

Stefan Rzepa, Wojciech Siciński, Tomasz Toporowicz, Ryszard Twarowski

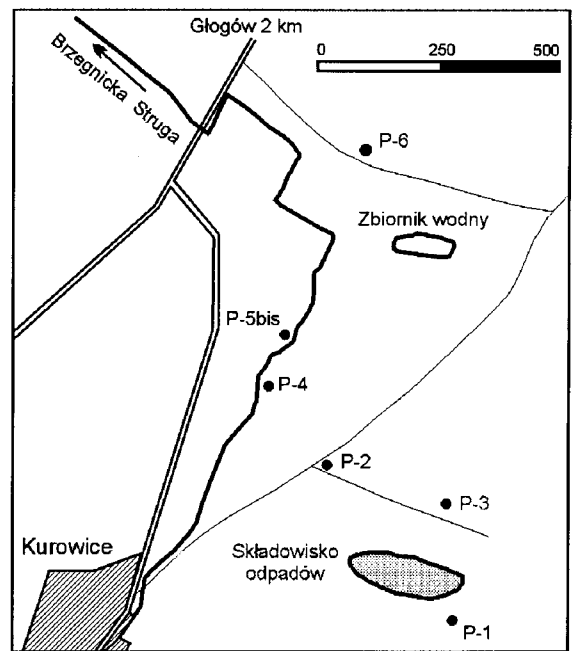
Wpływ zrekułtywowanego składowiska odpadów komunalnych na jakość wód podziemnych i powierzchniowych na przykładzie składowiska w Kurowicach koło Głogowa

Zrekułtywowane składowisko odpadów komunalnych, obsługujące Głogów i eksploatowane w latach 1980–1995, zlokalizowano w dawnym wyrobisku kruszywa naturalnego w odległości około 0,7 km na północny wschód od wsi Kurowice, około 1 km na południowy zachód od granic administracyjnych Głogowa oraz około 0,3 km na wschód od niewielkiego cieką powierzchniowego o nazwie Brzegnicka Struga, odprowadzającego wody z tego rejonu do Odry (rys. 1). Teren wokół składowiska ma urozmaiconą morfologię z licznymi wzniesieniami (do +176 m n.p.m.), a wartość bezwzględna deniwelacji wynosi lokalnie około 20 m. Jest to fragment moreny czołowej zlodowacenia środkowopolskiego, stadiał Warty.

Warunki geologiczne i hydrogeologiczne

Podłoże czwartorzędu stanowią wielobarwne iły trzeciorzędowe, tworzące w skali regionalnej zwarty, nieprzepuszczalny, kompleks o stropie zapadającym w kierunku doliny Odry. Na iłach zalegają osady czwartorzędowe o zmiennej miąższości i wykształceniu pochodzenia zastoiskowego i lodowcowego oraz zawadnione utwory wodnolodowcowe. W ramach prac badawczych [1–3], przeprowadzonych w latach 1994–2003, wykonano otwory obserwacyjne (piezometry), których charakterystykę zestawiono w tabeli 1 (rys. 1).

Stwierdzone w otworach P-3 i P-6 utwory wodonośne, wykształcone w postaci pospółek (wsp. filtracji 50÷70 m/d), wyklinowują się w kierunku SWW. Utwory tego typu stwierdzono również w bezwodnym otworze P-1, w którym strop iłów trzeciorzędowych jest na głębokości około 14,5 m. W otworach P-2, P-4 i P-5bis pospółek nie stwierdzono, a warstwę wodonośną tworzą piaski drobnoziarniste i pylaste, rozdzielone utworami nieprzepuszczalnymi (wsp. filtracji ok. 1 m/d). W otworach P-3 i P-6 utwory wodonośne wykształcone są w postaci jednej ciągłej warstwy, natomiast w otworach P-2, P-4 i P-5bis występują dwie warstwy wodonośne rozdzielone warstwą glin pylastych. Ważną rolę w tworzeniu warunków hydrogeologicznych odgrywa strop iłów trzeciorzędowych, a szczególnie jego lokalne wypiętrzenia w północno-zachodniej części składowiska, gdzie strop iłów zalega na głębokości około 2,5 m.



