



PIONOWA STREFOWOŚĆ CHEMICZNA WÓD PODZIEMNYCH W REJONIE FALENT

Michał FIC, Waldemar MIODUSZEWSKI

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach

Słowa kluczowe: wody podziemne, chemizm wód, wiek wód, krążenie wód, opróbowanie multi-level

S t r e s z c z e n i e

W latach 1999–2001 w ramach projektu „Inco Copernicus” prowadzono w Falentach prace doświadczalne nad obiegiem wody oraz biogenów w wodach podziemnych. Przygotowano bazę pomiarową, obejmującą pełne techniczne wyposażenie na potrzeby opróbowania warstwy wodonośnej. Wykonywano również pomiary wybranych parametrów meteorologicznych. Badano wynoszenie substancji chemicznych ze strefy aeracji. Badania hydrogeologiczne oparte na pomiarach w piezometrach zainstalowanych w systemie „multi-level” oraz w mikropiezometrach wykazały dużą pionową zmienność składu chemicznego wód w pierwszej warstwie wodonośnej oraz w pełni potwierdziły konieczność jej pionowego opróbowania. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem głębokości poboru prób zmniejszała się zawartość azotanów, azotynów, sodu oraz potasu. Wraz z głębokością zwiększało się natomiast stężenie: krzemionki, żelaza i manganu, a zatem jonów, które pojawiają się w wodzie podziemnej na skutek długotrwałej interakcji skała–woda podziemna. Badania hydrogeochemiczne oraz badania izotopowe wód umożliwiły podział warstwy wodonośnej na strefę wód infiltracyjnych, strefę przejściową oraz strefę wód pochodzących z dalekich systemów krążenia.

WSTĘP

Projekt realizowany w ramach programu „Inco Copernicus” (INCO Copernicus nr IC15–CT 98–0131) miał za zadanie rozpoznanie i analizę zagadnień związanych z migracją i zachowaniem się biogenów w wodach infiltracyjnych i podziemnych. Przeprowadzone badania, oprócz uzyskania docelowych metodycznych efektów prac z zakresu modelowania, tj. transportu biogenów w ośrodku wodno-gruntowym, umożliwiły pełne rozpoznanie warunków krążenia wód oraz warunków

kształtowania lokalnego składu chemicznego wód podziemnych w rejonie Falent. Mimo, że prace te odnoszą się tylko do niewielkiego obszaru (tzw. „pola doświadczalnego IMUZ” oraz jego bezpośredniego otoczenia) to jednak uzyskane rezultaty prac mogą być wykorzystywane do badań jakości wód podziemnych w odniesieniu do wielu innych terenów w kraju. Zrealizowane badania obrazują strefowość chemizmu wód pierwszej warstwy wodonośnej w specyficznych warunkach zasilania, tj. z jednej strony zasilania infiltracyjnego, z drugiej – ascenzyjnego, tj. zasilania naporowego, wywołanego napływem wód dalekiego krążenia.

METODY I ZAKRES BADAŃ

W pierwszej fazie projektu rozpatrywano różne obiekty pod kątem ich przydatności do realizowanych prac modelowych. Wcześniejsze prace Zakładu Zasobów Wodnych IMUZ stanowiły punkt wyjścia do wykonywania i kontynuacji badań w przedstawionym projekcie [FIC, 1996; FIC, 1999; ZDANOWICZ, 2001]. Rozpatrywano m. in. wybór zlewni Grabi, Turośli czy rejon źródeł w Laszczkach. Ostatecznie zdecydowano się na wybór nowej mikrozwlewni w rejonie instytutowego pola doświadczalnego w Falentach (rys. 1).

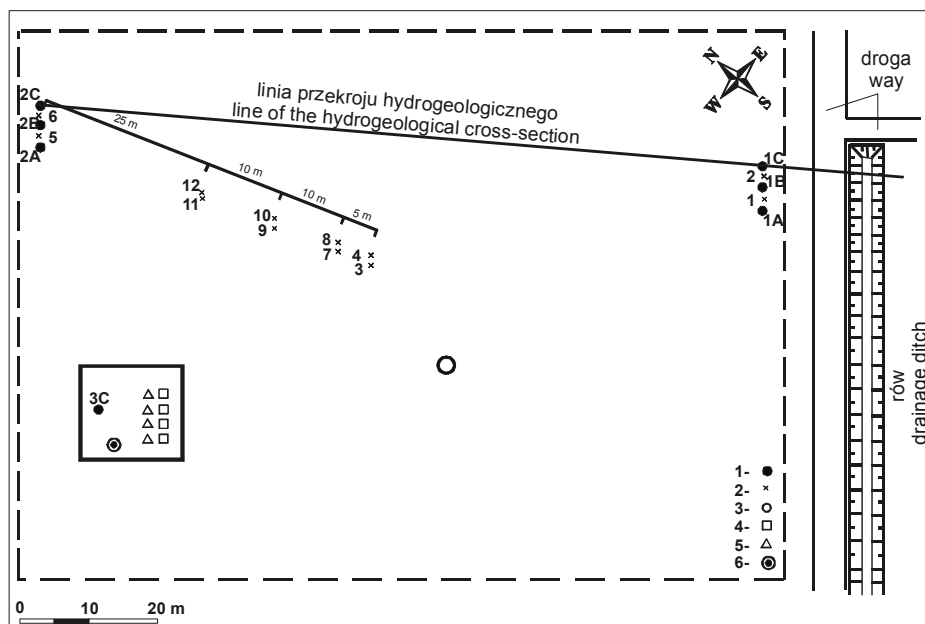
O wyborze tego obiektu zadecydowały pierwotnie względy praktyczne, takie jak:

