

Zanieczyszczenie wód podziemnych związkami chloroorganicznymi w rejonie składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” w Bydgoszczy

Dorota Pietrucin¹, Mariusz Czop¹

Groundwater contamination by organochlorine compounds in the area of industrial waste dump “Zielona” in Bydgoszcz City. *Prz. Geol.*, 63: 997–1001.

Abstract. Characteristics of Quaternary aquifer pollution by halogenated organic compounds (AOX) was based on: chemical analysis of layer pollution on the industrial dump site, redox conditions and pH changes in groundwater. At very high concentrations of AOX (above 5 mg/dm³) probably the organochlorine compounds are dominating (TOC above 1600 mg/dm³, Cl⁻ 11 g/dm³, Br⁻ 11 mg/dm³). There is also identified the occurrence of VOX compounds in concentration 6 µg/dm³ for PCE and 9 µg/dm³ for TCE. Distribution of Fe²⁺ (673 mg/dm³) and Mn²⁺ (15 mg/dm³) concentrations and also redox potential changes in contaminant plume indicate a transformation of VOX. Reaction scheme was developed under the specific soil and water environment conditions in “Zachem” Chemical Plant, as follow: PCE → TCE → DCM → CO₂ + 2H⁺ + Cl⁻. Groundwater does not meet any quality standards and is really dangerous for living organisms. The whole contaminated area (i.e. “Zielona” industrial waste dump and range of contaminant plume) requires immediate and effective remediation.

Keywords: organochlorine compounds, PCE and TCE, AOX contamination, groundwater

W ostatnich latach w hydrogeochemii obserwuje się wzrost zainteresowania związkami chloroorganicznymi, ich wpływem na jakość wód podziemnych i docelowo zdrowie oraz życie człowieka (Kowalczyk i in., 2001; Kret, 2013; Witczak i in., 2013; Kiecak, 2014).

Aspektem ograniczającym badania są wysokie koszty analiz związków organicznych oraz dostępność specjalistycznego sprzętu laboratoryjnego. Kluczowym etapem rozwiązywania problemu migracji związków chloroorganicznych jest precyzyjne wskazanie ogniska zanieczyszczeń oraz ocena potencjału zanieczyszczenia, a także identyfikacja procesów chemicznych i mikrobiologicznych zachodzących w obrębie badanej chmury zanieczyszczeń. Działania remediacyjnych zmierzających do polepszenia stanu środowiska naturalnego lub przywrócenia go do stanu akceptowalnego nie da się bowiem przeprowadzić bez szczegółowej analizy hydrogeochemicznej.

Omówione w pracy badania migracji współwystępujących zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych w środowisku gruntowo-wodnym w rejonie Zakładów Chemicznych „Zachem” w Bydgoszczy wykonano w latach 2012–2013. Analiza migracji związków chloroorganicznych stanowi bardzo ważny kierunek badań monitoringowych. Związki te zasługują na szczególną uwagę z racji ich silnych właściwości toksycznych. Fakt ich występowania w strumieniu wód podziemnych przekłada się na bezpośrednie zagrożenie życia i zdrowia okolicznych mieszkańców Bydgoszczy, Otorowa, Płatnowa i Łęgnowa. Wody podziemne czwartorzędowego piętra wodonośnego są na tym obszarze silnie zanieczyszczone zarówno przez składniki nieorganiczne, jak i organiczne, w tym w szczególności przez związki haloorganiczne (HOX), z grup AOX (adsorbowalne) i VOX (lotne). Należy dodatkowo zwrócić uwagę na silną toksyczność związków AOX oraz realne zagrożenie skażenia wód ujmowanych na potrzeby mieszkańców zamieszkałych w sąsiedztwie rejonu badań. Porównanie z danymi literaturowymi wskazuje, że omawiany obszar stanowi jeden z najbardziej zanieczyszczonych

związkami AOX rejonów na świecie (Grøn, 1995, 2005; Trauth & Xanthopoulos, 1997; Jancewicz i in., 2011).

CHARAKTERYSTYKA SKŁADOWISKA ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH „ZIELONA”

Kluczem do zrozumienia migracji substancji chemicznych w warstwie wodonośnej w rejonie ogniska zanieczyszczeń, typu składowiska odpadów przemysłowych, jest szczegółowa analiza zdeponowanych w jego obrębie składników rozpuszczalnych, związanych bezpośrednio z profilem produkcyjnym zakładu.

