

WPŁYW SKŁADOWISKA ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH NA ŚRODOWISKO

Monika Janas¹, Alicja Zawadzka¹

¹ Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, ul. Wólczańska 213, 90-924 Łódź, e-mail: monika.janas@dokt.p.lodz.pl

STRESZCZENIE

Celem pracy jest ocena oddziaływania wyłączzonego z eksploatacji składowiska odpadów przemysłowych na środowisko. Przeprowadzono szczegółową analizę jakości wód podziemnych wokół składowiska w latach 1995–2016. Ocenę stanu wód podziemnych w rejonie składowiska wykonano na podstawie wyników badań monitoringowych. Obejmuje on pomiar pH, przewodnictwa elektrolitycznego właściwego (PEW) oraz zawartości chlorków, siarczanów, fosforanów, metali ciężkich: miedź (Cu), ołów (Pb), chrom (Cr) oraz wielu innych wskaźników zanieczyszczeń. Przeprowadzona analiza, potwierdza że składowisko w fazie eksploatacji nie stanowiło zagrożenia, ze względu na szereg zastosowanych zabezpieczeń, uszczelnień. Dopiero w ostatnich latach, składowisko odpadów przemysłowych będące już wyłączone z eksploatacji stało się wyjątkowo poważnym zagrożeniem środowiskowym. Wyniki analiz wód z piezometrów, wskazują wyraźnie na pojawienie się problemu skażenia wód podziemnych. Zaobserwowano znaczne podwyższenie wartości niektórych analizowanych wskaźników (m.in. chlorków, siarczanów), głównie w piezometrach, zlokalizowanych na linii spływu wód podziemnych w rejonie składowiska. Obserwowana sytuacja jest prawdopodobnie wynikiem uszkodzenia warstw uszczelniających i wymywaniem zanieczyszczeń z odpadów zdeponowanych na składowisku przez wody opadowe.

Słowa kluczowe: składowisko odpadów, odpady przemysłowe, oddziaływanie

THE IMPACT OF INDUSTRIAL WASTE LANDFILL ON THE ENVIRONMENT

ABSTRACT

The aim of the study is to assess the environmental impact of a shut down industrial waste landfill. A detailed analysis of the quality of groundwater around the landfill in the years 1995–2016 was conducted. Assessment of the status of groundwater in the landfill area was made based on the results of monitoring tests. It includes the measurement of pH, specific electrical conductivity (SEC) and the content of chlorides, sulfates, phosphates, heavy metals: copper (Cu), lead (Pb), chromium (Cr) and a number of other pollution indicators. The analysis confirms that the landfill during the operation did not constitute a threat because of a number of employed security measures and sealing layers. Only in recent years, the industrial waste landfill which is already out of operation has become an extremely serious environmental threat. The results of water analyses from the piezometers clearly indicate that there is a problem of groundwater contamination. There was a significant increase in the value of some of the analyzed indicators (such as chlorides and sulfates), mainly in the piezometers located on the flow line of groundwater in the landfill area. The observed situation is probably a result of damage to the sealing layers and leaching of pollutants from waste deposited in the landfill by rain water.

Keywords: landfill waste, industrial waste, influence

WPROWADZENIE

Nieodłącznym elementem wszelkiej działalności człowieka jest powstawanie odpadów. Rozwój cywilizacyjny oraz postęp technologiczny obserwowany w ostatnich latach spowodował znaczny wzrost ilości wytwarzanych

odpadów oraz zwiększył ich różnorodność pod względem składu. Obecnie w kraju wytwarzanych jest ponad 140 mln ton odpadów rocznie, przy czym 90% całkowitej ilości tych odpadów stanowią odpady przemysłowe, które są pozostałościami z procesów przemysłowych [Główny Urząd Statystyczny 2015].

Odpady przemysłowe stanowią kluczowy problem zarówno dla środowiska naturalnego, jak również życia i zdrowia ludzi. Zagrożenie dla środowiska powstaje szczególnie tam, gdzie są nagromadzone większe ilości odpadów, zarówno w postaci stałej jak i płynnej. W masie składowanych odpadów zachodzą procesy i przemiany biologiczne, fizyczne i chemiczne, powodujące powstanie szeregu szkodliwych związków i substancji stałych, ciekłych i gazowych, które dostając się do otoczenia, mogą stanowić zagrożenie dla wód powierzchniowych, podziemnych oraz podłoża gruntowego [Rosik-Dulewska 2008, Wiater 2011].

Z punktu widzenia ochrony środowiska składowisko odpadów przemysłowych jest obiektem szczególnym, bowiem żadna z powszechnie stosowanych technologii eksploatacji nie zabezpiecza całkowicie otoczenia przed jego negatywnym oddziaływaniem. Rodzaj oraz stopień uciążliwości zależą w dużej mierze od czynników wewnętrznych związanych z budową składowiska i sposobem zabezpieczenia podłoża, właściwościami fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi odpadów oraz technologią składowania. Całkowita ilość zanieczyszczeń wynoszonych ze składowiska odpadów zależy również od czynników zewnętrznych związanych z otoczeniem, między innymi warunkami klimatycznymi, topografią terenu i rodzajem bariery ochronnej [Górecka 2010, Aderemi et al. 2011].

Prawidłowy wybór i usankcjonowania prawne dla lokalizacji składowisk odpadów to najtrudniejsze i kluczowe zadanie w szeroko rozumianej gospodarce odpadami. Należy podkreślić, że nie można mówić o dobrej lokalizacji składowiska, a jedynie o takim położeniu które ograniczy do minimum nieuniknione skutki ekologiczne oraz koszty ponoszone w związku z właściwym zabezpieczeniem składowiska. W Polsce jest wiele aktów prawnych, między innymi: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów, które w sposób szczególny określają zasady lokalizacji składowisk oraz warunki geologiczne, hydrogeologiczne i hydrologiczne, jakie powinny być spełnione przy ich potencjalnym usytuowaniu. Zgodnie z wytycznymi składowiska odpadów podlegają stałej kontroli podczas ich eksploatacji oraz po jego zakończeniu przez 30 lat, ze względu na potencjalne ogniska zanieczyszczeń [Rosik-Dulewska 2008].

