

## WPŁYW NIEUSZCZELNIONEGO SKŁADOWISKA ODPADÓW KOMUNALNYCH NA JAKOŚĆ WÓD PODZIEMNYCH

Elżbieta Halina Grygorczuk-Petersons<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45, 15-351 Białystok, e-mail: [petersons@wp.pl](mailto:petersons@wp.pl)

### STRESZCZENIE

Celem badań była ocena oddziaływania składowiska, odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne, na środowisko wód podziemnych zarówno w okresie eksploatacyjnym do 2009 roku, a także w trakcie rozpoczętej rekultywacji. Oceny stanu wód w latach 2007–2015, w rejonie nieuszczelnionego składowiska zlokalizowanego na terenie wyeksploatowanego wyrobiska żwiru przeprowadzono na podstawie badań własnych i monitoringowych otrzymanych z urzędu gminy. Na składowisku składowane były nie tylko zmieszane odpady komunalne, ale także osady ściekowe i w znacznej ilości, bo około 28% odpady paleniskowe. W wodach odpływających z terenu składowiska stwierdzono wzrost wartości wskaźników zanieczyszczeń takich jak: ogólny węgiel organiczny (OWO) i okresowo PWE oraz stężenia metali ciężkich kadmu oraz miedzi. Wykazano, że jakość wód podziemnych była modyfikowana nie tylko składowanymi odpadami, ale również aktywnością rolniczą w jego pobliżu.

**Słowa kluczowe:** składowisko odpadów inne niż niebezpieczne i obojętne, wody podziemne, jakość.

### EFFECT OF NOT-SEALED MUNICIPAL WASTE LANDFILL ON THE UNDERGROUND WATER QUALITY

#### ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate the impact of the landfill **non-hazardous** or **inert waste**, on the groundwater environment. Research was conducted during operating period till 2009 and after starting reclamation. The assessment of water quality in years 2007–2015, in the region of landfill not-sealed, located at the gravel pit exploited, was based on the own research and monitoring received from the municipal office. At the landfill were stored not only mixed municipal waste but also sewage sludge and in large amounts, because about 28% of furnace waste. Waters flowing out of the landfill revealed an increase in pollution indicators such as: total organic carbon (TOC), periodically electrolytic conductivity and heavy metals including cadmium and copper. It was demonstrated that the quality of groundwater was modified not only the storage wastes, but also agricultural activity in the areas adjacent to the landfill.

**Keywords:** landfill sites for non-hazardous or inert wastes, groundwater, quality.

### WPROWADZENIE

Na terenie Polski eksploatowanych było w 2005 roku ogółem 1 010 składowisk odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne, a w roku 2014 liczba ta spadła do 400 [GUS 2015a]. W województwie podlaskim w roku 2003 eksploatowanych było 119 składowisk odpadów komunalnych. W wyniki przeprowadzonych w latach 2001–2003 przeglądów ekologicznych składowisk ustalono, iż jedynie 13 skła-

dowisk posiada wszystkie wymagane prawem zabezpieczenia i wyposażenie niezbędne do prawidłowej i bezpiecznej dla środowiska eksploatacji. Do niezbędnej modernizacji obejmującej w zależności od obiektu montaż wagi, budowę systemu odgazowywania, brodzika dezynfekcyjnego czy ogrodzenia wytypowano 36 składowisk. Pozostałe składowiska zakwalifikowano, jako obiekty, które należy najpóźniej do roku 2009 zamknąć i zrehabilitować. Na koniec roku 2010 w województwie podlaskim czynnych

było 39 składowisk, a na koniec 2014 roku ich liczba spadła do 14 [GUS 2015b].

Należy pamiętać, że obecnie zamknięte składowiska odpadów często były lokalizowane na terenach do tego nieprzystosowanych i najgorszych pod względem geologicznym jak przykładowo wyeksploatowane żwirownie [Wysokiński 1996]. Ponadto obiekty te nie posiadają między innymi nie tylko sztucznego, ale i naturalnego uszczelnienia, nie są wyposażone w system drenażowy do odprowadzania powstałych odcieków, rowów opaskowych, nie mają zabezpieczających warstw izolacyjnych przed wodami opadowymi. Tak, więc nawet po zamknięciu składowisk problem ich negatywnego wpływu na środowisko gruntowo-wodne będzie aktualny.