Historia składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” jest skomplikowana, a jego początki sięgają lat 40. XX w. – początkowo była związana z depozycją materiałów wybuchowych oraz z eksploatacją górnictw. Rejon ten funkcjonował początkowo jako wyrobisko piaskowni, nieznanym jest jednak jego dokładny zasięg.

Obecnie pod pojęciem składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” rozumie się trzy obszary: dawne wyrobisko piaskowni, w którym składowano odpady przemysłowe, składowisko ogólnozakładowe oraz izolowane składowisko osadów (ISO).

W latach 1960–1975 nieczynne wyrobisko piaskowni funkcjonowało jako składowisko odpadów niebezpiecznych, przede wszystkim paku (tj. bezpostaciowego odpadu z produkcji fenolu) oraz siarczynu sodowego silnie zanieczyszczonego fenolem, pochodzących z produkcji fenolu i kleju Rezokol (żywica fenolowo-formaldehidowa). Wyrobisko wypełniano również odpadami z produkcji barwników, gruzem budowlanym oraz innymi materiałami o bardzo zróżnicowanym składzie (w tym szmaty, papier itp.). Na składowisku stwierdzono również występowanie odpadów smolistych, mazutu oraz smół poprodukcyjnych. W latach 1984–1995 składowisko odpadów niebezpiecznych przekształcono w plac spalań odpadów innych niż niebezpieczne, niebezpiecznych z produkcji specjalnych (odpadowe nitrozwiązki) oraz wypalanie urządzeń i armatury

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; pietruc@agh.edu.pl, mariucz@agh.edu.pl.

wygomowanej, a odpady inne niż niebezpieczne deponowano na obrzeżach terenu w sposób niezorganizowany. Szacuje się, że na powierzchni 4 ha zdeponowano około 82 tys. ton odpadów (Narwojsz, 2007).

W latach 80. XX w., na wschód od placu spalań, zapoczątkowano budowę składowiska ogólnozakładowego odpadów innych niż niebezpieczne. Złożono na nim chlorofenole (związki grzybobójcze) oraz glikole (odpady surowców produkcyjnych lub z wymienników ciepła). Dopuszcza się możliwość, że niektóre odpady były własnością innych podmiotów niż Zakłady Chemiczne „Zachem” i jego prawni poprzednicy. Szacuje się, że na składowisku o pojemności 65 tys. m³ do 2000 r. zdeponowano 27,1 tys. ton odpadów, sięgających 3 m powyżej powierzchni terenu.

Ostatnim etapem rozbudowy składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” było wybudowanie izolowanego składowiska odpadów (ISO) zlokalizowanego obecnie w zachodniej części całego obiektu. Składowisko o powierzchni 4 ha zaprojektowano na przyjęcie odpadów o pojemności 188 tys. m³, w tym również osadów z centralnego zbiornika uśredniania ścieków dla całości ZCh „Zachem”.

W obrębie składowiska odpadów „Zielona” zgromadzono znaczną ilość zróżnicowanych pod względem składu substancji chemicznych, w tym w dominującej części związków organicznych. Na podstawie wykonanych szacunków i podsumowań określono, że były to: pofenolowy siarczyn sodowy (51,4 tys. ton), pak pofenolowy (2,3 tys. ton), odpady z przemysłu barwnikarskiego (19,6 tys. ton) oraz grys wapienny (3,2 tys. ton). Po 2006 r. ze składowiska usunięto zalęgające tam wcześniej chlorofenole (19,0 tys. ton) (Zachem, 1991).

SYNTETYCZNY OPIS BUDOWY GEOLOGICZNEJ I WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

Budowa geologiczna rejonu składowiska odpadów „Zielona” warunkowana jest przez utwory czwartorzędowe akumulacji lodowcowej i eolicznej, zarówno przepuszczalne (piaski i żwiry), jak i słaboprzepuszczalne (gliny). Najistotniejsze znaczenie ma kilkumetrowa warstwa fluwioglacjalnych utworów piaszczysto-żwirowych oraz piasków drobno- i średnioziarnistych pochodzenia eolicznego, podścielona kompleksem glin zwałowych i piasków gliniastych. Strop warstwy gliniastej zalega zazwyczaj na głębokości 7,8–14,7 m, lokalnie kompleks utworów nieprzepuszczalnych występuje na powierzchni terenu. Bezpośrednio w podłożu składowiska odpadów „Zielona” strop utworów gliniastych zalega na głębokości 5,5–7,5 m.

