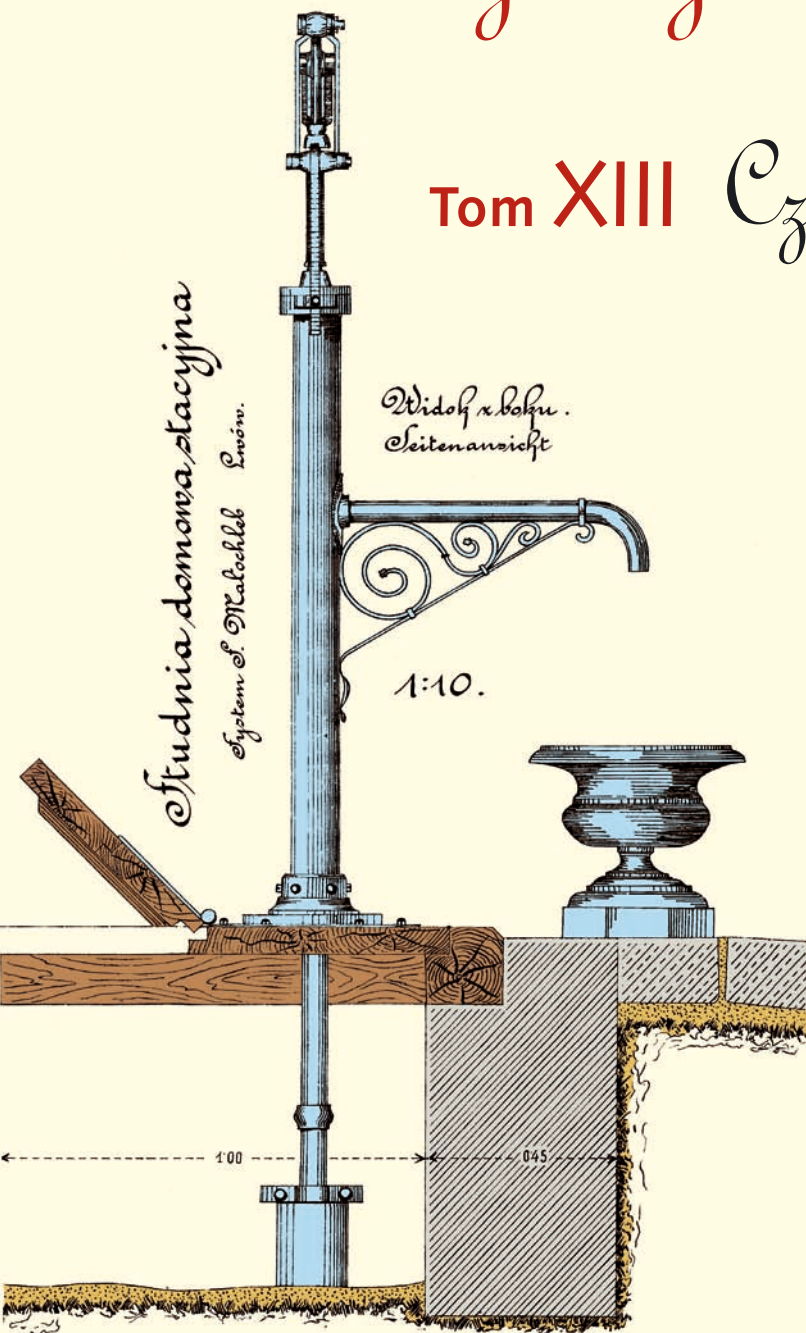


Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 3.