Zasięg oddziaływania składowiska na środowisko wynika z rodzaju gromadzonych w składowisku substancji, zdolności do przemieszczania, biodyspozycyjności, niebezpiecznych składowanych materiałów [Małecki i in., 2016] jak również budowy geologicznej, stosowanych zabezpieczeń itp.. Istotne zagrożenia środowiska występują w następstwie oddziaływania wód przesiąkowych (zstępujących) do wód gruntowych, co może skutkować zanieczyszczeniem wód podziemnych również przez zanieczyszczenia uznawane za niebezpieczne, w tym wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) [Koc-Jurczyk, Różak 2011; Rügge i in. 1999] czy też metale ciężkie (kadm, cynk, ołów, miedź, nikiel, chrom) [Leszczyński 2011], które zresztą podlegają monitoringowi.

Celem pracy była ocena, jakości wód podziemnych (ze względu na OWO, stężenia metali ciężkich, WWA i przewodność elektrolityczną) w rejonie nieuszczelnionego gminnego składowi-

ska odpadów komunalnych zlokalizowanego na terenie po wyrobisku żwiru.

## MATERIAŁY I METODY

Badania prowadzono na składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne zlokalizowanym na terenie stanowiącym własność gminy, w województwie podlaskim, zarówno w okresie eksploatacji jak i trwającej rekultywacji.

Składowisko o pojemności całkowitej 50 tys. m<sup>3</sup> zajmuje około 0,8 ha. Jest położone na terenie gminy typowo rolniczej (użytki rolne stanowią 81%, a użytki leśne 13% powierzchni) [GUS 2015b]. Czasza składowiska wykonana została poprzez usypanie okalającego wału ziemnego. Jest to składowisko gruntowe zlokalizowane na nieużytkach po nieczynnym wyrobisku żwiru. W podłożu gruntowym składowiska występują utwory piaszczysto-gliniaste. Teren składowiska od strony południowo-wschodniej i północno-zachodniej przylega do lasu, natomiast od stron północno-wschodniej i południowo-zachodniej do gruntów ornych (rys. 1). Składowisko nie było wyposażone w jakiegokolwiek urządzenia techniczne zabezpieczające przed negatywnym wpływem na środowisko (m.in. brak uzupełnienia naturalnej bariery geologicznej w postaci izolacji syntetycznej – geomembrany, systemu drenażu wód odciekowych, instalacji do odprowadzania gazu składowiskowego, brodzika do dezynfekcji kół pojazdów, rowów opaskowych, zbiornika na odcieki).

Na składowisku nie prowadzono prac zmierzających do dostosowania obiektu do obowiązujących wymogów technicznych zgodnych



Rys. 1. Lokalizacja składowiska odpadów [geoportal.gov.pl]

Fig. 1. Landfill siting

z wówczas obowiązującym rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów [Rozporządzenie 2003].

W bezpośrednim sąsiedztwie analizowanego składowiska wody powierzchniowe nie występują. Od strony zachodniej ciek wodny znajduje się w odległości około 500 m, a od strony wschodniej rzeka w odległości 1200 m od składowiska.

Budowa geologiczna hydrogeologicznego systemu wodonośnego na terenie składowiska odpadów jest bardzo zróżnicowana. Może to wynikać z położenia obiektu na zboczu wzgórza morenowego o zróżnicowanej powierzchni terenu.

Pierwszym użytkowym poziomem wodonośnym w rejonie składowiska odpadów komunalnych jest poziom czwartorzędowy. Poziom ten stanowią przewarstwienia piaszczyste-żwirowe rozdzielone glinami glacialnymi zlodowacenia środkowopolskiego. Pierwszą użytkową warstwę wodonośną poziomu czwartorzędowego w rejonie badań stanowią przypowierzchniowe utwory piaszczysto-żwirowe zasilające okoliczne studnie kopane [Dokumentacja geologiczna...2007]. Od roku 2007 składowisko wyposażone jest w 3 piezometry (P1-P3) umożliwiające badania wód gruntowych. Najbliżej składowiska położone są piezometry P1 i P3 (rys. 2). Wszystkie piezometry znajdują się poza obszarem składowania.

W tabeli 1 zawarto dane charakteryzujące piezometry P1-P3 analizowanego składowiska.