Najistotniejsze znaczenie dla migracji zanieczyszczeń ze składowiska odpadów „Zielona” w środowisku wód podziemnych ma przypowierzchniowa warstwa utworów piaszczystych i piaszczysto-żwirowych. Czwartorzędowe utwory piaszczyste charakteryzują się współczynnikami filtracji w granicach od $4,0 \times 10^{-5}$ m/s do $1,69 \times 10^{-4}$ m/s (Smarzyński & Sadowski, 2005). Zwierciadło wód podziemnych ma charakter swobodny, a tylko lokalnie naporowy. Przepływ wód podziemnych odbywa się z zachodu na wschód i północny-wschód, w kierunku do rzeki Wisły. Rzeczywiste kierunki przepływu są determinowane przez morfologię stropu glin zwałowych podścielających warstwę wodonośną.

W celu ograniczenia rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń ze składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”

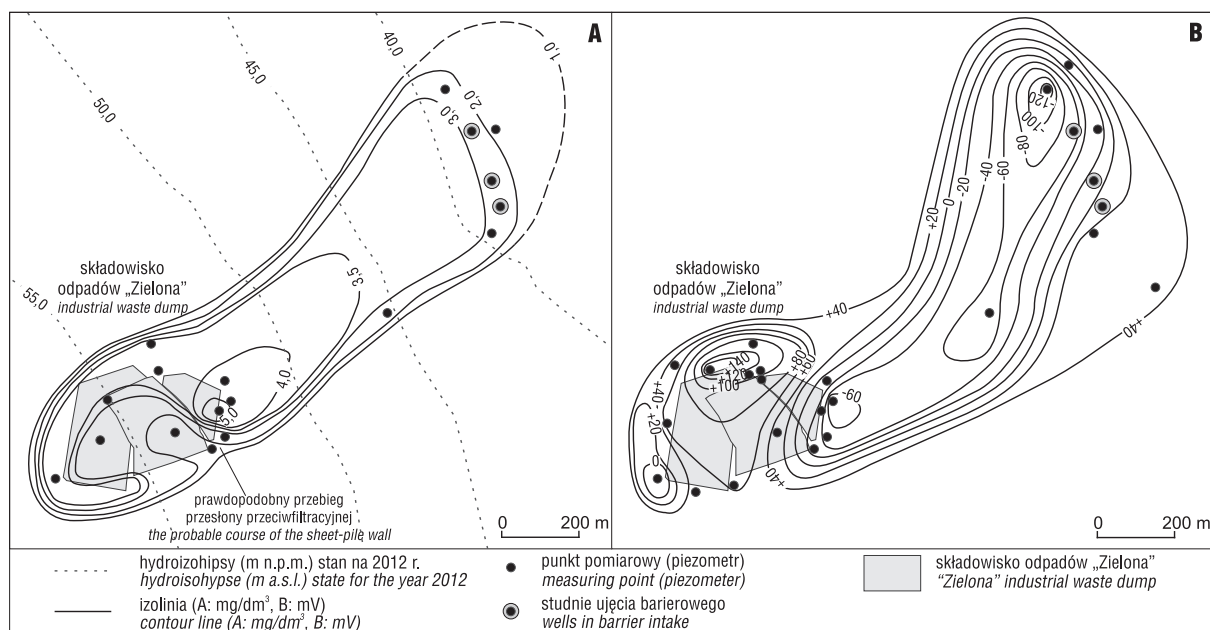
wykonano ujęcie barierowe na kierunku ich odpływu. Wskutek nieprzemyślanych działań i niedociągnięć technicznych osiągnięto jednak efekt znacznie odbiegający od wstępnych założeń. Ujęcie zlokalizowano w odległości ok. 1 km od składowiska, a jego eksploatacja odbywała się nie w sposób ciągły, lecz jedynie od kwietnia do listopada. Wskutek pracy ujęcia zintensyfikowano prędkość migracji chmury zanieczyszczeń na odcinku składowisko – bariera drenażowa, dodatkowo w okresie zimowym (grudzień–marzec) zanieczyszczenia mogły się swobodnie przemieszczać w kierunku Wisły.

W lutym 2005 r., w związku z brakiem efektów funkcjonowania ujęcia barierowego, wykonano instalację poręcznej przesłony przeciwfiltracyjnej w południowo-wschodniej części składowiska. W celu monitorowania poprawności jej działania wykonano za nią dwa piezometry, na kierunku odpływu wód podziemnych. Obserwacje dowiodły, że instalacja nie spełnia swojej roli, a zanieczyszczenia nadal migrują w kierunku północno-wschodnim. Kolejne badania potwierdziły, że przesłona nie została dogłębiona do glin zwałowych, a co za tym idzie zanieczyszczenia przepływają poniżej przesłony. Chmura zanieczyszczeń opływa również bokami zbyt krótką przesłonę, która nie przecina strumienia wód podziemnych na całej jej szerokości.

CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW WYSTĘPOWANIA I MIGRACJI ZWIĄZKÓW CHLOROORGANICZNYCH

Związki chloroorganiczne należą do grupy substancji haloorganicznych (HOX), które w wielu przypadkach uznaje się za toksyczne (mutagenne i kancerogenne) i niebezpieczne dla zdrowia i życia organizmów żywych, w tym człowieka. W obrębie związków haloorganicznych wydziela się adsorbowalne organicznie związane chlorowce (AOX), które zawierają w swojej budowie atomy chloru, bromu i jodu. Związki te charakteryzują się trwałością w środowisku oraz wysokim współczynnikiem kumulacji w biosferze. Kolejną grupą w obrębie omawianej rodziny substancji są lotne związki haloorganiczne (VOX), do których należą m.in. chlorowane eteny i metany (PCE, TCE, chloroform i in.). Występowanie związków haloorganicznych w środowisku ma charakter antropogeniczny, a ich głównym źródłem są ścieki przemysłowe oraz preparaty stosowane w rolnictwie (związki owadobójcze i chwastobójcze) (Weiner, 2007).

Podczas badań zasięgu chmury zanieczyszczeń ze składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” w Bydgoszczy wykonano wiele analiz chemicznych zarówno organicznych, jak i nieorganicznych. Analizy związków organicznych wykonano z użyciem chromatografii gazowej z detekcją wychwytu elektronów (GC-ECD), detekcją mas (GC-MS) oraz detekcją płomieniowo-jonizacyjną (GC-FID) po ekstrakcji ciecz–ciecz oraz metodą bezwzględna – z użyciem adsorpcji na węglu aktywnym i miareczkowania argentometrycznego metodą mikrokulometryczną. Analizy chemiczne związków organicznych objęły 15 próbek wody podziemnej, pobranych z sieci monitoringowej składowiska odpadów chemicznych zarówno w bezpośrednim rejonie, jak i na wypływie chmury zanieczyszczeń (ryc. 1A, 2). Próbkę pobrano ze stref najbardziej zanieczyszczonych w słupie wody, po uprzednim pomiarze ciągłym parametrów fizykochemicznych. Zakres oznaczeń związków chloroor-



Ryc. 1. Rozkład stężeń AOX (A) i Eh (B) w rejonie składowiska

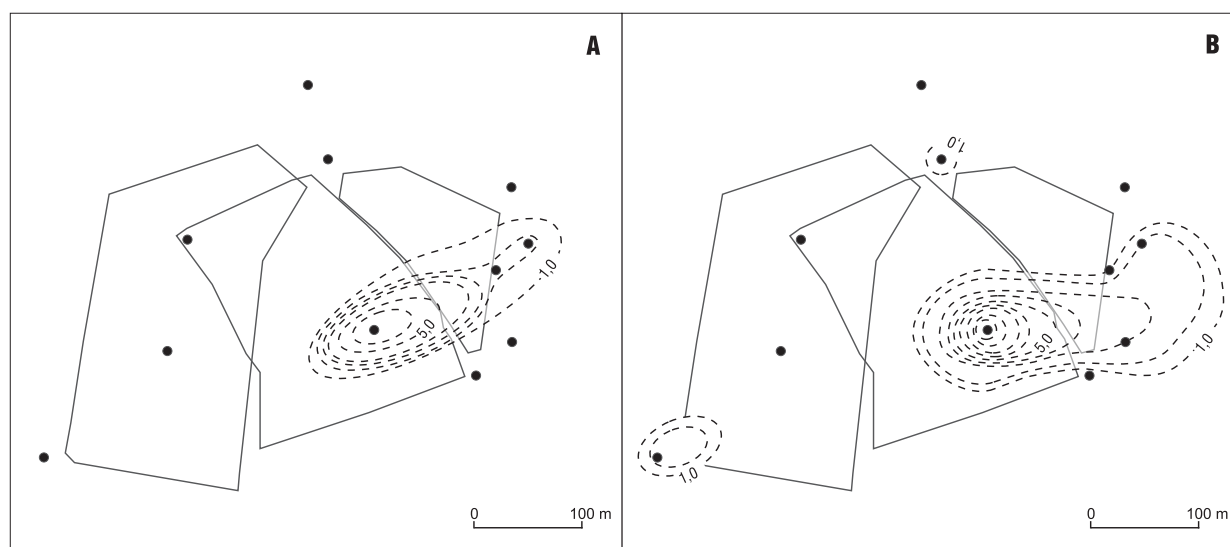
Fig. 1. Concentration of AOX (A) and redox potential (B) in the area of waste dump

ganicznych dostosowano do profilu produkcyjnego dawnych Zakładów Chemicznych oraz rodzaju deponowanych odpadów na omawianym składowisku.