Rys. 1. Plan sytuacyjny rejonu składowiska odpadów w Kurowicach

Warunki meteorologiczne

Położenie geograficzne rejonu badań sprawia, że jest on pod wpływem zarówno wilgotnego powietrza z Atlantyku, jak i jego suchych mas z głębi kontynentu. Wynikiem tego jest duża zmienność warunków pogodowych w poszczególnych latach, szczególnie wyraźnie widoczna w wysokości opadów atmosferycznych. Obserwowana zmienność wysokości opadów i towarzyszących im ładunków zanieczyszczeń chemicznych mogą wpływać na wahania zwierciadła i skład chemiczny wód podziemnych na badanym obszarze. Na podstawie materiałów archiwalnych IMGW [4] stwierdzono, że roczne sumy opadów z lat 1994–2003 wahały się w granicach 330÷660 mm, z czego 55÷80% stanowiły opady z okresu ciepłego (IV–IX). Zgodnie z klasyfikacją IMGW, odnoszącą wysokość opadów atmosferycznych w danym roku do średniej wieloletniej, w omawianym przedziale czasu można różniczyć trzy okresy:

- lata 1994–1999: normalny (NO), $R_{ob}/R_{wiel}=90\pm 110\%$,
- lata 2000–2002: wilgotny (PWD), $R_{ob}/R_{wiel}=111\pm 125\%$,
- 2003 r.: bardzo suchy (PBS), $R_{ob}/R_{wiel}=50\pm 74\%$.

Dr inż. S. Rzepa, mgr W. Siciński: Instytut Górnictwa Odkrywkowego Poltegor-Instytut, ul. Parkowa 25, 51–616 Wrocław
rzepa@igo.wroc.pl, wojsi@igo.wroc.pl

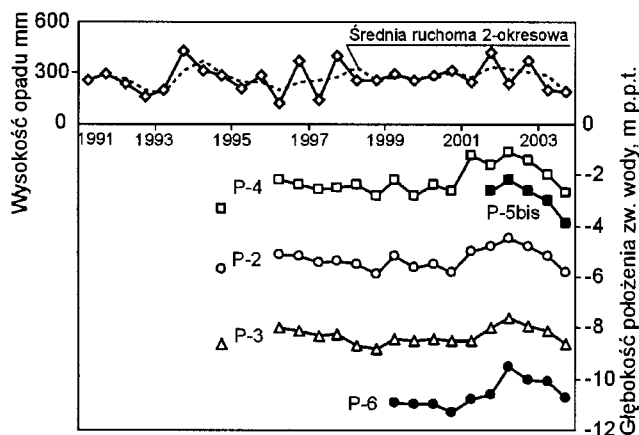
Inż. T. Toporowicz: Urząd Miejski w Głogowie, Dział Ochrony Środowiska, Rynek 10, 67–200 Głogów, *tomekt@www.glogow.pl*

Mgr R. Twarowski: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Oddział Wrocław, ul. Parkowa 30, 51–616 Wrocław, *ryszard.twarowski@imgw.wroc.pl*

Tabela 1. Charakterystyka otworów obserwacyjnych

| Parametr, jednostka | P-1 | P-2 | P-3 | P-4 | P-5bis | P-6 |
|--|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| Data wykonania | IX 1994 | IX 1994 | IX 1994 | IX 1999 | XI 2001 | IX 1999 |
| Rzędna kryzy (teren + 0,5 m), m n.p.m. | +147,5 | +128,6 | +137,8 | +122,4 | +121,4 | +121,4 |
| Głębokość otworu, m | 18,0 | 10,0 | 15,0 | 5,5 | 8,0 | 13,5 |
| Przełot filtru, m | – | 6,0+9,0 | 11,0+14,0 | 2,5+4,5 | 4,0+9,0 | 10,5+12,5 |
| Zwierciadło wody | bezwodny | naporowe | swobodne | naporowe | naporowe | swobodne |
| Głębokość zwierciadła wody (13-10-2003), m | – | 5,80 | 8,60 | 2,70 | 3,90 | 10,70 |
| Udział utworów przepuszczalnych, % | piaski | – | 92 | – | 34 | – |
| | pospółki | – | – | 83 | – | 73 |