- własny teren Instytutu,
- wyeliminowanie wyjazdów terenowych,
- dysponowanie własną stacją meteorologiczną,
- możliwość bezpośredniego dozoru aparatury pomiarowej.

Po wykonaniu pierwszych badań terenowych, tj.: wierceń wstępnych, instalacji piezometrów obserwacyjnych, badań geofizycznych, oraz analiz chemicznych okazało się, że z hydrogeologicznego punktu widzenia obszar prac jest niezwykle interesujący nie tylko ze względu na możliwości realizacji celów naukowych projektu „Inco Copernicus”, ale także może stać się doskonałym poligonem nowych doświadczeń z zakresu obiegu wody i biogenów w zlewni [FIC, MIODUSZEWSKI, ROSSA, 2003].

Szczegółowe badania geologiczne wykazały obecność głębokiej rynny kopalnej – stanowiącej ponad 20-metrowej miąższości otwarty zbiornik wodonośny. Stwierdzenie to było zaskakujące, ponieważ rzeźba terenu nie wskazywała na tego typu podziemną strukturę. W wytypowanym w obrębie pola doświadczalnego przekroju założono stałe posterunki. Dodatkowo uwzględniono jakość wód pobieranych ze studni eksploatacyjnej. Umożliwiło to obserwację pełnego profilu hydrogeologicznego od powierzchni terenu, aż do spągu warstwy wodonośnej, tj. do głębokości 20 m p.p.t.

W strefie aeracji na głębokości 20, 40, 90 i 120 cm zainstalowano podciśnieniowe próbniki z końcówkami ceramicznymi umożliwiające pobór wód infiltracyj-



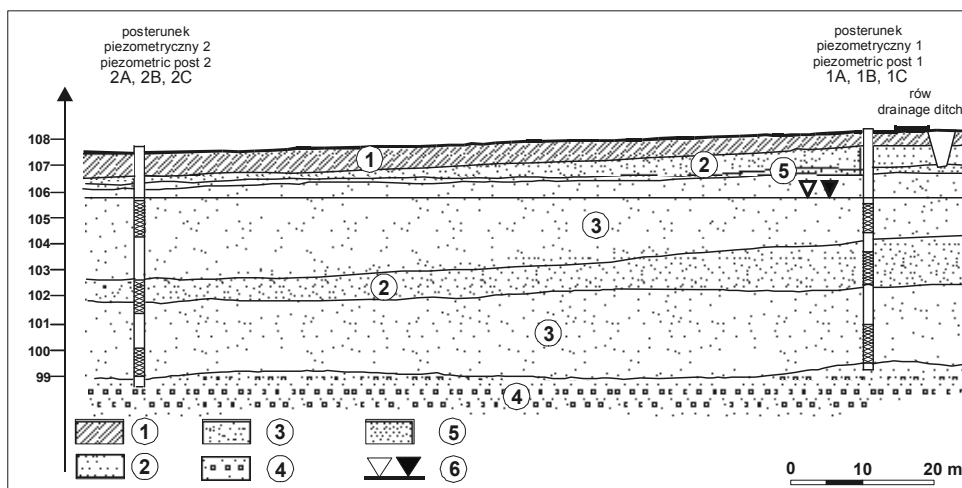
Rys. 1. Lokalizacja posterunków pomiarowych na polu doświadczanym IMUZ; 1 – piezometr, 2 – mikropiezometr, 3 – studzienka drenażowa, 4 – sondy do pomiaru wilgotności strefy aeracji, 5 – próbki w strefie aeracji, 6 – stacja meteorologiczna