Najpopularniejszą grupą w obrębie związków haloorganicznych są substancje chloroorganiczne. Powstają one podczas reakcji substancji organicznych ze związkami nieorganicznymi zawierającymi w budowie atom chloru. Procesy te mogą zachodzić intensywnie w rejonie składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”. Obecność związków organicznych potwierdzają wysokie stężenia ogólnego węgla organicznego (TOC średnio 314 mg/dm^3 , a maksymalnie 1620 mg/dm^3), natomiast stężenia Cl^- wynoszą średnio 4 g/dm^3 , przy stężeniu maksymalnym do ok. 11 g/dm^3 . Związki bromoorganiczne zazwyczaj występują w proporcjonalnie niższych stężeniach, w nawiązaniu do niższych

zawartości Br^- w wodach podziemnych. Stężenia bromków na omawianym obszarze są tysiąckrotnie mniejsze od chlorków, średnio $2,06 \text{ mg/dm}^3$, a maksymalnie $10,55 \text{ mg/dm}^3$. Na potrzeby identyfikacji zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego w rejonie składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” wykonano analizy sumy związków haloorganicznych AOX (ryc. 1). Parametr ten charakteryzuje wszystkie związki haloorganiczne występujące w próbce, w tym również niezidentyfikowane. Jednocześnie jego oznaczenie jest łatwiejsze i tańsze niż indywidualna analiza wykonana w celu identyfikacji poszczególnych związków organicznych.

Najwyższe stężenia AOX w wodach podziemnych ($5,38 \text{ mg/dm}^3$) obserwuje się w rejonie składowiska „Zielona”. W peryferyjnych strefach chmury zanieczyszczeń



Ryc. 2. Rozkład stężeń PCE (A) i TCE (B) w rejonie składowiska, w mg/dm^3

Fig. 2. Concentration of PCE (A) and TCE (B) in the area of waste dump, in mg/dm^3

stężenia maleją do wartości 1,79 mg/dm³ za barierą odwadniającą. Poziom stężen AOX w obrębie chmury jest bardzo wysoki i przekracza kilkadziesiąt razy wartość graniczną dla wód o niezadowalającej jakości (klasa IV) równą 0,3 mg/dm³. Podczas procesu migracji chmura zanieczyszczeń związkami AOX uległa naturalnemu procesowi stratyfikacji oraz rozciągnięciu w kierunku północno-wschodnim, zgodnie z odpływem wód podziemnych do Wisły. Podczas migracji występować może również rozkład związków haloorganicznych skutkujący zmianą warunków redox w warstwie wodonośnej. Peryferyczne strefy chmury zanieczyszczeń charakteryzują się obniżonymi wartościami Eh w stosunku do rejonu centrum składowiska (ryc. 1).

W próbkach wody dokonano również oznaczeń najbardziej typowych składników z grupy chlorowanych etenów, tj.: tetrachloroetenu (PCE), trichloroetenu (TCE), dichloroetenu (DCE) oraz chlorku winylu (VC) (ryc. 2). W związku z urozmaiconym profilem produkcyjnym Zakładów Chemicznych i brakiem rzetelnych informacji o wszystkich odpadach deponowanych na składowisku przemysłowym, PCE i TCE mogą występować w środowisku zarówno w formie pierwotnej, jak również powstawać na skutek chemicznych transformacji już w górotworze. Obecność PCE oraz TCE wykryto odpowiednio w 3 i 6 piezometrach, przy maksymalnych stężeniach PCE 6 µg/dm³ oraz TCE 9 µg/dm³. Stężenia te przekraczają dopuszczalną normę sumy PCE i TCE 10 µg/dm³ dla wód pitnych (Rozporządzenie, 2007). Porównanie jest uzasadnione w związku z płytkim zaleganiem zwierciadła wód podziemnych na odpływie, w strefie doliny Wisły. Okoliczni mieszkańcy mają bowiem bezpośredni kontakt z tymi wodami, posiadają czynne studnie kopane, a dodatkowo obserwuje się naturalne wypływy tych wód (źródła) na skarpach doliny Wisły.