Wydanie publikacji zostało sfinansowane przez
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Recenzenci:

Jadwiga Szczepańska
Wojciech Ciężkowski
Józef Górski
Andrzej Kowalczyk
Ewa Krogulec
Grzegorz Malina
Jerzy Małecki
Marek Marciniak
Jacek Motyka
Marek Nawalany
Jan Przybyłek
Andrzej Rózkowski
Andrzej Sadurski
Andrzej Szczepański
Stanisław Staško
Stanisław Witczak
Andrzej Zuber

Redakcja: Andrzej Szczepański, Ewa Kmiecik, Anna Żurek

Teksty artykułów w częściach 2. i 3. zostały wydrukowane z wersji elektronicznej dostarczonej przez Autorów, metodą bezpośredniej reprodukcji (*camera ready*)

Projekt okładki i stron tytułowych: Andrzej Tomaszewski

Na okładce: fragment projektu studni miejskiej we Lwowie z 1906 roku
— ze zbiorów prof. **Antoniego S. Kleczkowskiego** (1922–2006)

Korekta: Zespół

Skład komputerowy systemem $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$: pre $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ t, www.pretext.com.pl

Druk: ROMA-POL, www.romapol.pl

ISBN-13 978-83-88927-16-4

Andrzej J. Witkowski, Aneta M. Żurek

Wpływ starych, zrehabilitowanych składowisk odpadów komunalnych na wody podziemne

Impact of Old Remediated Sanitary Landfills on Groundwater

Słowa kluczowe składowiska, odpady komunalne, zanieczyszczenie, wody podziemne

Key words old landfill, impact, groundwater, contamination

Abstract Paper presents an example of the negative impact of an old unlined and remediated sanitary landfill on groundwater quality of the Quaternary aquifer. Landfill is located in SE part of Tychy town. Quality of groundwater of the shallow Quaternary aquifer has been monitored since 1995. After remediation works and covering the landfill's top with HDPE plastic sheeting significant negative changes in groundwater quality downstream from the landfill (in well P10) has been observed. Due to changes in redox conditions, to more anoxic, an increase content of ammonium and hydrocarbon with simultaneous decrease of sulphate in monitored groundwater has been noticed.

1. Wstęp

Interesującym przykładem negatywnego oddziaływania starego zrekułtywowanego składowiska odpadów komunalnych na wody podziemne jest obiekt w Tychach – Urbanowiczach. Składowisko o powierzchni 3,5 ha powstało na terenie byłego wyrobiska piasku o szacunkowej głębokości ok. 8 m. Pierwotnie (przed 1988 rokiem) funkcjonowało jako składowisko odpadów budowlanych, natomiast od roku 1988 jako składowisko odpadów komunalnych miasta Tychy. Od 1994 roku składowisko jest nieczynne i jego funkcję przejął nowy z odpowiednio uszczelniony obiekt usytuowany w najbliższym sąsiedztwie.

Z uwagi na brak uszczelnienia podłoża składowisko to nie było w żaden sposób zabezpieczone przed możliwością przenikania z niego zanieczyszczeń do wód podziemnych. Realizowany od 1995 roku w jego rejonie lokalny monitoring jakości wód podziemnych czwartorzędowego piętra wodonośnego wskazywał na negatywny wpływ składowiska na te wody. Jesienią 1996 roku rozpoczęto rekułtywację powierzchni nieczynnego już składowiska, którą ukończono w marcu 1997 roku. Wierzchovina składowiska została przykryta folią HDPE o grubości 1,5 mm. Folia zachodziła na skarpy na długość ok. 1 m nie przykrywając ich reszty. Zrealizowane prace rekułtywacyjne nie poprawiły sytuacji, wręcz odwrotnie, przez analizowany okres 6 lat negatywne oddziaływanie składowiska na wody podziemne uległo zwiększeniu.