Fig. 1. Location of sampling stations on experimental plot of IMUZ; 1 – piezometer, 2 – micropiezometer, 3 – draining well, 4 – probes for measuring moisture in the aeration zone, 5 – probes in the aeration zone, 6 – meteorological station

nych ze strefy nienasyconej. Zastosowanie takiego systemu opróbowania stało się standardem w badaniach migracji chemicznej strefy nienasyconej [KADZIKIEWICZ-SCHONEICH, MAŁECKI, FIC, 2001; PIETRZAK, 1995]. W strefie saturacji zainstalowano piezometry pozwalające na opróbowanie warstwy wodonośnej na głębokości ok. 3, 6 i 9 m p.p.t. (rys. 2). Piezometry te zainstalowano tak, że możliwe było rozpoznanie zmian stężenia substancji z uwzględnieniem kryterium przepływu horyzontalnego oraz zmian stężenia w pionie. System takiego monitoringu wód podziemnych nazywa się „multi-level”. Spośród licznych technicznych możliwości wybrano tu system prosty, sprowadzający się do instalacji wiązki piezometrów, z których każdy ujmuje inną głębokość warstwy wodonośnej [FIC, 1993; 1999].

W zrealizowanych pracach wykorzystywano dużo szerszą gamę aparatury służącej do kompleksowego zbierania informacji hydrometeorologicznych (rys. 1), np.: w pełni wyposażoną stację meteorologiczną, czujniki do pomiaru wilgotnienia strefy aeracji oraz liczne mikropiezometry, uzupełniające obserwacje hydrogeologiczne [MIODUSZEWSKI, 2001].

Opróbowanie strefy aeracji (próbki) oraz strefy saturacji (piezometry oraz studnie eksploatacyjne) umożliwiły rozpoznanie chemizmu pełnego profilu piono-



Rys. 2. Przekrój hydrogeologiczny; 1 – gleba, 2 – piasek średni, 3 – piasek różny, 4 – żwir, 5 – strefa zwiększone zawartości Mn, Fe, 6 – zwierciadło wód podziemnych

Fig. 2. Hydrogeological cross-section; 1 – soil, 2 – medium sand, 3 – various sands, 4 – gravel, 5 – zone of elevated Mn and Fe content, 6 – ground water table

wego. Prace analityczne w odniesieniu do związków biogenych prowadzono z wykorzystaniem aparatury fotometrycznej w ramach prac prowadzonych w Zakładzie Zasobów Wodnych IMUZ. Część badań specjalistycznych była wykonywana równolegle w laboratoriach współpracujących – np. pełne analizy chemiczne w laboratorium POLGEOL, badania izotopowe wód wykonano w laboratorium Instytutu Fizyki Jądrowej w Krakowie, a badania określające własności sorpcyjne azotanów w laboratorium Zakładu Sanitacji Wsi IMUZ Fałenty.