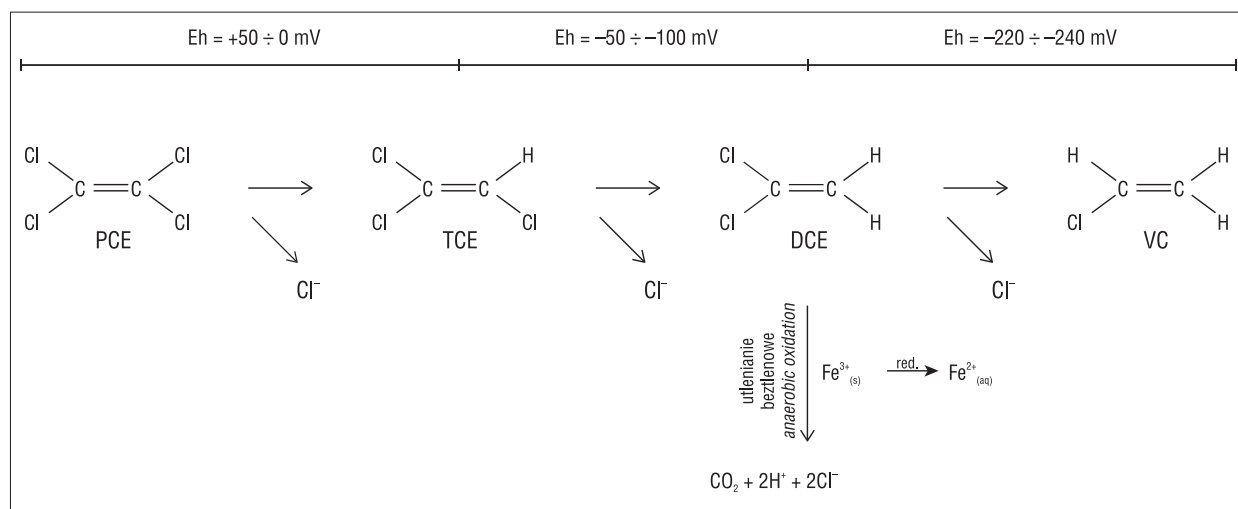
W rejonie składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” obserwuje się złożone reakcje hydrochemiczne w wodach podziemnych związane z transformacjami środowiskowymi VOX. PCE ulega początkowo klasycznemu rozpadowi na skutek redukcji dehalogenowej do TCE oraz jonu Cl⁻ w warunkach tlenowych Eh +50 do 0 mV (EPA, 1998; Clement i in., 2000). Pomiędzy stężeniami PCE i TCE istnieje zależność liniowa (krzywa dopasowania

$y = 1,125x + 0,5625$; współczynnik determinacji $R^2 = 0,8348$). Produktem finalnym tych transformacji środowiskowych nie jest jednak TCE. Rozpada się on bowiem w warunkach Eh -50 do -100 mV do dichloroetenu (DCE) oraz Cl⁻. Następnym etapem rozpadu w warunkach niezaburzonych powinien być chlorek winylu (VC) i Cl⁻ przy Eh -220 do -240 mV.

