0,5 m oraz 1; 2; 4 m rejestrujących wilgotność gruntu metodą reflektometryczną z równoczesnym pomiarem temperatury i przewodności elektrolitycznej. Zastosowanie zapisu danych z wykorzystaniem pakietu obliczeniowego i mikrokomputera umożliwia rejestrację ponad 13 000 danych liczbowych w ciągu miesiąca. Pewną weryfikacją obliczeń czasu pionowej migracji wód jest określenie reakcji zwierciadła wód podziemnych na poszczególne zjawiska opadowe rejestrowane w systemie dobowym (Małecki, 1998), co umożliwiają prowadzone na stacji obserwacje.

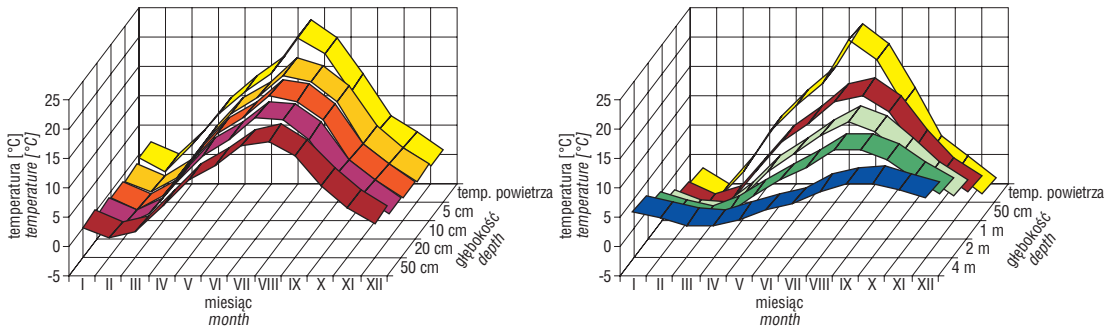
Zajmowana przez stację powierzchnia oraz sukcesywne wprowadzanie nowych technologii monitorowania środowiska daje możliwości dalszego doskonalenia i rozszerzania zakresu badań.

Wybrane przykłady gromadzenia i graficznej interpretacji danych

Szeroka problematyka badawcza oraz duża częstotliwość rejestracji pomiarów sprawia, że omówienie groma-



Ryc. 3. Próbnik podciśnieniowy do poboru wód ze strefy aeracji
Fig. 3. Pressure-vacuum soil water sampler for collecting water samples from the aeration zone



Ryc. 4. Zmiany średnich miesięcznych temperatur gruntu w funkcji głębokości

Fig. 4. Average monthly temperature changes soil as a function depth

Tab.1. Dobowy rozkład temperatur gruntu z 1.01.1998 r.
Tab.1. Daily soil temperature distribution on 1.01.1998

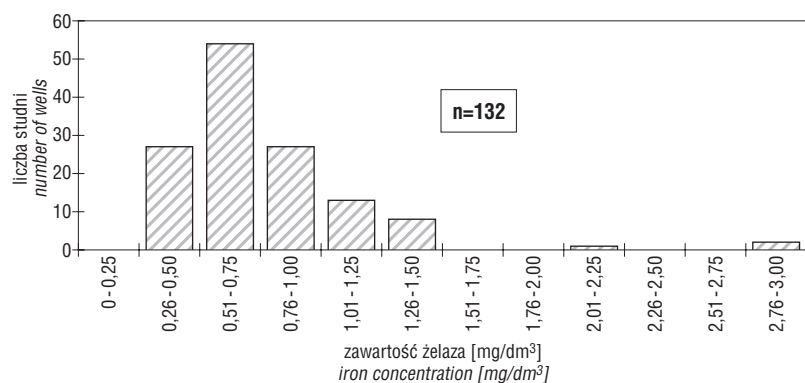
Temperatura gruntu na różnych głębokościach							
Godzina	5 cm	10 cm	20 cm	50 cm	1 m	2 m	4 m
0	2,1	2,2	2,6	3,3	4,7	7,8	10,2
1	2,1	2,2	2,5	3,3	4,8	7,8	10,2
2	2	2,2	2,5	3,3	4,7	7,8	10,2
3	2,1	2,2	2,5	3,3	4,8	7,8	10,2
4	2,1	2,2	2,5	3,3	4,8	7,8	10,2
5	2,1	2,3	2,5	3,3	4,8	7,8	10,2
6	2,2	2,3	2,5	3,3	4,8	7,8	10,2
7	2,3	2,3	2,5	3,3	4,7	7,8	10,2
8	2,2	2,3	2,5	3,3	4,7	7,8	10,2
9	2,3	2,3	2,5	3,3	4,8	7,8	10,2
10	2,2	2,3	2,5	3,3	4,8	7,8	10,2
11	2,1	2,3	2,5	3,3	4,7	7,8	10,1
12	2	2,2	2,5	3,4	4,7	7,8	10,2
13	1,9	2,2	2,5	3,3	4,8	7,8	10,2
14	1,8	2,1	2,5	3,3	4,8	7,8	10,2
15	1,7	2	2,4	3,3	4,8	7,8	10,2
16	1,6	1,9	2,4	3,3	4,7	7,8	10,2
17	1,5	1,8	2,4	3,3	4,8	7,8	10,2
18	1,4	1,8	2,3	3,3	4,8	7,8	10,2
19	1,3	1,7	2,2	3,4	4,7	7,8	10,1
20	1,2	1,6	2,2	3,4	4,8	7,8	10,1
21	1,1	1,6	2,1	3,3	4,8	7,8	10,1
22	1	1,5	2,1	3,4	4,8	7,8	10,2
23	1	1,4	2	3,3	4,8	7,8	10,2
max	2,3	2,3	2,6	3,4	4,8	7,8	10,2