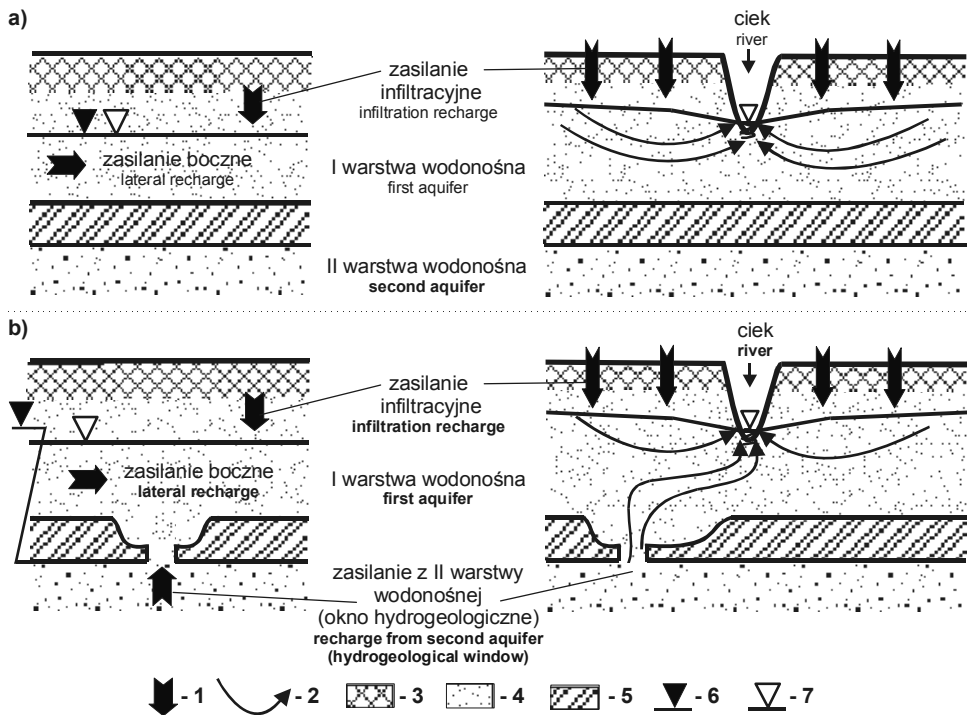
WYNIKI BADAŃ

ODNOWA ZASOBÓW WÓD PODZIEMNYCH NA OBIEKCIE DOŚWIADCZALNYM W FALENTACH

Podstawowa teoria o powstawaniu i odnowie wód podziemnych to tzw. teoria infiltracyjna. Zgodnie z nią część opadu atmosferycznego wnoszona jest grawitacyjnie poprzez strefę aeracji do wód gruntowych. Wody gruntowe, podobnie jak pozostałe wody podziemne (tj. wody wgłębne i wody głębinowe), znajdują się w ciągłym ruchu i przemieszczają się do cieków i zbiorników wodnych, które stanowią tzw. bazę ich drenażu. Wody gruntowe, będące głównym „odbiornikiem” wód infiltrujących w głąb profilu gruntowego, są też najsilniej zanieczyszczone. Zanieczyszczenia te mają zarówno pochodzenie naturalne, wywołane procesami

chemiczno-biologicznymi, zachodzącymi głównie na powierzchni terenu w warstwie glebowej, jak i pochodzenie antropogeniczne zainicjowane zanieczyszczeniem powietrza atmosferycznego i depozycją związków chemicznych na powierzchni terenu. Niekiedy są to zanieczyszczenia antropogeniczne o charakterze wtórnym, np.: spowodowane przekształceniem powierzchni terenu. W odniesieniu do składników biogenych zdecydowanie najważniejszym ogniskiem zanieczyszczeń jest szeroko pojęta produkcja rolnicza i hodowlana.

W obrębie zlewni rzecznych występują zróżnicowane typy zasilania wód podziemnych. W rejonie Falent można mówić o dwóch podstawowych typach zasilania (rys. 3). Schemat zasilania infiltracyjnego (rys. 3a) zakłada, że woda pochodzi z zasilania infiltracyjnego oraz napływu bocznego, tj. napływu wód z części zlewni o wyższym ciśnieniu hydrostatycznym wód podziemnych.



Rys. 3. Schemat obiegu wody: a) w warunkach infiltracyjnego zasilania warstwy I warstwy wodonośnej, b) w warunkach infiltracyjno-subartezyjskiego zasilania I warstwy wodonośnej; 1 – składowa zasilania, 2 – droga przepływu wód podziemnych, 3 – warstwa gleby, 4 – warstwa przepuszczalna, 5 – warstwa nieprzepuszczalna, 6 – zwierciadło wody piezometrycznej/napiętej, 7 – zwierciadło swobodne

Fig. 3. Scheme of water cycling: a) at infiltration recharge of the I aquifer, b) at infiltration-subartesian recharge of the I aquifer; 1 – recharge component, 2 – way of ground water flow, 3 – soil layer, 4 – permeable layer, 5 – impermeable layer, 6 – piezometric ground water table, 7 – free water table

W przypadku infiltracyjno-aporowego zasilania warstwy wodonośnej występuje jeszcze dodatkowa składowa zasilania, tj. zasilanie z II warstwy wodonośnej, a niekiedy nawet z warstw głębszych. Ten typ zasilania można określić mianem zasilania dalszego krążenia (rys. 3b). Jest oczywiste, że wody dopływające z głębszych warstw wodonośnych mają zdecydowanie korzystniejsze parametry, w aspekcie ich antropogenicznego zanieczyszczenia. Z powodu wyraźnie dłuższego czasu przebywania w obiegu podziemnym wody te są wzbogacane w składniki, których obecność jest następstwem ługowania skał i budujących je minerałów. Sytuację taką zidentyfikowano i szczegółowo przeanalizowano właśnie w ramach omawianych prac w rejonie Falent. Badania hydrochemiczne umożliwiły pełną jakościową ocenę stopnia pionowego przeobrażenia lokalnych zasobów wodnych.

ROZPOZNANIE CHEMIZMU WÓD PODZIEMNYCH

Przez dwa lata prowadzono szczegółowe obserwacje nad pionową zmiennością składu chemicznego wód podziemnych. Badania koncentrowały się głównie na zawartości biogenów, których pojawianie się w wodach jest naturalnym następstwem produkcji rolno-hodowlanej. Przebiegi przestrzenno-czasowe w odniesieniu do azotanów zostały zaprezentowane we wcześniejszej publikacji MIODUSZEWSKIEGO [2001]. Na potrzeby artykułu zestawiono dane z tzw. „pełnego” rozpoznania chemizmu, które zrealizowano w lipcu 2000 r. Wyniki wykonanych analiz chemicznych zestawiono w tabeli 1.

Wykonane badania jednoznacznie dowodzą, że wraz z głębokością opróbowania zmniejsza się stężenie azotanów i azotynów. Trudno natomiast wychwycić wyraźne tendencje w odniesieniu do jonu amonowego. Ze względu na brak świeżych zanieczyszczeń o charakterze bytowym zmienność stężenia tego jonu jest niewielka. Dlatego też zapewne brak wyraźnych tendencji wzrostu czy spadku stężenia wraz z głębokością opróbowania.