Pomimo licznych opracowań podejmujących tematykę zagrożeń ze strony składowisk

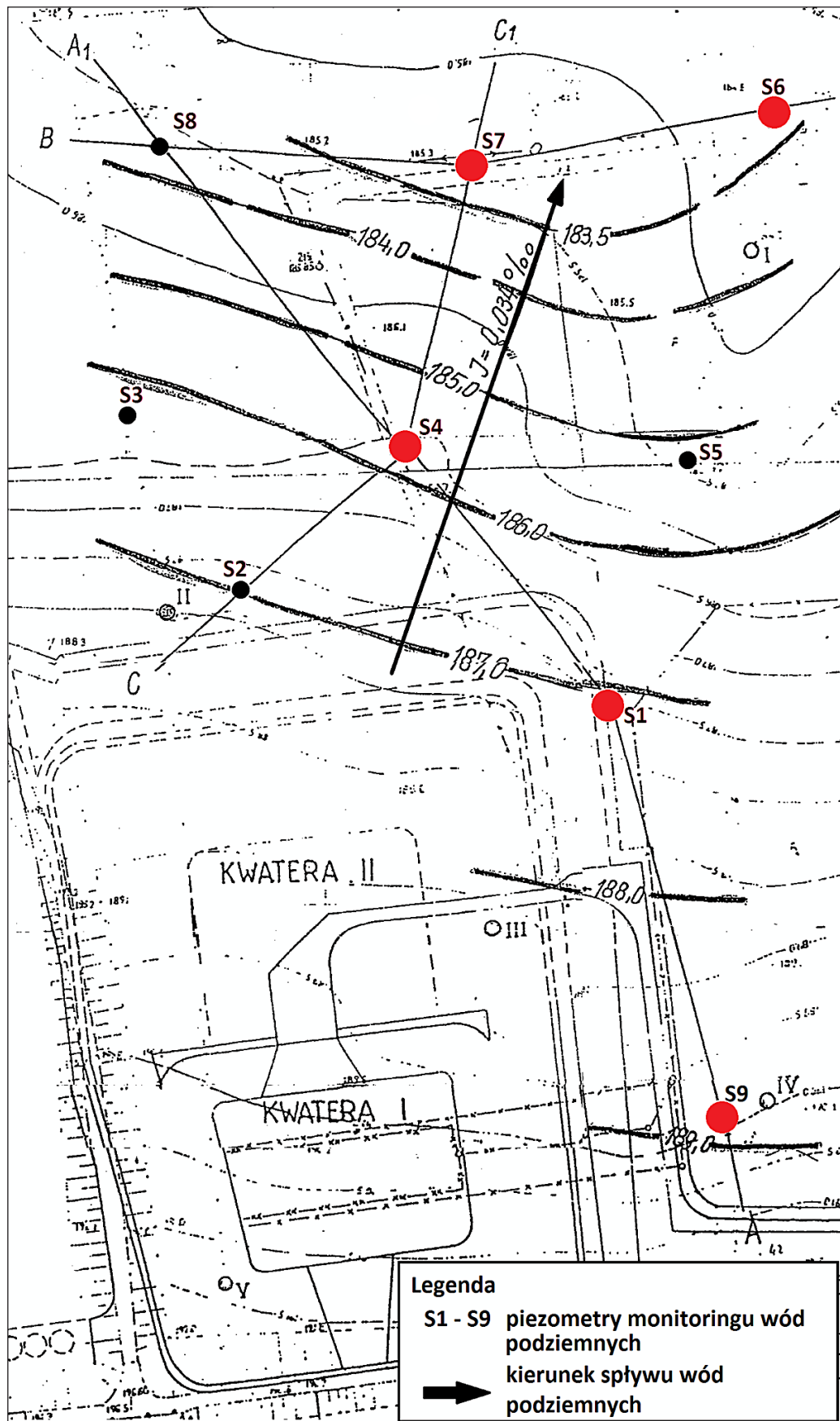
odpadów, niewyjaśnionych zostaje wciąż wiele kwestii dotyczących negatywnego ich oddziaływania na środowisko. Związane jest to ze zróżnicowaniem składu gromadzonych odpadów, zastosowanych rozwiązań technologicznych oraz szeregu czynników zewnętrznych, które warunkują sposób i zasięg rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. W związku z powyższym, w celu określenia wielkości oddziaływania danego składowiska na środowisko, konieczne jest rozpatrzenie każdego przypadku indywidualnie [Vasanthi et al. 2008].

Celem podjętych badań jest ocena oddziaływania wyłączonego z eksploatacji składowiska odpadów przemysłowych na środowisko, ze szczególnym uwzględnieniem stanu jakości wód podziemnych na przestrzeni lat 1995–2008 oraz 2016.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Badania przeprowadzono na wyłączonym z eksploatacji składowisku odpadów przemysłowych zlokalizowanym w granicach miasta Zgierz w specjalnej strefie ekonomicznej. Od południa graniczy ono z terenem leśnym. Od północy i wschodu składowisko ograniczone jest drogami: wojewódzką i powiatową oraz terenami mieszkaniowo-usługowymi. Od zachodu przylegają do niego tereny otwarte w znacznym stopniu zagospodarowane pod uprawy rolne.