W odniesieniu do klasyfikacji miesięcznych sum opadów stwierdzono, że przez około 40% analizowanego czasu opady kształtowały się na poziomie miesięcy suchych ($R_{ob}/R_{wiel} < 74\%$), przez około 30% mieściły się w granicach normy ($R_{ob}/R_{wiel} = 75+125\%$), a przez około 30% osiągnęły zakres miesięcy wilgotnych ($R_{ob}/R_{wiel} > 125\%$). Uwagę zwraca fakt, że mimo wysokich opadów w lipcu i sierpniu 1997 r. (powódź), roczna suma opadów była w granicach normy. Odmienny charakter miał 2003 r., który był bardzo suchy, gdyż aż sześć miesięcy charakteryzowało się sumami opadów kwalifikującymi je jako skrajnie i bardzo suche ($R_{ob}/R_{wiel} < 50\%$), przy czym dodatkowo część z nich wystąpiła bezpośrednio po sobie. Tak niskie wartości opadów atmosferycznych (ok. 60% średniej z wielolecia) spowodowały w czasie od grudnia 2002 r. do grudnia 2003 r. obniżenie się zwierciadła wód podziemnych w rejonie nieczynnego składowiska o 1,0+1,7 m (śr. o 1,4 m). Dynamikę zmian wysokości opadów atmosferycznych zmierzonej w stacji IMGW w Głogowie oraz głębokości położenia zwierciadła wód podziemnych w badanych piezometrach przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Wysokość opadów i położenie zwierciadła wody w piezometrach

Dodatkowo przeprowadzono analizę korelacji wysokości opadów atmosferycznych z położeniem zwierciadła wód podziemnych w najdłużej działających otworach obserwacyjnych (P-2, P-3, P-4). Przeprowadzone obliczenia potwierdziły korelację tych wartości w otworze P-4 (współczynnik korelacji $\alpha = -0,34$, opóźnienie 0). Jest to płytki piezometr o głębokości 5,5 m, zafiltrowany w piaskach drobnziarnistych i pylastych (przełot filtru 2,5+4,5 m), w którym zwierciadło wód podziemnych o charakterze naporowym kształtuje się na głębokości około 2,0 m. Drugi, głębszy, otwór P-2 (współczynnik korelacji $\alpha = -0,42$, opóźnienie 5 lat). Jest to piezometr o głębokości 10 m, w piaskach drobnziarnistych (przełot filtru 6+9 m), w którym zwierciadło wód podziemnych o charakterze

naporowym kształtuje się na głębokości około 5,2 m. W wypadku otworu P-3 korelacji wysokości opadów z głębokością położenia zwierciadła wody nie stwierdzono. Jest to piezometr o głębokości 15 m, zafiltrowany w pospółkach (przełot filtru 11+14 m), w którym zwierciadło wód podziemnych o charakterze swobodnym kształtuje się na głębokości około 8,2 m. Badania potwierdziły korelację wysokości opadów atmosferycznych z głębokością zwierciadła wód podziemnych w płytkich piezometrach (5+10 m) oraz że głębokość otworu wpływała na przesunięcie czasowe. Występowanie w tych otworach glin pylastych powoduje napięty charakter zwierciadła wód podziemnych, nie stanowią one jednak szczelnej izolacji między wodami podziemnymi a zasilającymi je wodami opadowymi, infiltrującymi w głąb górotworu. Charakter otworu P-3, wykonanego w prawie całym przełocie w pospółkach o bardzo dobrych parametrach filtracyjnych (wsp. filtracji ok. 70 m/d), o bardzo intensywnym zasilaniu poziomym (szybkość dopływu wód po zczyrpywaniu oczyszczającym $> 1,5 \text{ dm}^3/\text{min}$), powoduje natomiast, że mimo braku izolacji między wodami podziemnymi a wodami opadowymi, nie stwierdzono korelacji tych parametrów.