Jak już zauważono analizując obieg wody w zlewni Cieku Wschodniego spod Laszczek [FIC, MIODUSZEWSKI, ROSSA, 2003], stężenie fosforanów w wodach podziemnych pobieranych w obrębie obiektu doświadczalnego wykazuje tendencję wzrostu wraz z głębokością – ale w warunkach ogólnie małych stężeń, tendencje te należy bardziej łączyć z wietrzeniem, rozpadem substancji i wymywaniem minerałów niż z przenikaniem tego związku od powierzchni terenu. Wraz z głębokością wyraźnie zmniejsza się stężenie pozostałych biogenów, tj. sodu i potasu, podobnie jak azotanów i azotynów.

Wartości wszystkich analizowanych ogólnych wskaźników zanieczyszczeń zmniejszają się wraz z głębokością opróbowania. Tendencja ta jest bardzo wyraźna w przypadku siarczanów, chlorków oraz przewodności elektrycznej. Zdecydowanie mniej wyraźne tendencje można stwierdzić w odniesieniu do rozpuszczonego tlenu oraz twardości ogólnej.

Tabela 1. Wyniki analiz chemicznych wód podziemnych pobranych z piezometrycznych posterunków „multi-level” w Falentach (lipiec 2000)

Table 1. Chemical analyses of ground waters taken from piezometric „multi-level” stations in Falenty (July 2000)

Typ wskaźnika chemicznego Chemical compound	Posterunek I Station I			Posterunek II Station II			Tendencja zmian stężenia wraz z głębokością opróbowania Tendency of concentration changes with depth
	1A	1B	1C	2A	2B	2C	
Wskaźniki biogenne: Nutrients:							
N-NO ₃ , mg dm ⁻³	12,70	0,30	0,10	5,00	0,10	0,00	wyraźny spadek marked decrease
N-NO ₂ , mg dm ⁻³	0,01	0,02	0,004	0,09	0,009	0,006	wyraźny spadek marked decrease
N-NH ₄ , mg dm ⁻³	0,08	0,04	0,20	0,06	0,06	0,16	zmiennie variable
PO ₄ , mg dm ⁻³	0,30	0,05	0,40	0,05	0,00	0,50	zmiennie variable
Na, mg dm ⁻³	27,0	10,0	5,6	7,2	12,2	5,4	spadek decrease
K, mg dm ⁻³	7,6	4,0	0,8	4,2	5,1	1,0	wyraźny spadek marked decrease
Ogólne wskaźniki zanieczyszczeń: General pollutants:							
SO ₄ , mg dm ⁻³	86,4	62,4	28,2	76,8	62,4	30,7	wyraźny spadek marked decrease
Cl, mg dm ⁻³	35,2	12,7	6,7	14,7	10,7	5,7	wyraźny spadek marked decrease
twardość ogólna, mg CaCO ₃ ·dm ⁻³ total hardness, mg CaCO ₃ ·dm ⁻³	207,2	171,4	150,0	228,6	160,7	153,6	spadek decrease
O ₂ , mg dm ⁻³	3,3	1,6	2,5	2,7	2,7	1,9	lekki spadek slight decrease
przewodnictwo elektryczne wody (μS) conductivity of water (μS)	490	345	287	432	332	287	wyraźny wzrost marked increase
Inne: Other:							
Fe, mg dm ⁻³	0,40	0,00	0,55	0,05	0,05	0,25	wzrost increase
Mn, mg dm ⁻³	0,07	0,10	0,15	0,27	0,30	0,27	wzrost increase
SiO ₂ , mg dm ⁻³	7,0	8,0	15,0	8,0	8,0	15,0	wyraźny wzrost marked increase

Wśród analizowanych składników wód podziemnych są i takie, których stężenie w pionowym przekroju warstwy wodonośnej wyraźnie się zwiększa. Należą do nich: krzemionka, żelazo i mangan. Zwiększenie ich stężenia jest uwarunkowane chemicznym przeobrażeniem wietrzejących minerałów oraz w przypadku krzemionki procesem wymywania. Wymywanie krzemionki jest tym większe, im dłuższy jest okres kontaktu wody z fazą mineralną warstwy wodonośnej, której podstawowym składnikiem jest kwarc.