Składowisko odpadów przemysłowych zostało wybudowane w 1995 roku dla potrzeb byłych zakładów przemysłowych, w sąsiedztwie już istniejących od 1960 roku trzech osadników, w których gromadzono odpady poprodukcyjne w postaci popiołów energetycznych oraz gipsów. Na składowisku odpady składowano metodą tortową – oddolną i przyskarpową, pozwalając na maksymalne wykorzystanie chłonności składowiska. Teren składowiska odpadów stanowi kwatera I o powierzchni 0,81 ha i objętości geometrycznej 50 376 m³ ograniczona groblą. Skarpy wewnętrzne charakteryzują się spadkiem 1:2,5, zewnętrzne zaś 1:1,5. W zależności od rodzaju odpadu były one odpowiednio pakowane w kontenery, bębny, beczki metalowe i składowane w sposób uporządkowany w wyznaczonych sektorach. Odpady zawierające azbest składowane były w workach foliowych, opakowaniach typu „big-bag” lub na paletach opakowanych folią, zaś zanieczyszczony gruz i ziemia były bezpośrednio składowane luzem metodą przyskarpową.



Rys. 1. Plan rozmieszczenia punktów badawczych i kierunki spływu wód podziemnych na składowisku odpadów w Zgierzu

Fig. 1. Localization piezometers and runoff directions of underground waters in landfill waste in Zgierz

Geomorfologia i hydrografia

Składowisko odpadów jest usytuowane w południowo-zachodniej części Zgierza, którą stanowi wysoczyzna plejstocenska, nachylona łagodnie w kierunku północnym do doliny rzeki Bzury. Występuje tu nagromadzenie typowych dla strefy krawędziowej Wzniesień Łódzkich cech rzeźby obszaru. Są to wzgórza morenowe, płaskie powierzchnie morenowe ze śladami spękań glacitektonicznych, wschodnie żwirów i grubych piasków glacialnych, młode holocenske formy erozyjne, będące wyrazem intensywnych procesów erozji gleby. Wysoczyzna ma spokojną rzeźbę z deniwelacjami do 50 m i nachyleniem stoków rzadko przekraczającym 5% [Kondracki 2002, Koda 2009].

Najistotniejszym i szczególnie charakterystycznym w krajobrazie elementem rzeźby jest dolina rzeki Bzury, o kierunku na ogół równoważnikowym, rozcinająca wysoczyznę w granicach miasta na część północną i południową. Górne krawędzie doliny w centralnej i wschodniej części miasta uformowane są na wysokości około 200 m n.p.m., a dno doliny w śródmieściu znajduje się na poziomie 180 m n.p.m. W dolinie wykształciły się dwa poziomy terasowe – zalewowy (denny) i nadzalewowy. Urbanizacja spowodowała zatarcie ich pierwotnych form i zasięgów. Na obszarze badań Bzura jest uregulowana (skanalizowana) i częściowo zarurowana, przykryta. Wskutek zagospodarowania zostały zmienione naturalne warunki geomorfologiczne [Macioszczyk et al. 2002].

Warunki geologiczne i hydrogeologiczne

Budowa geologiczna w rejonie składowiska jest bardzo skomplikowana, ze względu na kilkakrotne transgresje i regresje lądolodów oraz związane z nimi zaburzenia glacitektoniczne. Składowisko znajduje się w obrębie Niecki Łódzkiej, wchodzącej w skład Niecki Mogileńsko-Łódzkiej. Podłoże jej stanowią utwory jury górnej, zalegające na dużych głębokościach. Genetycznie jednostka ta związana jest z młodokimeryjskimi ruchami tektonicznymi orogenezy alpejskiej z przełomu jury i kredy. Na zerodowanej powierzchni kredowo-jurajskiej osadziły się utwory mioceński-plioceńskie, które na skutek późniejszych procesów denudacyjno-erozyjnych zostały z wielu obszarów usunięte. Następnie powyższe utwory zostały pokryte osadami czwartorzędo-

wymi. Najstarsze osady w rejonie Zgierza zaliczane są do kredy dolnej. Na nierównej, erozyjnej powierzchni utworów kredy górnej, spoczywają osady wieku trzeciorzędowego, wykształcone w postaci iłów i mułów ilastych często z wkładami węgla brunatnych. Miąższość tych utworów jest bardzo zróżnicowana. Przeciętnie wynosi około 20 m, a lokalnie w miejscach zaburzeń i wycisnięć glacitektonicznych ich pozorna miąższość przekraczać może 100 m [Kondracki 2002].

W utworach powierzchniowych na obszarze opracowania dominują plejstocenske osady, związane z postojem lądolodu zlodowacenia środkowopolskiego na tym obszarze (tzw. stadiału Warty). Są to w przewadze gliny zwałowe, ily oraz żwiry i piaski lodowcowe, a także piaski i drobne żwiry wodno-lodowcowe. W dolinie Bzury występują natomiast holocenske osady rzeczne w postaci mułów, piasków i żwirów [Kondracki 2002, Koda 2009].

Obszar badań według podziału na jednostki hydrogeologiczne mieści się w rejonie mogileńsko-łódzko-nidziańskim. Na obszarze Zgierza występuje strefa kontaktu trzeciorzędu z kredą i jurą. Nadległy materiał morenowy ma bardzo dużą przepuszczalność i jest wysoce zdyslokowany strukturalnie. Intensywna eksploatacja wód podziemnych spowodowała powstanie rozległego leja depresyjnego. Wszystko to sprawiło, że rejon ten charakteryzuje się dużym zanieczyszczeniem wód podziemnych [Kondracki 2002].

Swoista budowa geologiczna (zaburzenia glacitektoniczne) dużej części obszaru (strefa krawędziowa Wzniesień Łódzkich, falista wysoczyzna morenowa) decyduje o charakterze wód podziemnych tego terenu. Liczne spękania i wschodnie warstw wodonośnych powodują, że w strefie istnieje bardzo małe zabezpieczenie wód podziemnych przed infiltracją. Warstwy izolacyjne mają niewielką miąższość lub tylko częściowo przykrywają wschodnie warstw wodonośnych. Eksploatacyjne poziomy wodonośne występujące na terenie miasta wiążą się z piętrami wodonośnymi: czwartorzędoowymi, trzeciorzędowymi, kredowymi i jurajskimi. Poziom górnokredowy i poziom czwartorzędoowy są najbardziej zasobnymi poziomami wodonośnymi, stanowiącymi główne źródło wody. Obszar opracowania znajdujący się w południowej części miasta jest zlokalizowany w obrębie kredowego zbiornika wód podziemnych [Macioszczyk et al. 2002].