dzonych od początku lat dziewięćdziesiątych informacji znacznie wykracza poza ramy niniejszego artykułu. Z konieczności zatem ograniczono się do wybranych przykładów.

Dobowy rozkład temperatury rejestrowany na stanowisku drugim daje możliwość prześledzenia zmian zachodzących w ciągu doby, miesiąca i roku (tab.1; ryc. 4). Znajomość tego parametru jest niezbędna przy tworzeniu modeli geochemicznych przez rozwiązanie układu równań uwzględniających stałe równowagi poszczególnych reakcji oraz bilans masy analizowanych składników. Tworzenie modeli wymaga znajomości nie tylko równowag kwasowo-zasadowych wyrażonych przez pH, równowag utleniająco-redukcyjnych, charakteryzowanych potencjałem Eh, ale również poznania temperatury, w której zachodzą reakcje chemiczne w strefie oddziaływania roztworu ze szkieletem gruntowym. Badania wód przesiąkowych,

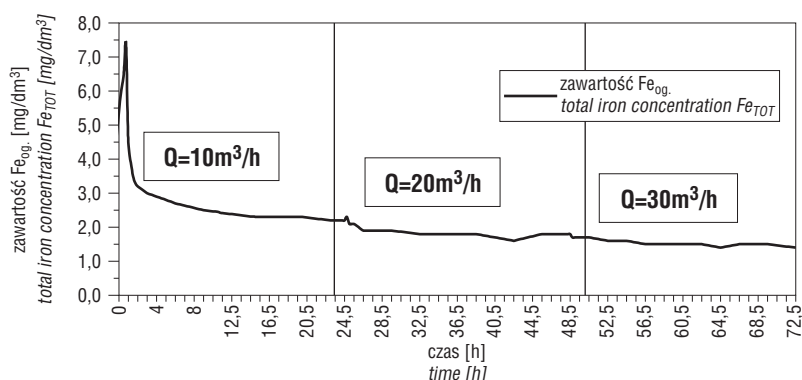
ujmowanych próbnikami podciśnieniowymi, nie pozwalają na bezpośredni pomiar temperatury w strefie analizowanych oddziaływań. Prowadzone pomiary temperatury gruntu oraz znajomość głębokości zainstalowanych próbników umożliwiają wypełnienie tej luki (Małeck, 1995).