Dodatkowym, istotnym argumentem przemawiającym za infiltracyjno-naporowym typem krążenia wód w lokalnej jednostce hydrogeologicznej są wyniki badań izotopowego składu wód. Wykazały one znaczną zawartość trytu w stropowej części warstwy wodonośnej (6,5 jednostek trytowych), w strefie mieszania stwierdzono ok. 3 jednostek trytowych i całkowity brak trytu na większych głębokościach. Wykonane pomiary jednoznacznie wskazują, że analizowany obszar jest strefą mieszania się wód infiltracyjnych z wodami dalekiego krążenia. Stratygraficzne zróżnicowanie wody w pionowym profilu warstwy wodonośnej jest na tyle wyraźne, że woda obecnie pobierana już z głębokości kilku metrów, musiała pierwotnie infiltrować do gruntu przed 1953 r., tj. przed pojawieniem się znaczących stężeń trytu w atmosferze [ZUBER, GRABCZAK, DULIŃSKI, 2000]. Specjalistyczne modelowanie interpretacyjne wskazuje na przynajmniej 50-letni wiek tych wód [ZUBER, 1986].

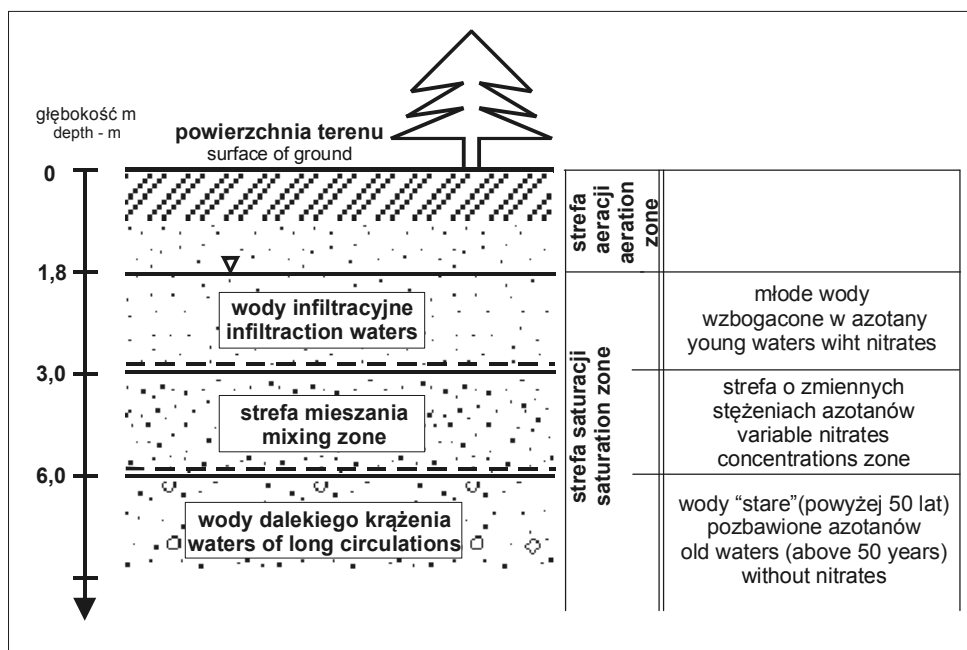
Dane pomiarowe świadczą o zróżnicowaniu składu chemicznego warstwy wodonośnej opróbowanej w strefie stropowej oraz w strefie centralnej i spągowej. Pionowa zmienność stężeń poszczególnych składników wody potwierdza znaczny udział wód dalekiego krążenia w podziemnym zasilaniu Cieku Wschodniego spod Laszczek.

DYSKUSJA WYNIKÓW

Opróbowanie wód podziemnych w systemie „multi-level”, w obrębie pola doświadczalnego w rejonie Falent, umożliwiło uzyskanie niezwykle interesujących rezultatów. Zawartość biogenów wyraźnie maleje wraz z głębokością opróbowania. Tendencja ta nie jest wyraźna tylko w przypadku fosforanów i amoniaku i wynika to z występowania tych związków w bardzo małych stężeniach. Wraz z głębokością zmniejsza się również stężenie ogólnych wskaźników zanieczyszczenia wód podziemnych, takich jak chlorki i siarczany, zmniejsza się również mineralizacja ogólna. Zwiększa się natomiast stężenie składników typowych dla procesu wietrzenia minerałów oraz ługowania skał: krzemionki, żelaza i manganu.

Zarówno analiza chemizmu wód, jak i składu izotopowego, wskazują na to, że w rejonie Falent występuje infiltracyjno-naporowy typ zasilania, przedstawiony na rysunku 3b. Wywołuje to hydrochemiczne następstwa, szczegółowo zobrazowane na rysunku 4. Od zwierciadła wody podziemnej (zalega ono ok. 1,8 m p.p.t.) do

głębokości ok. 3 m p.p.t. istnieje strefa, w której występują młode wody infiltracyjne. Pod nią do głębokości ok. 5–6 m p.p.t. występuje strefa przejściowa, w której stwierdza się obecność zarówno wód infiltracyjnych, jak i wód dalekiego krążenia. W niej następuje mieszanie zróżnicowanych genetycznie i stratygraficznie wód podziemnych. W okresie letnim, gdy zasilanie infiltracyjne zanika, strefa ta do góry, natomiast w okresie jesienno-wiosennym przesuwa się wyraźnie w dół. Wynika to z braku wegetacji w tym okresie i intensywniejszego zasilania wód podziemnych przez wody infiltracyjne.