METODYKA BADAŃ

Monitoring wód podziemnych prowadzony jest w oparciu o otwory obserwacyjne S1-S9 o głębokościach wierceń 5,1–20,0 m. Piezometry te ujmują wody czwartorzędowe. Zgromadzone materiały archiwalne dostarczają wiedzy na temat składu chemicznego wód między innymi w zakresie odczynu, przewodnictwa elektrolitycznego właściwego (PEW), zawartości chlorków, siarczanów, metali ciężkich i wielu innych wskaźników zanieczyszczeń. Odczyn wody zmierzono potencjometrycznie, wykorzystując kombinowaną elektrodę szklaną, która po zanurzeniu w roztworze staje się ogniwem pomiarowym. Pomiar przewodności elektrolitycznej właściwej wykonano za pomocą konduktometru. Metale ciężkie (ołów, chrom, miedź) oznaczono metodą atomowej spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie zgodnie z normą PN-EN ISO 11885:2009, zaś siarczany, chlorki oznaczono za pomocą chromatografii jonowej. Podstawą tej metody jest pomiar emisji atomowej z zastosowaniem optycznej techniki spektroskopowej. Roztwór analizowanej próbki pobierany był za pomocą pompy perystaltycznej, która zapewniała stały przepływ próbki do komory rozpylania. Następnie próbka w postaci aerozolu była wtryskiwana do centrum plazmy, w której zachodziło wzbudzenie atomów. W wyniku ich powrotu do stanu pierwotnego następowała emisja promieniowania, którego wiązka kierowała się do spektrometru. Po uformowaniu jej w ściśle zdefiniowaną następowała jej rozszczepienie w układzie optycznym i rozdzielenie na poszczególne linie, które kierowane były do detektora CID.

W latach 1995–2008 monitoring piezometrów realizowany był raz na kwartał. Od roku 2008 zaprzestano prowadzenie monitoringu tego składowiska. Dopiero w roku 2016 na wniosek Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Łodzi wykonano dwukrotny pobór wody z piezometrów i dokonano szczegółowej ich analizy. Wówczas stwierdzono, że jest już dostępnych tylko 5 z 9 piezometrów (S1, S4, S6, S7, S9).

W pracy w celu określenia oddziaływania składowiska na środowisko na przestrzeni lat, analizę oparto na składnikach wód badanych na pięciu dostępnych piezometrach. Wyniki badanych wód porównano z wartościami granicznymi elementów fizykochemicznych stanu wód podziemnych zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie

kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (Dz. U. 2016 poz. 85), przy czym wyniki badań z lat 1995–2008 stanowią średnią z czterech pomiarów wykonywanych w ciągu roku.

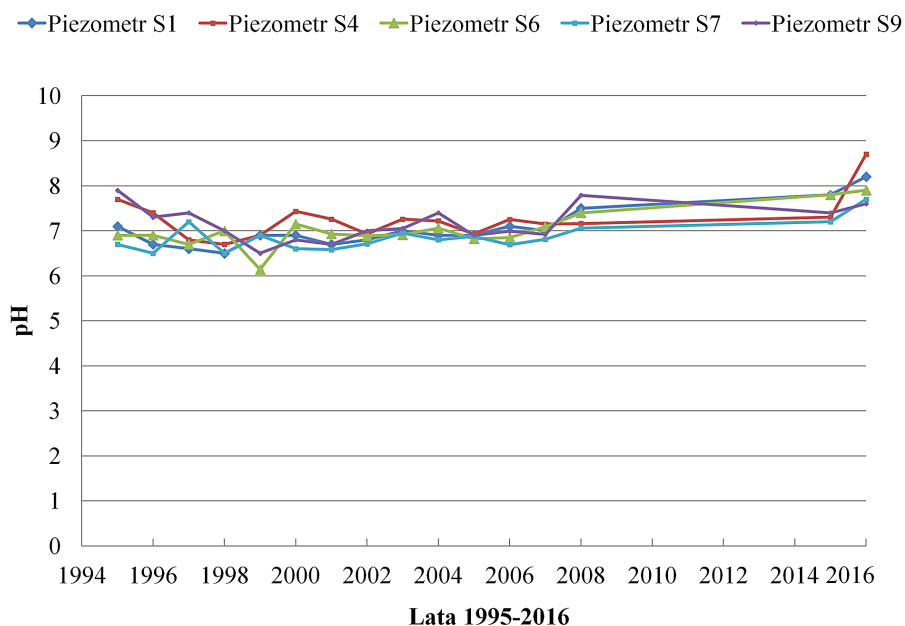
WYNIKI BADAŃ

Ocenę wpływu wyłączono z eksploatacji składowiska odpadów przemysłowych na wody podziemne oparto o archiwalne dane monitoringu wód, w celu zobrazowania wpływu zanieczyszczeń wód powierzchniowych na chemizm wód podziemnych. Wyniki analiz przedstawiono na poniższych wykresach.