Wyniki monitoringu stanów wód podziemnych w przypadku poziomu oligoceńskiego w pełni potwierdzają obserwowaną na terenie miasta tendencję stopniowej odbudowy ciśnienia hydrostatycznego (Bażyński, 1996; Kazimierski, 1999). Rejestrowany na stacji poziom zwierciadła wody od 1992 r. wzrósł z 32,13 m p.p.t. poprzez 28,8 m w 1998 r. i 26,1 m p.p.t. w 2001 r. Tak więc wprowadzone rygory administracyjne, dotyczące ograniczenia nadmiernej eksploatacji wód z wyłącznym przeznaczeniem ich do celów konsumpcyjnych oraz na potrzeby przemysłu spożywczego i farmaceutycznego dały pozytywne rezultaty w aspekcie bilansowo-zasobowym całej niecki mazowieckiej. Przy eksploatacji poziomu oligoceńskiego ważnym problemem jest również skład chemiczny wód. Mimo wysokiej jakości i walorów smakowych woda ta nie spełnia wszystkich warunków stawianych wodom pitnym, głównie ze względu na ponadnor-



Ryc. 5. Zawartość żelaza w wodach poziomu oligoceńskiego bezpośrednio po udostępnieniu ujęć do eksploatacji

Fig. 5. The iron concentration in the waters of the Oligocene aquifer just after groundwater intakes became operational



Ryc. 6. Zmiany zawartości żelaza w czasie próbnego pompowania studni przy Wydziale Geologii UW

Fig. 6. The changes of iron concentration during the well pumping test on the research station

matywne zawartości żelaza. Jest rzeczą charakterystyczną, że koncentracja tego składnika w złożu jest z reguły znacznie niższa niż w czasie jego eksploatacji. W celu przekonania się czy tego rodzaju zmiany wywołane są czynnikami natury przyrodniczej, czy też antropogenicznej, analizie poddano wyniki oznaczeń próbek wody pobieranych bezpośrednio po odwierceniu poszczególnych otworów z terenu całej Warszawy, bez względu na rok wykonania ujęcia. Histogramy rozkładu zawartości Fe wskazują, że w wodach poziomu oligoceńskiego w ostatnim pięćdziesięcioleciu, koncentracja tego składnika utrzymuje się na przyrodniczo uwarunkowanym poziomie (ryc. 5). W obrębie miasta zdecydowanie dominują wartości od 0,51 do 0,75 mg/dm³ (Małecka & Wójcik, 1999). Również w naszej studni, bezpośrednio po odwierceniu otworu w 1991 r., zawartość Fe w wodach poziomu oligoceńskiego mieściła się w granicach dominanty 0,6–0,7 mg/dm³. Przy stabilnym typie hydrochemicznym reprezentowanym przez wody HCO₃-Cl-Na-Ca koncentracja żelaza ogólnego wzrasta do 5–8 mg/dm³. Jak wykazały to badania eksperymentalne prowadzone na terenie stacji w czasie próbnego pompowań (ryc. 6) wzrost ten jest spowodowany głównie wielkością eksploatacji, konstrukcją studni oraz wpływem bakterii żelazistych, spośród których do najbardziej charakterystycznych należy *Galionella*.

W czasie tych badań, poza pomiarami makro- i mikroskładu wód, są prowadzone również obserwacje zmian zawartości tlenu i dwutlenku węgla (wolnego, wodorowęglanowego i agresywnego). Modelowanie geochemiczne oraz badania laboratoryjne prowadzone przez Pawlicką (2001) zgodnie potwierdziły, że przy obojętnym odczynie wód dwutlenek węgla występuje w formie wodorowęglanowego CO₂ i wolnego CO₂. W miarę przebiegu pompowania zaznacza się tendencja wzrostu zawartości wolnego CO₂ i obniżania się pH, natomiast agresywny dwutlenek węgla został wykryty dopiero pod koniec 72 godzinnego pompowania otworu. Wyniki obu prowadzonych eksperymentów wzajemnie się uzupełniają i potwierdzają fakt, że *Galionella* może rozwijać się w warunkach znikomej koncentracji rozpuszczonego w wodzie tlenu oraz, że odpowiadają jej warunki środowiskowe panujące w wodach poziomu oligoceńskiego. Przeżycie organizmów w warstwie wodonośnej zależy bowiem od typu organizmu i fizykochemicznych parametrów środowiska takich jak temperatura, stężenie substancji pokarmowych, odczyn i potencjał redoks (Olańczuk-Neyman, 2001).

Poza cytowanymi przykładami, na stacji zgromadzony został bogaty materiał dokumentacyjny dotyczący roli opadów atmosferycznych i strefy aeracji w kształtowaniu składu chemicznego wód podziemnych oraz wpływu czynników klimatycznych na dynamikę wód. Wyniki systema-

tycznych oznaczeń makro- i mikroskładu wód opadowych, przesiąkowych i podziemnych stanowią cenny materiał w ustaleniu pionowej strefowości hydrochemicznej.