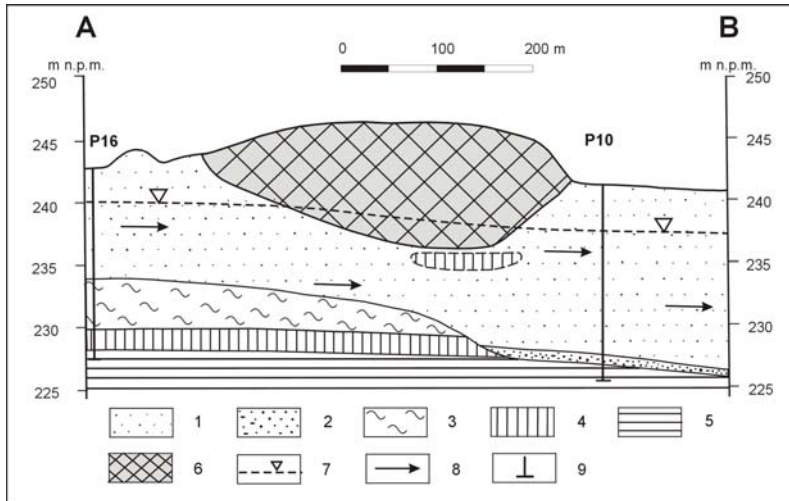
2. Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne

Analizowany obszar zlokalizowany jest w zasięgu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW), w zasięgu zapadliska przedkarpackiego. W rozpoznanym profilu geologicznym w rejonie starego składowiska występują utwory neogenu (czwartorzęd - plejstocen, miocen), triasu (lokalnie – płyty) i karbonu. W bezpośrednim podłożu składowiska występują utwory plejstocenu wykształcone w postaci głównie piasków o zróżnicowanej granulacji, także pylastych i zaglinionych oraz żwirów i lokalnie glin. Miąższość utworów plejstocenijskich w tym rejonie jest zmienna w zakresie 12,5–17 m (rys. 1). Poniżej występują ilaste osady miocenu o miąższości ponad 60 m, przykrywające utwory karbonu produktywnego lub występujące lokalnie płyty utworów węglanowych triasu.

W profilu hydrogeologicznym obszaru wyróżniamy piętra wodonośne czwartorzędu, triasu (lokalnie) i karbonu. Z punktu widzenia zagrożenia i ochrony wód podziemnych istotne jest jedynie czwartorzędowe piętro wodonośne występujące bezpośrednio pod starym składowiskiem. Niżej położone piętra wodonośne nie są zagrożone ze strony zanieczyszczeń antropogenicznych generowanych na powierzchni terenu.

W analizowanym obszarze czwartorzędowe piętro wodonośne związane jest z utworami piaszczysto-żwirowymi i stanowi ono praktycznie jeden poziom wodonośny lokalnie rozdzielony przez utwory gliniasto-pylaste na dwie warstwy pozostające w łączności hydraulicznej. Miąższość utworów wodonośnych waha się od ok. 3,5 m do ok. 12,3 m (Witkowski i in., 2006). Zwierciadło ma generalnie charakter swobodny i położone jest na

głębokości od ok. 2,5 m ppt do ponad 7,5 m ppt. Lokalnie w obszarach występowania w profilu czwartorzędowych utworów gliniasto-pyłastych zwierciadło ma charakter napięty.



Rysunek 1. Schematyczny przekrój hydrogeologiczny (A-B). Objasnienia: czwartorzęd: 1 – piasek; 2 – żwir; 3 – pył; 4 – glina; 5 – il; 6 – odpady; 7 - zwierciadło wód gruntowych; 8 – kierunek przepływu wód; 9 - piezometr

Figure 1. Schematic hydrogeological cross-section (A-B). Explanation: Quaternary: 1 – sand; 2 – gravel; 3 – dust; 4 – till; Miocene: 5 – clay; 6 – wastes; 7 – groundwater table; 8 – groundwater flow direction; 9 – observation well