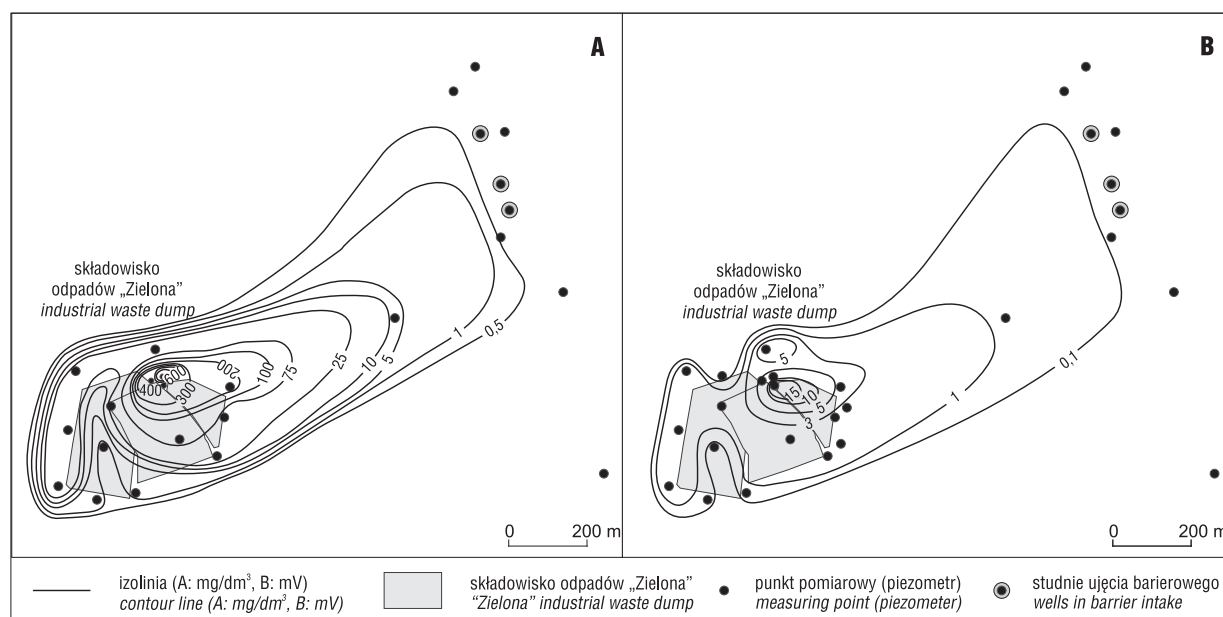
Zgodnie ze światowymi przykładami, produkty DCE i VC rzadko występują w wodach podziemnych, gdyż są znacznie bardziej podatne na utlenianie i ulegają całkowitemu rozkładowi. W rejonie „Zielonej” istnieją dogodne warunki do rozkładu tych nietrwałych substancji w wyniku beztlenowego utleniania (przy obecności Fe i Mn) i całkowitej mineralizacji do CO₂, jonów H⁺ oraz Cl⁻ (ryc. 3). Możliwość przebiegu reakcji potwierdza niskie pH wody (nawet około 2,56) wskazujące na obecność jonów wodorowych oraz wysokie zawartości Fe i Mn w chmurze zanieczyszczeń (ryc. 4).

Wysokie stężenia Fe i Mn stwierdza się w szczególności w rejonie składowiska, a wraz z propagacją chmury zanieczyszczeń w kierunku bariery odwadniającej stężenia peryferycznie maleją. Analizując warunki redox w rejonie składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”, można wnioskować, że nie są spełnione warunki dla dehalogenacji DCE do VC, stąd brak tego składnika w badanych próbkach wody.

Na potrzeby identyfikacji źródeł pochodzenia AOX wykonano badania wymywalności dla odpadów zgromadzonych na składowisku przemysłowym „Zielona” oraz utworów geologicznych występujących w strefie aeracji poniżej bryły odpadów zgodnie z normą PN-EN 12457-2:2002. Stężenia AOX w 24 eluatach z testów wymywania przy L/S = 2 lub L/S = 10 wynoszą w gruntach od 0,145 mg/dm³ do 0,454 mg/dm³. Ładunek AOX w odpadach i strefie aeracji zawiera się w granicach 0,60 mg/kg do 4,54 mg/kg przy średniej geometrycznej na poziomie 1,54 mg/kg. Składowisko odpadów stanowi ciągle istotne źródło zanieczyszczenia AOX, gdzie sumaryczny ładunek substancji wynosi średnio około 279 kg, przy czym w bryle składowiska – 168 kg, a w strefie aeracji – 111 kg (bez części ISO).



Ryc. 3. Schemat reakcji rozpadu PCE w rejonie składowiska
Fig. 3. Scheme of PCE decay reaction in the area of waste dump



Ryc. 4. Rozkład stężeń Fe (A) i Mn (B) w rejonie składowiska
Fig. 4. Concentration of Fe (A) and Mn (B) in the area of waste dump

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Ekstremalnie wysokie stężenia AOX (ponad 5 mg/dm³) wskazują na silne, antropogeniczne skażenie środowiska gruntowo-wodnego. Towarzyszą temu również wysokie stężenia węgla organicznego (TOC powyżej 16 000 mg/dm³) oraz substancji nieorganicznych. W chmurze zanieczyszczeń ze składowiska zidentyfikowano również obecność PCE i TCE. Kluczem do rozwiązania problemu zanieczyszczenia wód związkami chlorowanymi etenów jest dogłębna analiza występowania wszystkich produktów rozpadu (PCE, TCE, DCE i VC) oraz zmienności warunków redukcyjno-utleniających, które decydują o przebiegu reakcji chemicznych. Ważnym czynnikiem wpływającym na warunki migracji substancji organicznych są również składniki nieorganiczne. W odniesieniu do zmian stężeń AOX oraz chlorowanych etenów w omawianej chmurze zanieczyszczeń jest obserwowane beztlenowe utlenianie związków organicznych w warunkach redukcji żelaza i manganu. Uwzględnienie wszystkich wspomnianych aspektów pozwala na opracowanie przebiegu transformacji hydrochemicznych chlorowanych etenów, zachodzących w warstwie wodonośnej w szczególnych warunkach, jakie występują w rejonie składowiska „Zielona”, tj. zgodnie ze schematem: PCE → TCE → DCM → CO₂ + 2H⁺ + Cl⁻.