Chemizm wód

Badania składu chemicznego wód podziemnych i powierzchniowych w rejonie składowiska w Kurowicach rozpoczęto w 1994 r., tj. w okresie przygotowawczym do jego zamknięcia, a następnie rekultywacji. Uzyskane dane miały stanowić bazę wyjściową do śledzenia wpływu tego składowiska na środowisko wodne w najbliższym sąsiedztwie. Systematyczne badania prowadzone w cyklu wiosna (maj) – jesień (październik) rozpoczęto w 1996 r.

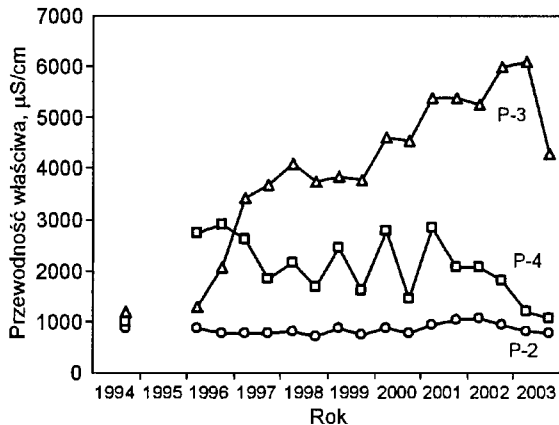
Wody podziemne

Badania jakości wód prowadzono początkowo tylko w oparciu o piezometry P-2, P-3 i P-4, natomiast piezometry P-5bis i P-6 wykonano w latach 1999–2001. Ogólną zasadą postępowania przy poborze wód podziemnych jest wykonanie pomiaru zwierciadła wody, przeprowadzenie zczyrpywania oczyszczającego i pobór próbki do analiz fizyczno-chemicznych po powrocie zwierciadła do poziomu sprzed oczyszczania. Zakres wykonywanych oznaczeń obejmował następujące grupy wskaźników:

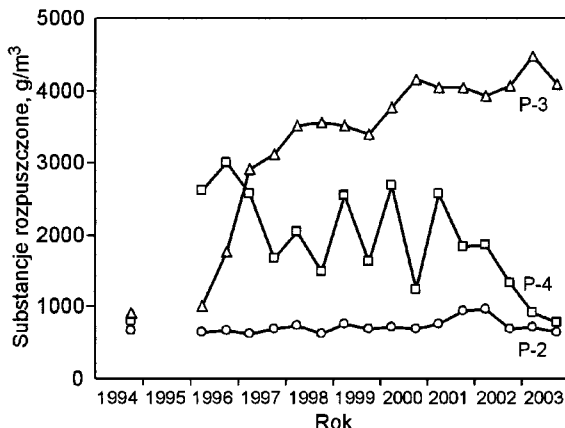
- pH, przewodność właściwa, substancje rozpuszczone, zasadowość ogólna, twardość ogólna i węglanowa,
- sód, potas, wapń, magnez, żelazo ogólne, mangan, glin, azot amonowy, wodorowęglany, chlorki, siarczany, azotany i azoty, fenole lotne,
- jony metali ciężkich (chrom, cynk, kadm, kobalt, miedź, nikiel, ołów, srebro, stront).

Wyniki badań jakości wód podziemnych pobranych z najdłużej obserwowanych piezometrów (P-2, P-3 i P-4) przedstawiono na rysunkach 3–5, wybierając jedynie najbardziej charakterystyczne wskaźniki [5].