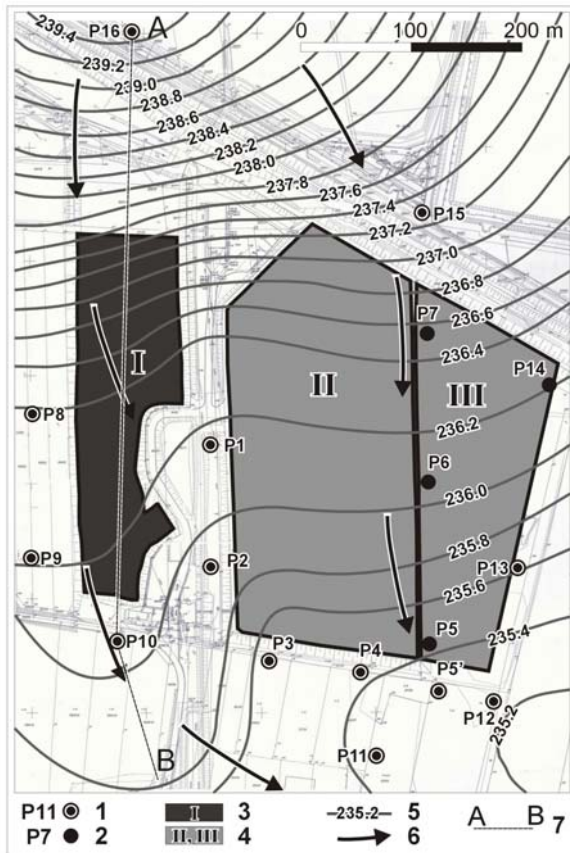
Wody czwartorzędowego piętra wodonośnego zasilane są bezpośrednio przez infiltrujące opady atmosferyczne, natomiast ich podstawę drenaży stanowi rzeka Gostynia, płynąca na południe od składowiska. W części północno-wschodniej obszaru wody tego piętra są prawdopodobnie drenowane przez rzekę Tyszanka (inaczej potok Tyski) płynącą na wschód od nowego składowiska. Przepływ wód odbywa się generalnie z północy na południe, z lokalnymi i okresowymi odchyleniami na południowy-wschód (rys. 2).

Analizowany obszar położony jest w zasięgu użytkowego poziomu wód podziemnych (UPWP) Rejonu Małej Wisły, oznaczanego symbolem Q_{II} (Rózkowski i inni, 1997). W rejonie składowiska oraz w najbliższym jego sąsiedztwie czwartorzędowe piętro wodonośne nie jest eksploatowane.

3. Monitoring jakości wód podziemnych w rejonie składowisk

W rejonie analizowanego starego składowiska oraz wokół nowych kwater funkcjonuje sieć lokalnego monitoringu jakości wód podziemnych składająca się aktualnie z 13 piezometrów (rys. 2). W pierwotnej sieci monitoringu utworzonej w roku 1995 (14 piezometrów: od P1 do P14) brakowało piezometru usytuowanego na dopływie wód podziemnych w obszar składowiska. W związku z rozbudową czynnego składowiska (o nową kwaterę KW 1/2)

w 2000 roku odwiercono trzy nowe piezometry P15 i P16 oraz P5', likwidując jednocześnie cztery inne znajdujące się w obszarze budowanej nowej kwatery (P5, P6, P7 i P14). Piezometry P15 i P16 zlokalizowano powyżej składowiska na dopływie wód podziemnych (rys. 2). Po tej modernizacji funkcjonująca sieć monitoringu dla nowego składowiska spełnia aktualne wymogi prawne (Dz.U., Nr 220, poz.1858 z 2002).



Rysunek 2. Mapa hydroizohips czwartorzędowego piętra wodonośnego w rejonie składowisk odpadów komunalnych (kwiecień 2006, za Witkowski i inni, 2006). Objasnienia: 1 – piezometry sieci monitoringu jakości wód podziemnych; 2 – piezometry zlikwidowane; 3 – stare, zrehabilitowane składowisko; 4 – nowe składowisko (dwie kwatery); 5 - hydroizohipsa (m n.p.m); 6 – kierunek przepływu wód podziemnych

Figure 2. Contour map of the Quaternary aquifer in the area of sanitary landfills (April 2006, according to Witkowski et al., 2006). Explanation: 1 – observation wells of the groundwater quality monitoring network; 2 – liquidated observation wells; 3 – old, remediated landfill; 4 – new landfill (two parts); 5 groundwater contour line (m a.s.l); 6 – groundwater flow direction