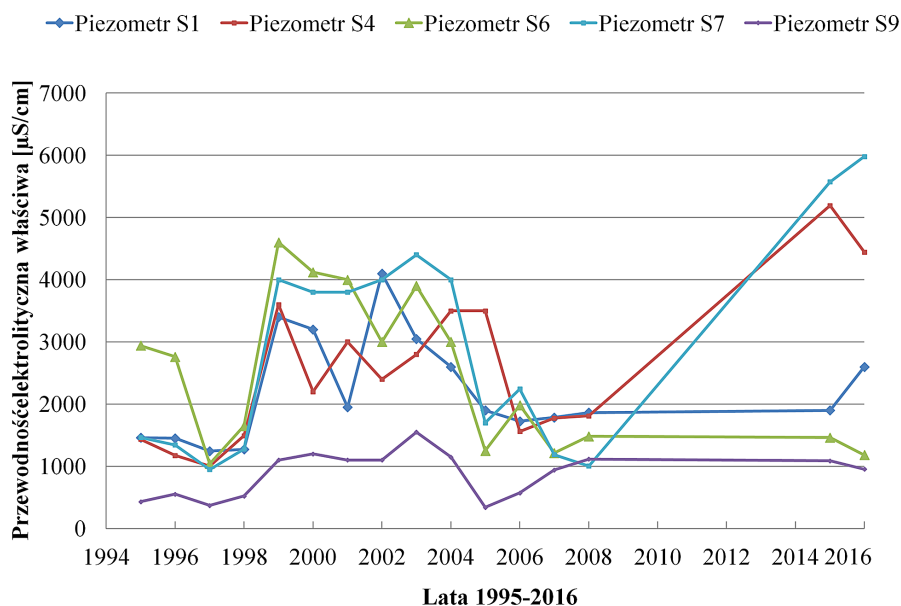
Odczyn badanych wód nie ulegał większym zmianom i przez większość lat był obojętny lub lekko zasadowy, pH wahało się od 6,6 do 8,7. Wartości te są charakterystyczne dla wód podziemnych I klasy, a ich wielkość może być związana bezpośrednio z wiekiem składowiska. W miarę upływu czasu na składowisku w masie zdeponowanych odpadów zmniejsza się ilość materii organicznej, a tym samym zmniejsza się ilość produkowanych lotnych kwasów tłuszczowych w wyniku zachodzącego procesu fermentacji. Ponadto wyższym odczynom wód sprzyjają powstające w wyniku procesów denitryfikacji jony amonowe przedostające się ze złoża odcieków [Adhikari et al. 2014].

Kolejnym analizowanym wskaźnikiem fizyko-chemicznym wód z piezometrów (wód podziemnych) była przewodność elektrolityczna właściwa mówiąca o wielkości mineralizacji wód [Struk-Sokołowska J. et al. 2005, Wiater J. 2011]. W badanym okresie od 1995 do 2008 oraz w 2016 roku w wodach piezometrów S1, S4, S6 i S7 zlokalizowanych bezpośrednio w pobliżu składowiska przewodność wahała się na poziomie od 1000 do 5900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, co świadczy o wyraźnym wpływie składowiska na wartość tego parametru. Przy czym warto zauważyć, że wartości powyżej 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ odpowiadają V klasie jakości wód. Zupełnie inny trend obserwujemy dla wód pobranych z punktu obserwacyjnego S9, gdzie przewodność elektrolityczna właściwa najwyższą wartość osiągnęła w roku 2003 odpowiednio 1550 $\mu\text{S}/\text{cm}$, co odpowiada II klasie wód. W pozostałym okresie wartości te są znacznie niższe.

Zawartość siarczanów w latach 1995–2008 dla piezometrów S1, S4, S7 waha się w granicach 200 do 850 $\text{mgSO}_4/\text{dm}^3$, przy czym na przestrzeni



Rys. 2. Odczyn wód w otworach obserwacyjnych w latach 1995–2008 oraz 2016
 Fig. 2. pH value in the investigated underground waters in the years 1995–2008 and 2016

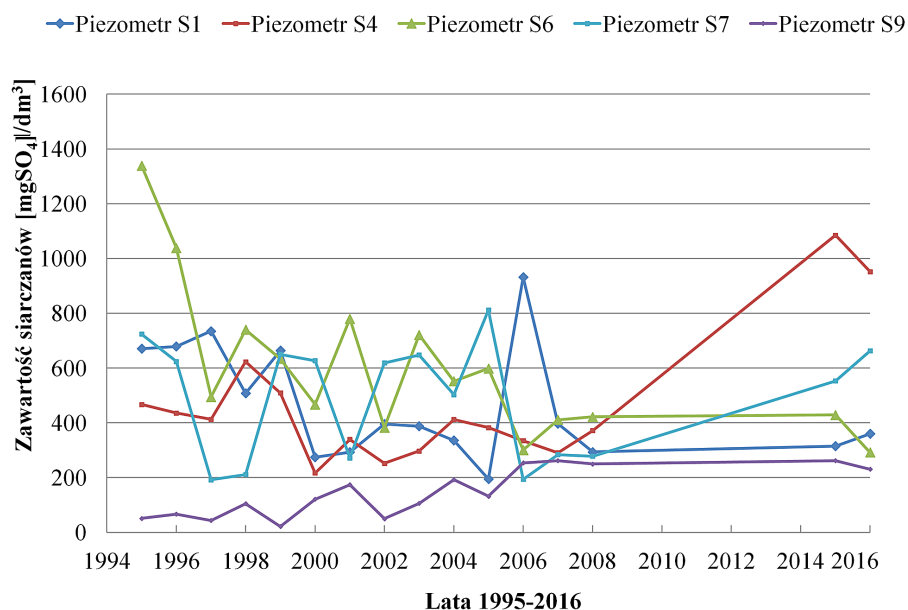


Rys. 3. Porównanie przewodności elektrolitycznej właściwej w otworach obserwacyjnych w latach 1995–2008 oraz 2016
 Fig. 3. Comparison of specific electrical conductivity in the investigated underground waters in the years 1995–2008 and 2016