Rys. 4. Warunki odnowy wód podziemnych na obiekcie doświadczalnym w Falentach

Fig. 4. Conditions of ground water renewal in experimental object in Falenty

Warto podkreślić, że proces infiltracji nie jest izotropowy – szczególnie w gruntach klastycznych tworzą się tzw. uwięzione poduszki powietrza i kominy infiltracyjne (tzw. „perential flow”). W związku z tym rzeczywiste mieszanie wód nie ma charakteru procesu zbliżonego ideowo do modelu „przepływu tłokowego”, lecz jest to proces o określonym stopniu anizotropii. Na lokalną anizotropię hydrauliczną bardzo silny wpływ mają studnie chłonne oraz opaskowe rowy infiltracyjno-odwodnieniowe na osiedlach w Falentach. Prowadzi to też do wyraźnego punktowego zróżnicowania w kształtowaniu się składu chemicznego wód infiltracyjnych na terenach otaczających pole doświadczalne. Jest to pewnym wytłumaczeniem wcześniej wyrażanych wątpliwości co do interpretacji wyników doświadczeń [MIODUSZEWSKI, 2001]. Omawiane tam szybkie i wyraźne zmiany stężenia

azotanów zostały stwierdzone w szczegółowych badaniach z użyciem mikropiezometrów opróbowujących omawianą strefę mieszania. Jej niezwykle silna anizotropia chemiczna jest wywołana periodycznym dopływem związków z wcześniej wymienionych, punktowych lub liniowych ognisk zanieczyszczeń.

Prezentowane prace są z pewnością istotnym wkładem w rozpoznanie lokalnych warunków krążenia wód w rejonie Falent. Ostatecznym efektem prac realizowanych w ramach międzynarodowego projektu „Inco Copernicus” było opracowanie i zastosowanie modeli przepływu i transportu substancji. Weryfikacja obliczeń przepływu wody oraz biogenów w strefie aeracji i saturacji z wykorzystaniem wyników pochodzących z obiektów doświadczalnych zlokalizowanych na terenach trzech państw o zróżnicowanych warunkach klimatycznych, hydrograficznych, glebowych i hydrogeologicznych, jest z pewnością najistotniejszym naukowym osiągnięciem zrealizowanego programu o zasięgu europejskim [MIODUSZEWSKI i in., w druku].

Opisywana pionowa zmienność chemiczna wód podziemnych, będąca następstwem określonego schematu ich krążenia, ma istotny wpływ na jakość wód podziemnych ujmowanych w celu pokrycia lokalnych potrzeb komunalnych. Mimo intensywnej produkcji rolno-warzywniczej na terenach sąsiednich, woda eksploatowana przez IMUZ na terenie Falent za pośrednictwem studni ujmujących pierwszą warstwę wodonośną pod względem zawartości związków azotowych odpowiada naturalnemu tłu hydrochemicznemu wód na Niżu Polskim [MACIOSZCZYK, 1984]. Jako odbiorcy, tj. konsumenci, tych wód winniśmy mieć świadomość, że ich jakość zawdzięczamy korzystnym lokalnym warunkom hydrogeologicznym [FIC, 2000].

WNIOSKI

1. Chemizm wód podziemnych charakteryzuje się anizotropią przestrzenną i pionową, także w odniesieniu do pojedynczej warstwy wodonośnej. Opróbowanie pionowej zmienności chemizmu wód podziemnych w rejonie Falent w systemie „multi-level” umożliwiło wyróżnienie strefy, w której wody podziemne podlegają silnym przeobrażeniom jakościowym wynikającym z napływu wód infiltracyjnych, oraz strefy, gdzie dominują wody dalekiego krążenia.

2. Wody dalekiego krążenia przenikały do obiegu podziemnego przynajmniej przed kilkudziesięciami laty, dlatego też są pozbawione azotanów i innych składników chemicznych typowych dla zanieczyszczeń obszarowych. Ze względu na długi okres kontaktu faz woda-skała nastąpiło wzbogacenie tych wód w składniki typowe dla procesów wietrzenia i ługowania.

3. Badania zrealizowane w rejonie Falent ewidentnie potwierdzają konieczność dalszych prac nad oceną stopnia przeobrażenia i zanieczyszczenia wód podziemnych z uwzględnieniem faktu ich pionowej strefowości.