Monitoring jakości wód podziemnych w rejonie składowisk prowadzony był od 1995 roku z różną częstotliwością (od 2 do 3 razy w roku) oraz w różnym zakresie (Witkowski, Wróbel, 1995-2001). Jednolite badania obejmujące zarówno badania terenowe (temperatura, przewodność elektrolityczna właściwa, odczyn - pH, potencjał redox - Eh, mętność, barwa, zapach, zasadowość, kwasowość) jak i laboratoryjne (ChZT_{Cr}, pH, wodorowęglany, chlorki, siarczany, wodorowęglany, azot amonowy, azot azotanowy, azot azotynowy, azot ogólny, fosfor ogólny, żelazo ogólne, bor, chrom ogólny, cynk, kadm, miedź, nikiel, ołów i fenole lotne) prowadzone były do 2003 roku.

Od 2004 roku (w nawiązaniu do wspomnianych już uwarunkowań prawnych - Dz.U., Nr 220, poz.1858 z 2002 roku) wykonuje się 4 opróbowania rocznie jednak przy znacznie zmienionym i zróżnicowanym zakresie badań (pH, przewodność elektrolityczna właściwa, ołów, kadm, miedź, cynk, chrom (VI), rtęć, ogólny węgiel organiczny i suma WWA oraz dodatkowo w piezometrach: P-3, P-4, P-5, P-10, P-11 i P-16: ChZT_{Mn}, ChZT_{Cr}, chlorki, siarczany, azotany, azotyny, azot ogólny, fosfor ogólny, nikiel, fenole lotne, substancje ekstrahujące się eterem naftowym, substancje ropopochodne). W tej sytuacji analizę wpływu starego składowiska na wody podziemne odpływające z jego obszaru oparto o wiarygodne i jednorodne wyniki badań (Szczepańska, Kmiecik, 1998) wykonanych w latach 1995-2003 na próbach wody pobranych, przy zastosowaniu stałej metodyki, z piezometru P10.

4. Ocena negatywnego oddziaływania składowiska na skład chemiczny monitorowanych wód podziemnych czwartorzędowego piętra wodonośnego

Biorąc pod uwagę usytuowanie piezometrów w stosunku do starego składowiska oraz układu hydrodynamicznego wód podziemnych czwartorzędowego piętra wodonośnego należy stwierdzić, iż w obszarze potencjalnego negatywnego oddziaływania tego obiektu znajdują się praktycznie cztery piezometry: P10, P1, P2 i P3 (rys. 2). Wyraźne oddziaływanie stwierdzono jednak jedynie w P10 (tab. 1) zlokalizowanym na przedpolu składowiska na kierunku odpływu wód podziemnych. W ograniczonym zakresie negatywny wpływ składowiska stwierdzono także w piezometrach P-1 i P-2. W piezometrze P-3 oddziaływania tego praktycznie się nie obserwuje.

Jako referencyjny (bez wpływu składowiska) uznano skład chemiczny wód podziemnych dopływających do rejonu składowiska i pobranych z piezometru P-16. Z uwagi na brak wyników badań w tym piezometrze z początkowego okresu funkcjonowania monitoringu jakość wód w piezometrze P-10 porównano z piezometrem P-8, którego lokalizacja i dotychczasowe wyniki badań wskazują na praktyczny brak w nim negatywnego oddziaływania starego składowiska (tab. 1). Trzeba jednak nadmienić, iż cały badany obszar położony jest w strefie wysokiej antropopresji, a wody podziemne narażone są na nakładający się negatywny wpływ różnorodnych ognisk zanieczyszczeń o czym może świadczyć zła jakość wód zarówno w piezometrach położonych poza potencjalnym wpływem obydwu składowisk w części wschodniej obszaru (P13 i zlikwidowany P14) jak również w nowych piezometrach (P15 i P16) usytuowanych w części północnej rejonu

badan w obszarze dopływu wód w rejon monitorowanych składowisk (Witkowski, Wróbel, 1995-2001).