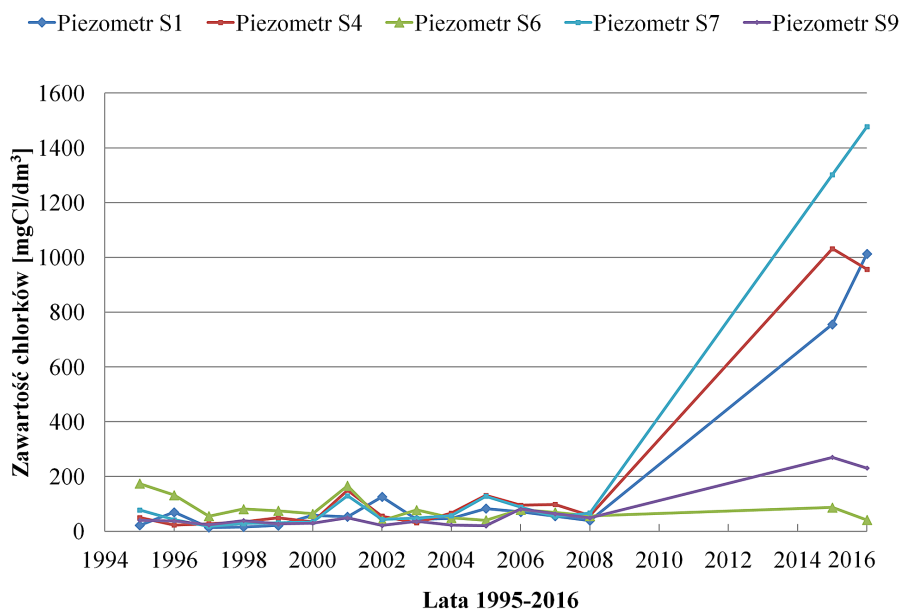
lat obserwowane są znaczne skoki tych wartości. Dla dwóch pozostałych zawartość siarczanów odpowiada II klasie wód, maksymalnie osiąga wartość rzędu 250 mgSO₄/dm³. W ostatnim roku obserwujemy znaczny wzrost zawartości siarczanów w wodach podziemnych pochodzących z otworów obserwacyjnych, który może być wynikiem bezpośredniego przenikania do wód ście-

ków przemysłowych, gospodarczych oraz wynikiem ługowania odpadów [Jagiello 2003].

Podobną tendencję obserwujemy w przypadku zawartości chlorków. W okresie prowadzenia stałego monitoringu, wartości te kształtowały się na poziomie 10–200 mgCl/dm³, zaś w ostatnim roku zawartość chlorków w wodach znacznie wzrosła.



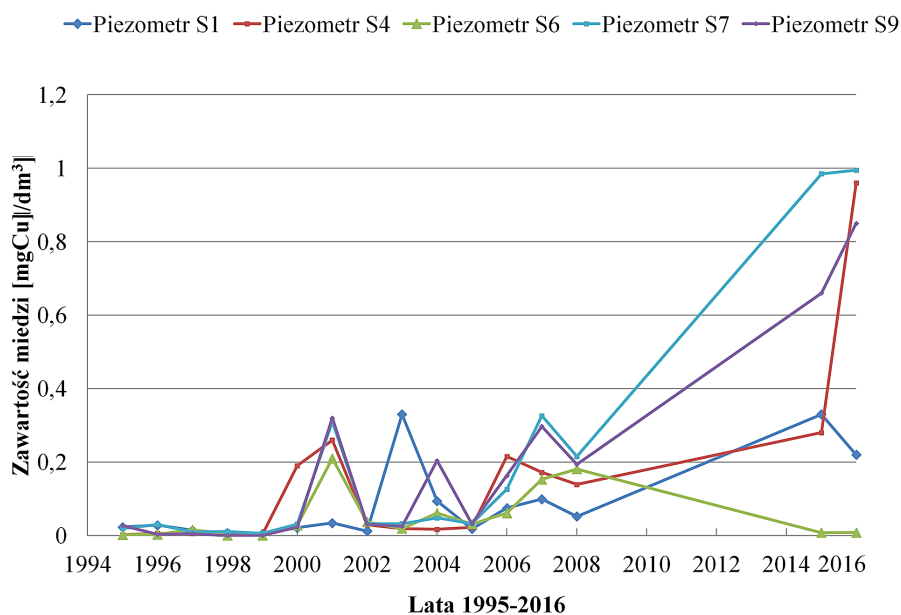
Rys. 4. Porównanie zawartości siarczanów w otworach obserwacyjnych w latach 1995–2008 oraz 2016
Fig. 4. Comparison of content of sulfates in the investigated underground waters in the years 1995–2008 and 2016



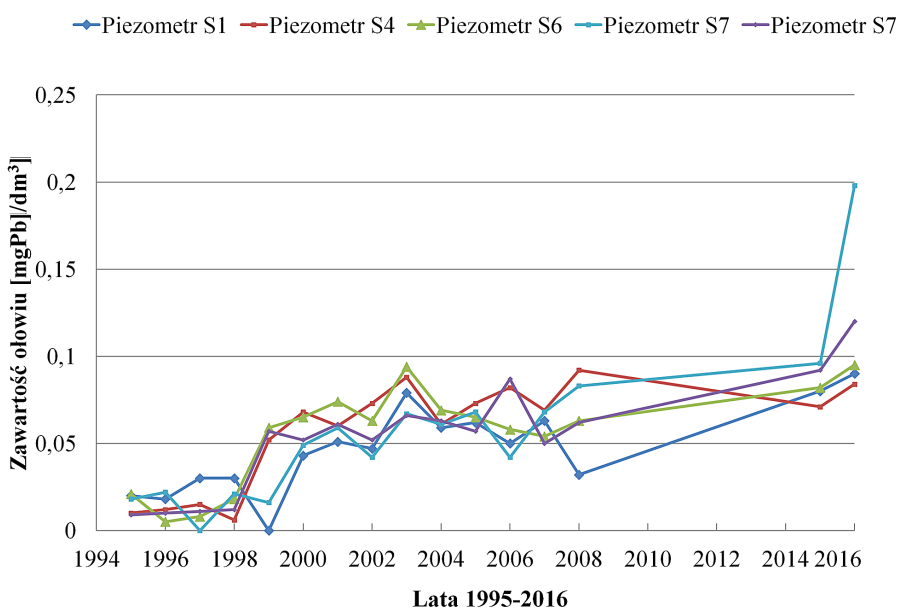
Rys. 5. Porównanie zawartości chlorków w otworach obserwacyjnych w latach 1995–2008 oraz 2016
Fig. 5. Comparison of content of chlorides in the investigated underground waters in the years 1995–2008 and 2016