Na składowisku deponowane były odpady komunalne, odpady niezaliczane do niebezpiecznych z działalności produkcyjnej, które nie dawały się wykorzystać gospodarczo (w tym:

odpady wielkogabarytowe, żużle, popioły, gruz budowlany, ziemia z wykopów) (rys. 2), a także odpady niebezpieczne np. zużyte świetlówki, baterie, akumulatory i inne [Plan 2008]. Należy zaznaczyć, że składowisko nie było przystosowane do przyjmowania odpadów niebezpiecznych. Według badań własnych wykonywanych w roku 2007 i 2008 [Badania 2008] w odpadach trafiających na składowisko było średnio: frakcji drobnej poniżej 10mm i mineralnej 28% (głównie popioły z palenisk domowych), papieru i tektury 8,5%, tekstyliów 10,5%, metali 9%, szkła 6,5%, tworzyw sztucznych 21,5%, frakcji organicznej 16%.

Ponadto na składowisku deponowane były osady ściekowe [Uchwała 2005]. Informacje te potwierdziły również uzyskane w latach 2007 i 2008 dane, dotyczące dalszego składowania osadów ściekowych, na analizowanym składowisku, pochodzących z komunalnych. Jednocześnie w Planie gospodarki odpadami dla powiatu monieckiego na lata 2004–2011 podano informację, że większość osadów była i będzie deponowana na istniejących wysypiskach lub wykorzystywana do nawożenia na terenie gminy [Plan 2003].

Przykładowy skład składowanych osadów deponowanym na analizowanym składowisku przedstawia tabela 2. Projekt zamknięcia i rekultywacji tego składowiska został opracowany pod koniec 2009 roku [Protokół 2010]. Od roku 2011 składowisko jest zamknięte, a obecnie znajduje się w trakcie 10-letniego okresu prowadzenia prac rekultywacyjnych, przy czym przetarg na wykonanie prac rekultywacyjnych został ogłoszony w drugiej połowie 2012 roku.

Ocenę stanu wód podziemnych w rejonie składowiska wykonano na podstawie wyników monitoringu wód pochodzących z piezometrów P1-P3,



Rys. 2. Schemat lokalizacji piezometrów na składowisku [na podstawie Dokumentacja geologiczna... 2007]

Fig. 2. Schematic location of piezometers on the landfill

**Tabela 1.** Dane charakteryzujące piezometry P1-P3**Table 1.** The data characterizing piezometers P1- P3

Oznaczenie piezometru	P1		P2		P3	
Rzędna terenu [m p.p.m]	154,69		150,74		154,12	
Rzędna głowicy piezometru [m p.p.m]	154,54		150,42		153,86	
Rzędna lustra wody [m n.p.m]	138,99		140,04		142,52	
Stratygrafia i głębokość przewiercanych otworów	0–0,3 m	gleba piaszczysto– żwirowa, brunatna	0–0,3 m	gleba piaszczysto– żwirowa, brunatna	0–0,3 m	gleba piaszczysto– żwirowa, brunatna
	0,3–11,5 m	piasek z gładzikami, suchy	0,3–1,2 m	Piasek średnioziarnisty, brunatny, suchy	0,3–0,6 m	piasek z gładzikami, suchy
			1,2–11,0 m	żwir brunatny, lekko gliniasty, suchy	0,6–18,5 m	glina pylasto– piaszczysta, brunatna, w stropie z gładzikami
	11,5–15,5 m	glina pylasto– piaszczysta, twardoplastyczna, brunatna	11,0–13,0 m	żwir szaro–brunatny	11,5–19,0 m	piasek drobny, zawodniony
15,5–18,0 m	piasek pylasty	13,0–14,0 m	glina pylasto– piaszczysta, brązowa	19,0–22,5 m	glina pylasto– piaszczysta, brunatna	
Zwierciadło wody ustabilizowane [m p.p.t]	15,7		10,7		11,6	

Źródło: opracowanie wtórne na podstawie *Dokumentacja geologiczna ...2007*

**Tabela 2.** Zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych**Table 2.** The content of heavy metals in sewage sludge