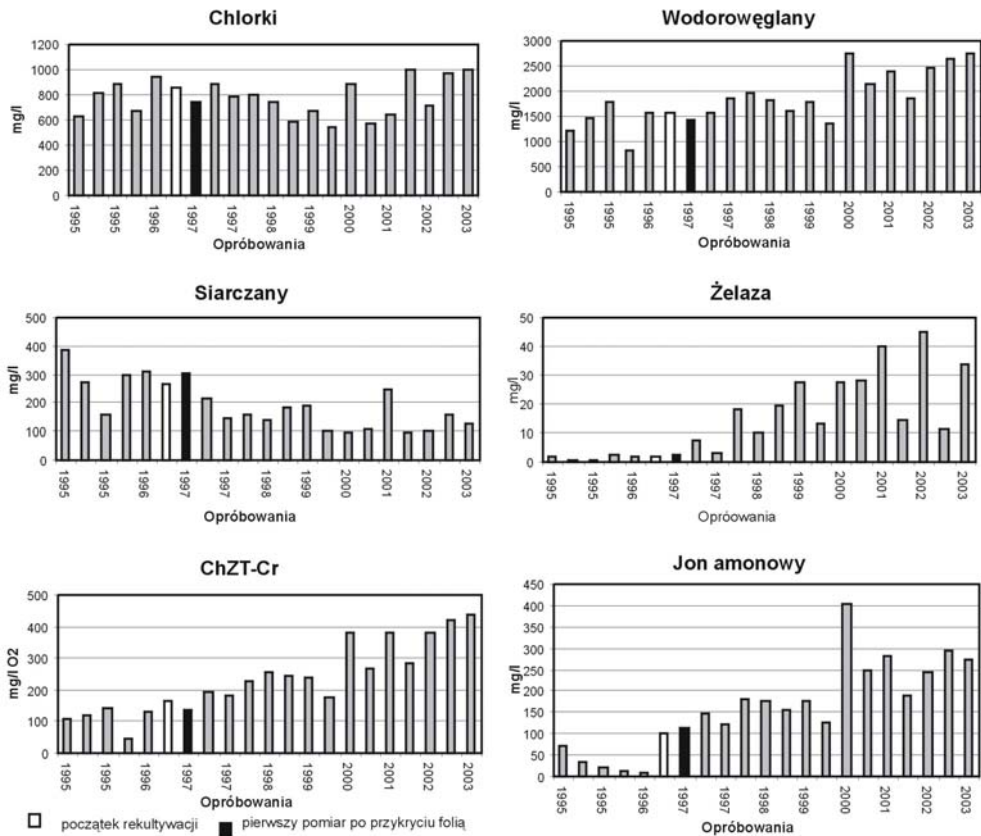
Tabela 1. Zestawienie wielkości wybranych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych czwartorzędowego piętra wodonośnego w piezometrach P-8 i P-10
Table 1. Selected groundwater pollution indicators at observation wells P-8 and P-10

Wskaźnik zanieczyszczeń	Piezometr	Początek badań (VI 1995)	Pierwsza seria opróbowań po rekultywacji składowiska (V 1997)	Dwudziesta pierwsza seria opróbowań (XI 2003)
Cl ⁻ (mg/l)	P-8	39	41,4	28,9
	P-10	622	747	1005
HCO ₃ ²⁻ (mg/l)	P-8	85,4	61	71,4
	P-10	1202	1434	2745
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	P-8	94	120	119
	P-10	383	301	128,5
Fe _{og} (mg/l)	P-8	28,8	20,6	20,88
	P-10	2,0	2,2	33,98
NH ₄ ⁺ (mg/l)	P-8	0,96	0,60	<0,26
	P-10	70,7	112,1	272,1
ChZT _{Cr} (mg O ₂ /l)	P-8	19,6	4,9	<10
	P-10	110	139	438