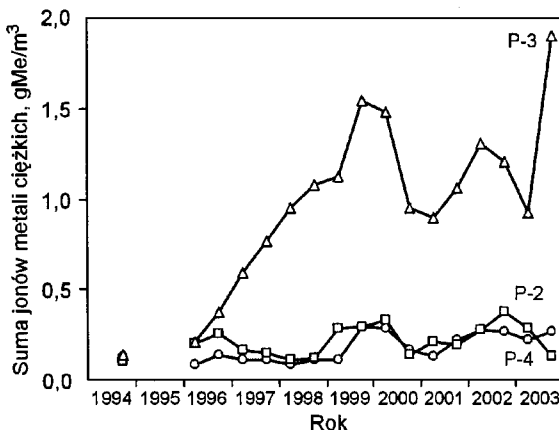
Początkowo wartości poszczególnych wskaźników były na zbliżonym poziomie, różnice wystąpiły dopiero w późniejszym czasie obserwacji. Skład wód pobranych z piezometru P-2 praktycznie nie zmienił się w całym okresie obserwacji, natomiast w wodzie z piezometru P-4 stwierdzono najpierw wzrost wartości wskaźników, a następnie wyraźną okresowość (wyższe wartości wiosną i niższe jesienią). Odmienny charakter zmian wartości wskaźników – wyraźny i systematyczny wzrost – stwierdzono w wypadku wody z piezometru P-3. Podobny był przebieg zmian zawartości jonów metali ciężkich. Wyniki



Rys. 3. Przewodność właściwa wód podziemnych



Rys. 4. Zawartość substancji rozpuszczonych w wodach podziemnych



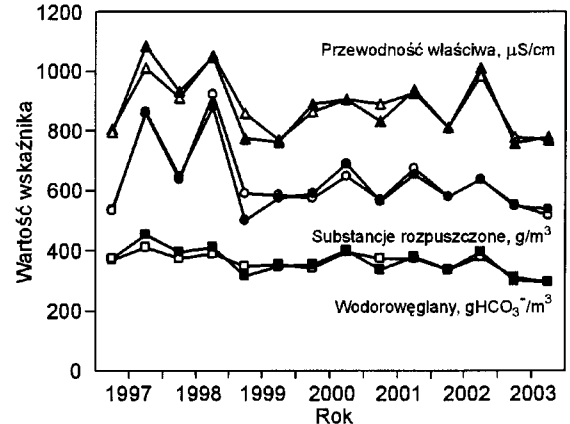
Rys. 5. Zawartość sumy jonów metali ciężkich w wodach podziemnych

analiz wód z pozostałych piezometrów P-5bis i P-6 układały się podobnie do wartości z piezometru P-2.

Obserwowane, zwłaszcza w płytkim piezometrze P-4, sezonowe zmiany składu wód podziemnych sugerowały, że może istnieć zależność pomiędzy jakością wód podziemnych a wysokością opadów atmosferycznych i deponowanym wraz z nimi ładunkiem zanieczyszczeń. W tym celu, w oparciu o uzyskane wyniki badań wód [5] i dane archiwalne IMGW [4], przeprowadzono badania statystyczne zmierzające do ustalenia korelacji. Nie przyniosły one jednak spodziewanego efektu, chociaż wystąpiły okresowe podobieństwa w trendach. Ewentualne potwierdzenie lub wykluczenie korelacji wymaga większej liczby danych oraz dłuższego czasu badań. Wyniki przeprowadzonego monitoringu wskazują jednakże na przenikanie zanieczyszczeń do wód podziemnych w północno-wschodniej części składowiska, przy czym strumień zanieczyszczonych wód obejmował jedynie piezometr P-3.

Wody powierzchniowe

Badania składu wód przepływających w sąsiedztwie składowiska Brzegnickiej Strugi wykonano w dwóch przekrojach: powyżej i poniżej składowiska. Zakres wykonanych oznaczeń był taki sam jak w wypadku wód podziemnych. Wyniki przeprowadzonych badań [5] wykazały, że pobrane w tych przekrojach próbki wody praktycznie nie różniły się między sobą składem, co ilustruje rysunek 6.