Rejon składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” oraz obszar zasięgu chmury zanieczyszczeń wymaga podjęcia stosunkowo pilnych prac remedacyjnych. Wszelkie działania naprawcze muszą być dostosowane do właściwości substancji zanieczyszczających oraz specyficznych warunków występowania skażenia.

LITERATURA

CLEMENT T.P., JOHNSON C.D., SUN Y., KLECKA G.M. & BARTLETT C. 2000 – Natural attenuation of chlorinated ethane compounds: model development and field-scale application at the Dover site. *J. of Contaminant Hydrology*, 42, 113–140.

EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY) 1998 – Technical Protocol for Evaluating Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in Ground Water. Washington (EPA/600/R-98/128).

GRØN C. 1995 – AOX in groundwater. Naturally-Produced Organohalogenes. *Environment & Chemistry*, 1: 49–64.

GRØN C. 2005 – Organic halogens in Danish groundwaters. Humic Substances in the Aquatic and Terrestrial Environment. *Lecture Notes in Earth Sciences*, 33: 495–506.

JANCEWICZ A., DMITRUK U. & KWIATKOWSKA A. 2011 – Badania zawartości wybranych substancji halogenoorganicznych (AOX) w wodzie i ściekach. *Ochrona Środowiska*, 1 (1): 25–29.

KIECAK A. 2014 – Remediacja wód podziemnych zanieczyszczonych tri- i tetrachloroetenem w rejonie ujęcia Nowa Dęba [pr. doktor.]. Kraków.

KOWALCZYK A., RUBIN H., RUBIN K. & TRYBULEC K. 2001 – Zanieczyszczenie wód podziemnych w utworach węglanowych triasu w rejonie Tarnowskich Gór trichloroetenem i tetrachloroetenem. *Współczesne Problemy Hydrogeologii*. Wrocław, 219–229.

KRET E. 2013 – Krążenie wód podziemnych zanieczyszczonych tri- i tetrachloroetylenem w warunkach eksploatacji ujęcia Nowa Dęba [pr. doktor.]. Kraków.

NARWOJSZ A. 2007 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów ujęć wody podziemnej z utworów czwartorzędowych na terenie Zakładów Chemicznych w Bydgoszczy. Przedsiębiorstwo Hydrogeologiczne, Gdańsk.

POLSKA NORMA PN-EN 12457 – 2:2002 Charakteryzowanie odpadów. Wymywanie. Badanie zgodności w odniesieniu do wymywania ziarnistych materiałów odpadowych i osadów. Cz. 2: Jednostopniowe badanie porcjowe przy stosunku cieczy do fazy stałej 10 l/kg w przypadku materiałów o wielkości cząstek poniżej 4 mm (bez redukcji lub z redukcją wielkości).

ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ZDROWIA z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2007 nr 61, poz. 417).

ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych (Dz.U. 2008 nr 143, poz. 896).

SMARZYŃSKI A. & SADOWSKI O. 2005 – Ujęcie barierowe jako element systemu przejmującego zanieczyszczone wody gruntowe z rejonu składowisk przy ul. Zielonej w Bydgoszczy. *Hydrogeologia Kujaw i Dolnego Powiśla. Przewodnik Sesji terenowych*. UMK, Toruń.

TRAUTH R. & XANTHOPOULOS C. 1997 – Non-point pollution of groundwater in urban areas. *Water Resources Research*, 31 (11): 2711–2718.

WEINER E.R. 2007 – Application of Environmental Aquatic Chemistry A Practical Guide. Second edition. CRC Press, Boca Raton (Filadelfia).

WITCZAK S., KANIA J. & KMIĘCIK E. 2013 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

ZACHEM 1991 – Protokół z inwentaryzacji odpadów nagromadzonych w składowiskach Z.Ch. „Organika – Zachem”. Bydgoszcz.