Zawartość badanych metali ciężkich (ołów, chrom, miedź) w wodach podziemnych w początkowym okresie objętym monitoringiem od 1995 do 1999 pozostawała na poziomie niższym niż granica wykrywalności ($0,1 \text{ mg/dm}^3$) i nie przekraczała normy dla II klasy jakości wód podziemnych. Stężenie miedzi wahało się w granicy $0-0,031 \text{ mgCu/dm}^3$, ołowiu odpowiednio

$0-0,059 \text{ mgPb/dm}^3$, zaś chromu $0-0,036 \text{ mgCr/dm}^3$. Można zatem wywnioskować, że składowisko odpadów przemysłowych w początkowym okresie funkcjonowania nie ma żadnego wpływu na jakość wód podziemnych ze względu na zawartość metali ciężkich. Związane jest to z odpowiednim uszczelnieniem podłoża składowiska oraz budową geologiczną, która w rejonie skła-



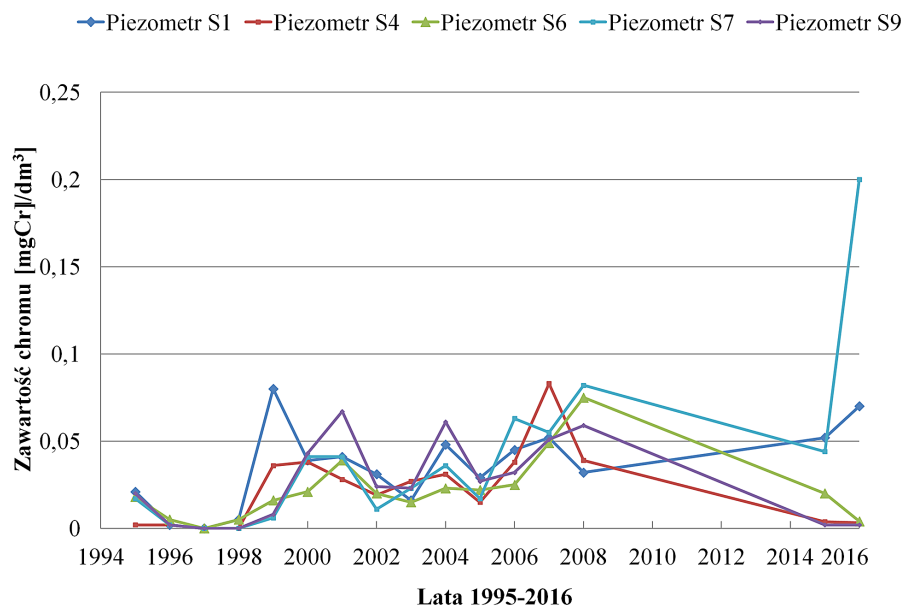
Rys. 6. Porównanie zawartości miedzi w otworach obserwacyjnych w latach 1995–2008 oraz 2016
Fig. 6. Comparison of content of copper (Cu) in the investigated underground waters in the years 1995–2008 and 2016



Rys. 7. Porównanie zawartości ołowiu w otworach obserwacyjnych w latach 1995–2008 oraz 2016
Fig. 7. Comparison of content of lead (Pb) in the investigated underground waters in the years 1995–2008 and 2016

dowiska ze względu niski współczynnik filtracji stanowi dodatkową warstwę izolacyjną. Wraz z upływem lat nastąpiło znaczne pogorszenie jakości wód podziemnych, w szczególności w 2016 obserwujemy istotny wzrost zawartości badanych metali ciężkich. Podobne badania prowadzili inni autorzy [Oman C.B. et al. 2008, Michałkiewicz M. 2009, Adhikari B. et al. 2014]. W swoich pracach przedstawiając, że w miarę postępującego

procesu rozkładu odpadów następuje stopniowy wzrost stężenia zanieczyszczeń w wodach podziemnych. Według nich może to być związane z błędami w uszczelnieniu składowiska. Wartości wskaźników zanieczyszczeń (metali ciężkich) wód podziemnych przedstawionych w ich pracach są jednak znacznie niższe niż zawartość metali w wodach piezometrycznych wokół składowiska w Zgierzu.



Rys. 8. Porównanie zawartości chromu w otworach obserwacyjnych w latach 1995–2008 oraz 2016
Fig. 8. Comparison of content of chromium (Cr) in the investigated underground waters in the years 1995–2008 and 2016

PODSUMOWANIE

Odpady przemysłowe powstające w procesach produkcyjnych stanowią zagrożenie dla różnych elementów środowiska. Zagrożenia te zasadniczo występują we wszystkich fazach gospodarki tymi odpadami, tj. w czasie ich wytwarzania, gromadzenia, transportu, unieszkodliwiania, a w szczególności w czasie ich składowania. W pierwszej kolejności jedną z zauważalnych uciążliwości związanych ze składowiskiem jest obniżenie walorów krajobrazowych terenu, na którym składowisko zostało zlokalizowane. Z punktu widzenia ochrony środowiska najistotniejsze zagrożenie stanowią jednak szkodliwe substancje i związki pochodzące ze składowiska, które potencjalnie mogą powodować zanieczyszczenie i skażenie gleb i wód [Vasanthi et al. 2008, Kurniawan et al. 2010].

Jednym z elementów zapewniających stały nadzór nad prawidłową eksploatacją składowiska jest monitoring wód. Umożliwia on rozpoznanie i obserwację przemieszczania zanieczyszczeń w wodach podziemnych. Przy ocenie oddziaływania na środowisko tego rodzaju obiektów należy wziąć pod uwagę czas, który jest czynnikiem determinującym tempo i intensywność przemian fizykochemicznych zachodzących na składowiskach [Górecka 2010].