Dotychczasowe wyniki badań monitoringowych wskazują, iż badane wody podziemne w rejonie składowiska są silnie zanieczyszczone substancjami organicznymi. Praktycznie przez cały wieloletni okres badań we wszystkich obserwowanych piezometrach stwierdzano podwyższone wartości ChZT_{Cr} badanych wód podziemnych (maksymalnie do 438 mg O₂/l w P10). Zdecydowanie najgorszej jakości wodę obserwowano w piezometrze nr 10, gdzie stwierdzano ponadnormatywne (w stosunku do aktualnych wymagań dla wód pitnych – Dz. U. Nr 203, poz. 1718 z 2002 r) zawartości azotu amonowego (do 272,1 mg/l), chlorków (do 1005 mg/l), niklu (do 0,14 mg/l), kadmu (do 0,09 mg/l), ołowiu (do 0,15 mg/l) i żelaza (do 44,8 mg/l). Nie odpowiadała normie także mętność, zapach, i barwa oraz ChZT tych wód.

Do oceny przyczyn obserwowanych zmian w stopniu negatywnego oddziaływania składowiska na wody podziemne przeprowadzono analizę zmienności wybranych wskaźników zanieczyszczeń we wspomnianych już piezometrach P-10 i P-8 (tab. 1). Wybrano sześć wskaźników, regularnie oznaczanych w latach 1995-2003, w tym pięć wskaźników których zmienność może być uzależniona od zmian warunków utleniająco-redukcyjnych w składowisku (siarczany, wodorowęglany, żelazo, jon amonowy oraz ChZT_{Cr}) oraz jeden wskaźnik od tych warunków niezależny (chlorki). Z uwagi na brak oznaczeń utlenialności (ChZT_{Mn}) jako wskaźnik ogólnej zawartości substancji organicznej w badanych wodach uwzględniono oznaczane ChZT_{Cr} (Witczak, Adamczyk, 1995).

Zestawione w tabeli 1 wyniki badań wskazują na ewidentne negatywne oddziaływanie starego składowiska odpadów na jakość monitorowanych wód podziemnych. Jednak szczególnie interesujący jest fakt stwierdzonej w piezometrze P-10 istotnej negatywnej zmiany składu chemicznego wód odpływających z obszaru starego składowiska (tab.1). Po zrealizowanej w 1997 rekultywacji składowiska zaobserwowano wyraźny wzrost stopnia zanieczyszczenia wód monitorowanych w tym piezometrze. Stwierdzono wyraźny wzrost zawartości substancji organicznych oraz niektórych analizowanych składników nieorganicznych, w tym żelaza i wodorowęglanów oraz jonów amonowych (rys. 3). W rozpatrywanym okresie w pozostałych punktach monitoringowych praktycznie nie stwierdzono (poza wahaniami sezonowymi) istotnych trendów zmian analogicznych jak w piezometrze P-10.



Rysunek 3. Zmienność czasowa wybranych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych w piezometrze P10.

Figure 3. Temporal variations of selected groundwater pollution indicators at observation well P-10

Analiza obserwowanych zmian składu chemicznego wód w piezometrze P10 wskazuje na zachodzenie w tych wodach procesów związanych ze zmianami potencjału utleniająco-redukcyjnego w bryle składowiska po jego rekultywacji. Przykrycie folią składowiska wpłynęło na powstanie w jego bryle oraz w najbliższym otoczeniu (w dół strumienia wód podziemnych) warunków bardziej redukcyjnych. W piezometrze P10 wartość Eh dopływających wód podziemnych uległa obniżeniu z ok. +200 mV (na początku badań w 1995 roku) do ok. +74 mV (w 1999 roku) i ok. +132 mV (w 2003 roku). W rejonie tego piezometru warunki redox z przejściowych zmieniły się na słabo redukcyjne by pod koniec 2001 roku ponownie przejść na przejściowe (Macioszczyk, Dobrzyński, 2002).