Rys. 6. Jakość wody z Brzegnickiej Strugi powyżej (białe punkty) i poniżej (czarne punkty) składowiska odpadów w Kurowicach

Pozwala to na stwierdzenie, że wody Brzegnickiej Strugi na badanym odcinku nie miały kontaktu hydraulicznego z wodami podziemnymi, a zwłaszcza silnie zanieczyszczonymi.

Hydrogeologiczna ocena chemizmu wód podziemnych

Dotychczasowe wyniki prac wiertniczych przeprowadzonych w rejonie zrekultywowanego składowiska w Kurowicach [1–3] pozwalają między innymi na stwierdzenie, że osady piaszczyste (pospółki) wykształcone są w postaci jednej ciągłej warstwy wodonośnej w otworach P-3 i P-6, natomiast w otworach P-2, P-4 i P-5bis występują dwie warstwy wodonośne (piaski drobne i pylaste), rozdzielone warstwą glin pylastych. Piezometr P-2, zafiltrowany jest w dolnej warstwie, a piezometry P-4, P-5bis w górnej warstwy wodonośnej. Tak więc przeprowadzone obserwacje hydrochemiczne w tych otworach nie dotyczyły tych samych warstw wodonośnych. Ważnym elementem wpływającym na chemizm wód podziemnych jest lokalne wypiętrzenie iłów trzeciorzędowych, które kierują główny strumień zanieczyszczonych wód

podziemnych z rejonu kontaktu hydraulicznego (północno-wschodniej części składowiska) ku otworowi P-3 i dalej zgodnie z naturalnym kierunkiem rozplywu wód podziemnych (SE→NW). Tak ukształtowane lokalne warunki hydrogeologiczne uzasadniają występujące różnice w chemizmie wód podziemnych pobranych z otworów obserwacyjnych (tab. 2).

Tabela 2. Zmiany przewodności właściwej wody w latach 2002–2003

| Otwór piezometryczny | Przewodność właściwa, $\mu\text{S}/\text{cm}$ | | | | | Odległość od P-3, m |
|----------------------|---|--------|--------|--------|---------|---------------------|
| | V 2002 | X 2002 | V 2003 | X 2003 | średnia | |
| P-2 | 1097 | 965 | 822 | 651 | 900 | 300 |
| P-3 | 5280 | 5990 | 6110 | 4100 | 5200 | – |
| P-4 | 2100 | 1837 | 1231 | 773 | 1900 | 500 |
| P-5bis | 985 | 1059 | 891 | 594 | 900 | 500 |
| P-6 | 1107 | 1151 | 1014 | 765 | 1000 | 800 |

Wysokie wartości przewodności właściwej próbek wody pobranych z otworu P-3 (ok. 5200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) potwierdzają bezpośredni kontakt hydrauliczny pomiędzy pobranymi wodami podziemnymi a nieczynnym składowiskiem (strefą zawodnionego czwartorzędu w części północno-wschodniej składowiska). Znacznie niższe wartości przewodności właściwej wód pobranych z piezometrów P-2, P-5bis i P-6 (900+1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) wskazują na brak kontaktu z zanieczyszczonymi wodami składowiska, natomiast podwyższona przewodność właściwa (około 1900 $\mu\text{S}/\text{cm}$) wody z otworu P-4 zlokalizowanego w odległości około 500 m na północny-zachód od P-3 była związana prawdopodobnie z rozplywem zanieczyszczonych wód zgodnie z naturalnym kierunkiem przepływu wód podziemnych w rejonie Kurowic. Znaczne zmniejszenie przewodności właściwej badanych wód w październiku 2003 r. znajduje swoje wyjaśnienie w zaobserwowanych zmianach składu chemicznego wód (ogólne zmniejszenie zawartości podstawowych składników).

Wnioski

◆ Badania hydrochemiczne przeprowadzone w rejonie nieczynnego, zrekultywowanego, składowiska odpadów w Kurowicach wykazały, że naturalny przepływ wód podziemnych odbywa się ku dolinie Odry, w kierunku SE→NW. Pod zwałowiskiem stwierdzono prawie zupełny brak poziomu wodonośnego (strefa zawodnionego czwartorzędu występuje jedynie w części północno-wschodniej składowiska), a jego spąg

nie kontaktuje się bezpośrednio ze zwierciadłem wód podziemnych. Ważną rolę w kształtowaniu warunków hydrogeologicznych w rejonie składowiska odgrywa strop iłów trzeciorzędowych, a szczególnie jego lokalne wypiętrzenia.