Literatura

- BAŻYŃSKI J. 1996 — Eksploatacja wód z utworów oligoceńskich w rejonie Warszawy. *Prz. Geol.*, 44: 404–406.
- KAZIMIERSKI B. 1999 — Dynamika stanów wód piętra trzeciorzędowego centralnej części niecki mazowieckiej [W:] Współczesne problemy hydrogeologii, t. 9, Państw. Inst. Geol., Warszawa: 431–434.
- KAZIMIERSKI B., MAŁECKA D. & RÓŻKOWSKI A. 1999 — Cel, metody i wyniki monitoringu wód podziemnych w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 388: 79–114.
- KAZIMIERSKI B., MODLIŃSKI P. & PRZYTUŁA E. 1999 — Uwagi o zagrożeniach jakości i koncepcji ochrony wód piętra trzeciorzędowego centralnej części niecki mazowieckiej. [W:] Współczesne problemy hydrogeologii, t. 9, Państw. Inst. Geol., Warszawa: 435–437.
- MACIOSZCZYK T. 1996 — Badania modelowe niecki mazowieckiej. *Prz. Geol.*, 44: 397–400.
- MACIOSZCZYK T. 1997 — System krążenia wód podziemnych w oligoceńskim zbiorniku niecki mazowieckiej. [W:] Oligoceński zbiornik wód podziemnych regionu mazowieckiego (znaczenie, zagrożenie, ochrona). Wyd. PAN, Warszawa: 62–85.
- MACIOSZCZYK T. 1999 — Czas przesączania pionowego wody jako wskaźnik stopnia ekranowania warstwy wodonośnej. *Prz. Geol.*, 47: 731–736.
- MAŁECKA D. 1996 — Stacja naukowo badawcza przy Wydziale Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, zadania, problemy badawcze i organizacyjne. Raport 1/96 „Sieć stacjonarnych obserwacji wód podziemnych w Polsce. Wyd. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 107–119.
- MAŁECKA D., MAŁECKI J. J. & SKORUPSKI W. 1993 — Raport o stanie środowiska w rejonie stacji badawczej przy Wydziale Geologii Uniwersytetu Warszawskiego. [W:] Współczesne problemy hydrogeologii, t. 6, Wyd. Uniw. Wrocławski: 255–266.
- MAŁECKA D. & WÓJCIK J. 1999 — Wyniki badań monitoringowych poziomu oligoceńskiego w Stacji Badawczej przy Wydziale Geologii UW [W:] Współczesne problemy hydrogeologii, t. 9, Państw. Inst. Geol., Warszawa: 461–465.
- MAŁECKI J. 1995 — Role of the zone of aeration in the formation of groundwater chemical composition. *Geol. Quart.*, 39: 439–448.
- MAŁECKI J. J. 1998 — Rola strefy aeracji w kształtowaniu składu chemicznego płytkich wód podziemnych wybranych środowisk hydrogeochemicznych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 381.
- MIECZNICKI J. 1983 — Rozwój depresji rejonowej oraz ocena zasobów wód poziomu oligoceńskiego w rejonie Warszawy, na podstawie stacjonarnych obserwacji wód podziemnych. CAG, Państw. Inst. Geol.
- OLAŃCZUK-NEYMAN K. 2001 — Mikroorganizmy w kształtowaniu jakości i uzdatnianiu wód podziemnych. Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska, PAN, vol. 1. Wyd. Politechniki Gdańskiej.
- PACZYŃSKI B. 1996 — Zasoby wód oligoceńskich. *Prz. Geol.*, 44: 394–396.
- PAWLICKA D. 2001 — Wyniki badań zawartości tlenu i dwutlenku węgla w wodach podziemnych ujmowanych podczas próbnego pompowania na terenie stacji badawczej przy Wydziale Geologii UW. *Prz. Geol.*, 49: 1089–1095.
- WIECZYSTY A. 1982 — Hydrogeologia inżynierska. Wyd. PWN.
- WITCZAK S. & ŻUREK A. 1994 — Wykorzystanie map glebowo-rolniczych w ocenie ochronnej roli gleb dla wód podziemnych [W:] Kleczkowski A.S. (red.), *Metodyczne podstawy ochrony wód podziemnych*. Wyd. AGH: 155–180.