W pracy zestawiono wyniki analiz wód pobieranych z punktów obserwacyjnych (piezo-

metrów) zlokalizowanych wokół składowiska w latach 1995–2008 oraz 2016. Analiza ta na przestrzeni lat okazała się wyjątkowo trudna ze względu na fakt, że monitoring realizowany był przez kilka różnych laboratoriów i badane wskaźniki były zmienne.

Analiza przedstawionych wyników wód podziemnych w dostępnych piezometrach wskazuje, że w wodzie tej w przeciągu ostatniego roku stwierdzono znaczne podwyższenie wartości niektórych analizowanych wskaźników. Przede wszystkim wzrost ten stwierdzono w piezometrach S1, S4, S6, S7, które leżą na linii spływu wód podziemnych w rejonie składowiska. Piezometr S9 zlokalizowany jest z boku i w pewnej odległości od linii spływu, stąd wyniki analiz wód podziemnych z tego piezometru można traktować jedynie jako tło. Wyniki analiz wód podziemnych z piezometrów S1, S4, S6, S7 wskazują wyraźnie na fakt, że po ośmiu latach, w których nie był prowadzony monitoring, nastąpiło znaczne skażenie wód podziemnych w porównaniu ze stanem z lat 1995–2008. Obserwowany wzrost stężeń dotyczy przede wszystkim chlorków, siarczanów, przewodnictwa elektrycznego właściwego oraz badanych metali ciężkich. Ponieważ składowisko (kwatery I) jest od kilku lat już zamknięta sytuacja taka może być wynikiem przerwania warstwy uszczelniającej i wymywaniem zanieczyszczeń z odpadów zdeponowanych na składowisku przez wody opadowe, a nie efektem składowania

nowych odpadów na analizowanej kwaterze. Biorąc pod uwagę opisany wcześniej sposób składowania odpadów oraz system uszczelnienia składowiska jest to mało prawdopodobne. Z danych archiwalnych wiadomo, że część odpadów deponowano na składowisku w metalowych beczkach. Przy nieumiejętnym rozładunku, ułożeniu zbyt wysokiej warstwy beczek (działanie ciężaru beczek z odpadami) mogło dojść do perforacji membrany i stąd wymywanie substancji toksycznych do wód podziemnych.

Na przestrzeni ostatnich lat składowiska odpadów uległy znacznym zmianą oraz modernizacji i stanowią dziś złożone konstrukcje inżynierskie. Uszczelnienia w postaci geomembran skutecznie ograniczają odpływ z nich odcieków do wód podziemnych i otaczających gleb. Zakres prowadzonego monitoringu został doprecyzowany licznymi przepisami określającymi obszar, jak i sposób oraz częstotliwość jego prowadzenia. Wszystkie te działania mają na celu ochronę zdrowia ludzkiego jak i środowiska naturalnego i niedopuszczenie w przyszłości do sytuacji jaka ma miejsce na wyłączonym z eksploatacji składowisku odpadów przemysłowych [Robinson 2007].

LITERATURA

- Aderemi A.O., Oriaku A.V., Adewumi G.A., Oti-tooju A.A. 2011. Assessment of ground water contamination by leachate near a municipal solid waste landfill. *African Journal of Environmental Science and Technology*. 5 (11), 933–940.
- Adhikari B., Dahal R., Khanal N. 2014. A review of factors affecting the composition of municipal solid waste landfill leachate. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*. 3 (5), 273–281.
- Główny Urząd Statystyczny. 2015. Ochrona środowiska. Warszawa.
- Górecka A., Kode E. 2010. Analiza możliwości ograniczenia zagrożeń środowiska wodno-gruntowego, wynikających z eksploatacji modernizowanego składowiska odpadów komunalnych. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*. 49, 48–62.
- Jagiełło E. 2003. Zanieczyszczenia wód podziemnych przez składowisko odpadów komunalnych Swojczyce. *Inżynieria Ekologiczna*, 9, 138–144.
- Koda E. 2009. Geośrodowiskowe aspekty rekultywacji składowisk komunalnych. *Inżynieria Morska i Geotechnika*. 3, 134–151.
- Kondracki J. 2002. *Geografia regionalna Polski*. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN
- Kurniawan T.A., Lo W., Chan G., Sillanpaa M.E.T. 2010. Biological processes for treatment of landfill leachate. *Journal of Environmental Monitoring*. 12, 2032–2047.
- Macioszczyk A., Dobrzyński D. 2002. *Hydrochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych*. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Michałkiewicz M. 2009. Składowiska odpadów jako źródła skażenia mikrobiologicznego. Budowa i eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów. Gdynia. Wydawnictwo Abrys.
- Oman C.B., Junestet C. 2008. Chemical characterization of landfill leachates – 400 parameters and compounds. *Waste Management*. 28, 1876–1891.
- Robinson H. 2007. The composition of leachates from very large landfills: an international review. *Communal Waste Resour Manage*. 8 (1), 19–32.
- Rosik-Dulewska C. 2008. *Podstawy gospodarki odpadami*. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów (Dz.U. 2013 poz. 523).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych. (Dz.U. 2016 poz. 85).
- Struk-Sokołowska J., Żebrowicz E., Wiater J. 2005. Wpływ składowisk odpadów na jakość wód podziemnych. *Journal of Etementology*. 10 (3), 821–828.
- Vasanthi P., Kaliappan S., Srinivasaraghavan R. 2008. Impact of poor solid waste management on ground water. *Environmental Monitoring and Assessment*. 143, 227–238.
- Wiater J. 2011. Wpływ składowisk odpadów komunalnych na jakość wód podziemnych i właściwości gleb. *Inżynieria Ekologiczna*, 26, 133–146.