Wskaźnik	Jednostka	Średnia wartość – osady składowane na składowisku*)	Zakres wartości	
			Jackowska i Olesiejuk, 2004	Wiater i Butarewicz, 2014
Ołów – Pb	mg/kg s.m.	39,9	23,4 – 95,0	17,7 – 29,6
Rtęć – Hg	mg/kg s.m.	32,0	0,0 – 0,76	0,8 – 1,3
Miedź – Cu	mg/kg s.m.	374,7	48,2 – 66,3	170 – 216
Kadm – Cd	mg/kg s.m.	1,6	2,19 – 7,98	1,08 – 1,36
Nikiel – Ni	mg/kg s.m.	8,3	21 – 43,4	18,8 – 38,5
Cynk – Zn	mg/kg s.m.	339,5	232 – 574	956 – 1302
Chrom – Cr	mg/kg s.m.	1,2	19,2 – 99,6	43,0 – 85,7

\*) badania własne z lat 2007 [Badania 2008]

otrzymanych z urzędu gminy oraz własnych badań. Na składowisku monitoring wód podziemnych prowadzony był zgodnie Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 roku [Rozporządzenie 2002] oraz obecnie obowiązującym rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 15 listopada 2011 roku ze zmianami z 2013 roku [Rozporządzenie 2011]. Obejmuje on pomiar odczynu, przewodności elektrolitycznej właściwej, zawartości ogólnego węgla organicznego (OWO), sumy wielkopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) i metali ciężkich takich jak: cynk (Zn), miedź (Cu), ołów (Pb), kadm (Cd), chrom (Cr), rtęć (Hg). Wszystkie oznaczenia analityczne wykonywano, zgodnie z Polską Normą,

metodami referencyjnymi określonymi w załączniku numer 5 rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie form i sposobu prowadzenia monitoringu jednolitych części wód powierzchniowych i podziemnych z lat 2009, 2011 i 2013. Odczyn w wodach mierzono potencjometrycznie. Pomiaru przewodności elektrolitycznej właściwej (PWE) dokonano za pomocą konduktometru. Ogólny węgiel organiczny oznaczono za pomocą analizatora TOC (spektrometria IR), WWA z użyciem chromatografii gazowej GC. Metale ciężkie tj.: chrom, miedź i cynk oznaczano metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej (ASA), ołów i kadm – metodą atomowej spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzona indukcyj-

nie, a rtęć metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej wg procedury badawczej PN-EN 12338.

Badania wód podziemnych wykonywane były w latach 2007–2015. Wyniki badań porównano z wartościami granicznymi wskaźników, jakości wody wg klas, jakości dla wód podziemnych zawartych w rozporządzeniach Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych<sup>1</sup> [Rozporządzenie 2008], podano podstawowe charakterystyki statystyczne wartości średnie, minimalne i maksymalne a także medianę i odchylenie standardowe, wykorzystując program Statistica 12.

## WYNIKI I DISKUSJA

Na podstawie badań wód piezometrycznych wokół składowiska, w okresie dziewięciu wartości charakterystyczne dla klasy wód podziemnych od I do III klasy [Rozporządzenie 2008]. W analizowanym okresie odczyn badanych wód ze wszystkich piezometrów ulegał niewielkim wahaniom, natomiast najniższą maksymalną wartość odczynu stwierdzono w wodach z piezometru P3 – najbliższej położonego granic składowiska od strony napływu wód podziemnych (rys. 2, tab. 3). Wielkość odczynu zależy głównie od rodzaju deponowanych odpadów i wieku składowiska. Na analizowanym składowisku deponowano odpady do roku 2009. Oprócz odpadów zmieszanych komunalnych były deponowane również osady ściekowe i odpady paleniskowe [Badania 2008; Uchwała 2005; Plan 2003].

Na skutek luźnego składowania na składowisku znacznych ilości popiołów paleniskowych (około 28% zdeponowanych odpadów [Badania 2008]), opady atmosferyczne wyługowują z nich substancje o charakterze zasadowym (wyciąg wodny z popiołów na początku ekspozycji ma wysoki odczyn, który następnie obniża się w granicach obojętnego [Adamczyk i Nowak, 2012; Kłojzy-Karczmarczyk i Mazurek, 2003; Woźniak i Żygadło, 2002]). Jednocześnie w miarę upływu czasu na skutek zmniejszającej się ilości materii organicznej w masie zdeponowanych odpadów, zmniejsza się ilość produktów kwaśnych [Wiater 2011]. Na zmiany odczynu wpływają także powstające jony amonowe migrujące ze złoża, co sprzyja wyższym odczynom wód, nawet w pierwszym okresie rozkładu [Jagiełło 2003].