Obserwowany w monitorowanych wodach podziemnych w P10 wzrost zawartości azotu amonowego, żelaza i wodorowęglanów, przy jednoczesnym spadku zawartości siarczanów wskazuje na zachodzące w środowisku tych wód procesy redukcji żelaza, siarczanów oraz związków azotu (Appello, Postma, 1993; Macioszczyk, Dobrzyński, 2002). Na wyraźne ograniczenie procesów utleniania wskazuje także obserwowany istotny wzrost $ChZT_{Cr}$ badanych wód podziemnych (rys.3). Brak analogicznych tendencji zmian w przypadku konserwatywnych chlorków dodatkowo potwierdza słuszność przedstawionych wyżej wniosków. Aktualnie realizowane badania w rejonie tego składowiska oraz ich kompleksowa interpretacja (wyznaczenie tła hydrogeochemicznego dla wód dopływających i odpływających, modelowanie hydrogeochemiczne) powinny dać bardziej wiarygodną odpowiedź co do charakteru, zakresu, zasięgu przestrzennego oraz tempa zachodzących w tym rejonie zmian składu chemicznego wód podziemnych.

5. Podsumowanie

W podsumowaniu należy stwierdzić, iż w konkretnym przypadku analizowanego starego, nieuszczelnionego składowiska odpadów jego rekultywacja i przykrycie wierzchowiny folią spowodowało ograniczenie lub wręcz czasowe zatrzymanie zachodzących w bryle składowiska procesów utleniania zarówno substancji organicznej jak i składników nieorganicznych takich jak siarczki, żelazo. Zmiany te w istotny sposób wpłynęły na, prawdopodobnie okresowy, wzrost zanieczyszczenia wód podziemnych w obszarze ich odpływu z rejonu składowiska (wzrost ilości substancji rozpuszczonych, wodorowęglanów, amoniaku i żelaza).

Składowisko w Tychach ze względu na raczej prostą budowę geologiczną podłoża oraz stosunkowo nieskomplikowane warunki hydrogeologiczne jest bardzo dobrym poligonem do badań nad oddziaływaniem tego typu obiektów na wody podziemne oraz nad samą techniką prowadzenia monitoringu i jej wpływem na wiarygodność i reprezentatywność uzyskanych wyników.

Literatura

Appello C.A.J, Postma D. 1993: *Geochemistry, groundwater and pollution*, Rotterdam, Balkema, ISBN 90 5410 106 7.

- Macioszczyk A., Dobrzyński D., 2002: *Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych*, Warszawa, Wydawnictwa Naukowe PWN, ISBN 83-01-13879-3.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów /Dz. U. z 2002 r. Nr 220, poz. 1858/.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19 listopada 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi /Dz. U. Nr 203, poz. 1718 z 2002 r./.
- Rózkowski A., Chmura A., Siemiński A. (red.), 1997: *Użytkowe wody podziemne Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i jego obrzeżenia*, Prace PIG CLIX, Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny, ISSN 0866-9465.
- Szczepańska J., Kmieciak E., 1998: *Statystyczna kontrola jakości danych w monitoringu wód podziemnych*, Kraków, Wydawnictwa AGH, ISSN 0239-6114.
- Witkowski A.J., Wróbel J., 1995-2001: Monitoring wód podziemnych na składowisku odpadów komunalnych w Tychach – Urbanowicach - *Sprawozdania z badań wykonanych w latach 1995 – 2001*, niepublikowane raporty, Sosnowiec, Uniwersytet Śląski.
- Witczak S., Adamczyk A., 1995: *Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania*. T.II. Warszawa. Biblioteka monitoringu środowiska. ISBN 83-86676-26-4.
- Witkowski A.J., Miotliński K., Siwek P., Wróbel J., 2006: *Ocena przyczyn zanieczyszczenia wód podziemnych czwartorzędowego piętra wodonośnego w rejonie starego składowiska odpadów w Tychach-Urbanowicach*, niepublikowany raport, Sosnowiec, Zakład Badawczo-Usługowy Intergeo.