LITERATURA

- FIC M., 1993. Nowe możliwości badania wód podziemnych w piezometrach. *Prz. Geol.* nr 10 s. 716–719.
- FIC M., 1996. Schadstoffbelastung des Grundwassers-Ergebnisse einer Multi-Level-Beprobung in ausgewählten Einzugsgebieten Polens. W: *Lysimeter im Dienste des Grundwasserschutzes. Berichte BAL Gumpenstein VI Lysimetertagung Gumpenstein Austria* s. 85–87.
- FIC M., 1999. Pionowa zmienność chemizmu wód pierwszej warstwy wodonośnej a forma i intensywność użytkowania powierzchni terenu. *Współczesne Probl. Hydrogeol.* t. 9 s. 49–56.
- FIC M., 2000. Problematyka eksploatacji osiedlowego ujęcia wód podziemnych w Falentach. W: *Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej. Materiały na XIII sympozjum naukowo-techniczne. Częstochowa 6-7 kwietnia 2000.* s. 129–132.
- FIC M., MIODUSZEŃSKI W., ROSSA L., 2003. Zmiany stężeń związków biogenych w poszczególnych fazach obiegu wody w małej zlewni rzecznej. *Woda Środ. Obsz. Wiej. w niniejszym Zeszycie* s. 51–57.
- KADZIKIEWICZ-SCHOENEICH M., MAŁECKI J., FIC M., 2001. Role of meteoric factors in chemical composition of vadose zone waters with special reference to research Stations in Wasaw area. W: *Gebietsbilanzen bei unterschiedlicher Landnutzung. Berichte BAL: IX Lysimetertagung Gumpenstein Austria* s. 199–204.
- MACIOSZCZYK A., 1984. Ocena antropogenicznych zmian tła hydrochemicznego wód gruntowych na Nizinie Polskiej. W: *Metody badania wód podziemnych, ich użytkowania i ochrony. Mater. Symp. Tuczno/Warszawa* s. 122–127.
- MIODUSZEŃSKI W., 2001. Badania zawartości azotanów w wodach glebowych i gruntowych. *Wiad. Melior.* nr 4 s. 192–195.
- MIODUSZEŃSKI W., WALTHER W., DIANKOV S., QUERNER E.P., FIC M., PAETSCH M., VELKOVSKY G., ŚLESICKA A., REINSTORF F., WELLER D., RADOSLAVOV S., MARINOV D., NICHEVA O., ROELSMA J., ZDANOWICZ A., w druku. Development of tools needed for an impact analysis for groundwater quality due to changing of agricultural soil use. W: *Nitrate in groundwaters in Europe. Mater. Międzyn. Konf. IAH EUROMITING. Wisła 4-7.06.2002.*
- PIETRZAK S., 1995. Zastosowanie aparatów z ceramicznymi kubkami porowatymi do pobierania próbek roztworu glebowego ze strefy nienasyconej. *Wiad. Melior.* nr 4 s. 178–179.
- ZDANOWICZ A., 2001. Wpływ przyrzecznych stref ekotonowych na zawartość biogenów w wodach podziemnych. *Falenty: IMUZ pr. dokt. maszyn.* ss. 117.
- ZUBER A., 1986. Mathematical models for the interpreting of environmental radioisotopes in groundwater systems. W: *Handbook of Environmental Isotope. Geochemistry. Vol. 2. Amsterdam-Oxford-New York: Elsevier* s. 1–60.
- ZUBER A., GRABCZAK J., DULIŃSKI M., 2000. Analizy składu izotopowego i stężenia trytu w próbkach wód z piezometrów na obszarze Falent. *Kraków: sp. c. INTERGEO maszyn.* ss. 3.

Michał FIC, Waldemar MIODUSZEWSKI

VERTICAL CHEMICAL ZONATION OF GROUND WATERS NEAR FALENTY

S u m m a r y

Key words: ground waters, water chemistry, age of waters, water cycling, multi-level sampling

Experimental studies on water and nutrient cycling in ground waters were carried out in 1999–2001 in Falenty within the Inco Copernicus project. Experimental basis consisted of a full technical equipment for sampling the aquifer. Local climate and transport of chemical substances out of the aeration zone were also observed. Hydrogeological analyses based on piesometers installed in a “multi-level” system and on micropiesometers revealed a great vertical variability of water chemistry in the aquifer and confirmed the necessity of its vertical sampling. Concentrations of nitrates, nitrites, sodium and potassium were found to decrease with depth. On the contrary, concentrations of silicates, iron and manganese i.e. the ions, which reflect the long-term water-rock interactions, increased with depth. Hydrogeochemical and isotopic analyses of water enabled to divide the aquifer layer into the infiltration zone, transition zone and zone of waters originating from remote cycling systems.

Recenzenci:

prof. dr hab. Aleksandra Macioszczyk

prof. dr hab. Henryk Pawłat

Praca wpłynęła do Redakcji 1.10.2002 r.