◆ Wpływ kontaktu hydraulicznego pomiędzy wodami podziemnymi a składowiskiem odpadów stwierdzono jedynie w otworze P-3, natomiast wykazano brak kontaktu hydrogeologicznego wód powierzchniowych z wodami podziemnymi. W 2003 r. wystąpiło znaczne obniżenie zwierciadła wód podziemnych w rejonie składowiska o około 1,4 m, spowodowane niewielkimi opadami wynoszącymi około 60% średniej z wielolecia 1961–1990. W tym samym roku wystąpił ogólny spadek wartości podstawowych wskaźników chemicznych (np. wartości przewodności właściwej z października 2003 r. były o około 50% niższe od wartości z maja 2002 r.).

◆ Nie stwierdzono korelacji pomiędzy zawartością jonów metali ciężkich w wodach podziemnych a wysokością opadów atmosferycznych i deponowanego wraz z nimi ładunku tych substancji, chociaż wystąpiły okresowe podobieństwa w trendach. Ewentualne potwierdzenie lub wykluczenie tej korelacji wymaga większej liczby danych oraz dłuższego czasu badań.

LITERATURA

1. W. CZABAJ, D. CZABAJ, S. KAPUŚCIANEK: Dokumentacja z badań nad wpływem składowiska odpadów „Kurowice” na środowisko podziemne. IGO Poltegor–Instytut, Wrocław 1994 (praca nie publikowana).
2. W. SICIŃSKI, W. CZABAJ: Uproszczona dokumentacja powykonawcza piezometrów uzupełniających z rejonu zrekultywowanego składowiska odpadów komunalnych „Kurowice”. IGO Poltegor–Instytut, Wrocław 1999 (praca nie publikowana).
3. W. SICIŃSKI, W. CZABAJ: Uproszczona dokumentacja powykonawcza piezometru nr P5-bis z rejonu zrekultywowanego składowiska odpadów komunalnych „Kurowice”. IGO Poltegor–Instytut, Wrocław 2001 (praca nie publikowana).
4. R. TWAROWSKI i in.: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych na obszarze dorzecza środkowej Odry. IMGW Oddział we Wrocławiu, Wrocław 1996–2003 (praca nie publikowana).
5. S. RZEPA, W. SICIŃSKI, J. TROJANOWSKA, I. ANISSIMO: Ocena zmian chemizmu wód podziemnych i powierzchniowych wokół zrekultywowanego składowiska odpadów komunalnych w Kurowicach. IGO Poltegor–Instytut, Wrocław 2003 (praca nie publikowana).

Rzepa, S., Siciński, W., Toporowicz, T., Twarowski, R. Effect of a Reclaimed Municipal Landfill on the Quality of Groundwater and Surface Water: A Case Study. *Ochrona Środowiska* 2006, Vol. 28, No. 3, pp. 55–58.

Abstract: Reclaimed municipal landfills are classified as potential anthropogenic pollutants impacting upon the natural environment. The reclaimed object in question, located in Kurowice near Głogów in the west of Poland, was subject to hydrochemical investigations from 1994 till 2003. They revealed penetration of pollutants into the groundwater (not very extensive though) in the N-E section of the landfill, the stream of

polluted water extending only to the sight-hole situated approximately 100 m northwards. No hydraulic contact was found to occur between highly polluted groundwater and surface water (Brzegnicka Struga and water reservoir in the former gravel pit). There was no correlation between the content of heavy-metal ions in the groundwater and the height of atmospheric precipitation or the precipitation-related deposition of heavy metals, although there were periodical similarities of trends.

Keywords: Municipal landfill, reclamation, groundwater, surface water, chemism of water, water pollution.