<sup>1</sup> Rozporządzenie zostało uchylone 13 stycznia 2016 r.

Drugim badanym wskaźnikiem fizyko-chemicznym wód była przewodność elektrolityczna właściwa (PWE), która w całym okresie prowadzonych badań w wodach piezometrów P1 i P3 przyjmowała wartości charakterystyczne dla I klasy czystości. [Rozporządzenie 2008]. W wodach z piezometrów P1 i P3 przewodność wahała się w od 380  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  do 456  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (tab. 3). Wody z piezometru P2 tylko w latach 2011 i 2012 ze względu na PWE można zaliczyć II klasy czystości, natomiast w pozostałym okresie I klasy czystości (tab. 3 i 4). Zdecydowanie największe wartości przewodności stwierdzone w wodach piezometru P2, zlokalizowanego najdalej od składowiska o najniższej rzędnej analizowanego terenu (tab. 1), na polach uprawnych poza pasem obszaru leśnego (rys. 1 i 2). Świadczyć to może o dopływie zanieczyszczeń antropogenicznych powstałych w wyniku egzotermicznych procesów rozkładu substancji organicznej [Wiater 2011] znajdującej się w: deponowanych odpadach organicznych lub osadach ściekowych, które na analizowanym składowisku były składowane do końca roku 2009 [Uchwała 2005; Plan 2003], osadach ściekowych stosowanych, jako nawóz na okolicznych polach uprawnych [Plan 2003], czy też substancji mineralnych z odpadów mineralnych tj. popiołów deponowanych w dużych ilościach na składowisku [Badania 2008]. Opracowanie statystyczne PWE wykazało istnienie małych różnic między medianą a średnią wartością wskaźnika w wodach piezometrach P3 (tab. 3). Największe rozproszenie wyników PWE uzyskano dla P2, najwyższa wartość odchylenia standardowego – 134,6 (tab. 3).

Do parametrów sumarycznych powszechnie stosowanych do oceny stopnia zanieczyszczenia należy stężenie ogólnego węgla organicznego (OWO), które oznacza sumę węgla zawartego

w związkach organicznych zawartych w wodach podziemnych. Stężenie węgla organicznego obniżało, jakość badanych wód ze wszystkich piezometrów do roku 2009, czyli do roku zakończenia składowania odpadów (tab. 3 i 4).

Stężenie OWO w badanych wodach ze wszystkich piezometrów jest różnorodne i może wskazywać na wpływ zanieczyszczeń zawartych w powstających na składowisku odciekach na stan, jakości wód podziemnych, na co wskazują wyraźnie zwiększone stężenia węgla w wodach piezometrów P1 i P2 (tab. 3 i 4). Największe jego wartości stwierdzono w wodach P1 (max. 24,2  $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), a najniższe w wodach z P3 (tab.3).

**Tabela 3.** Podstawowe statystyki parametrów wody**Table 3.** Basic statistical parameters of water

Punkt poboru	Piezometr 1 (P1)			Piezometr 2 (P2)			Piezometr 3 (P3)		
	Parametr	Odczyn	PWE [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]	OWO [ $\text{g} \cdot \text{m}^3$ ]	Odczyn	PWE [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]	OWO [ $\text{g} \cdot \text{m}^3$ ]	Odczyn	PWE [ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]
Minimum	7,60	380	4,8	7,7	415	4,10	7,5	400	3,50
Maksimum	8,00	520	24,2	8,1	980	21,3	7,9	456	20,2
Średnia	–	420	11,0	–	502	9,80	–	422	6,09
Odchylenie standardowe	–	46,1	6,25	–	161,7	5,30	–	34,5	5,53
Mediana	–	405	9,5	–	438	9,5	–	426	7,6

Charakterystyki statystyczne dotyczące OWO wykazało istnienie małych różnic między medianą a średnią wartością wskaźnika w wodach piezometrach P2 (tab. 3). Największe rozproszenie wyników OWO uzyskano dla P1 – najwyższa wartość odchylenia standardowego – 6,25 (tab. 3).

Istotny wpływ, na jakość wody w badanych piezometrach ma profil geologiczny. W piezometrach P1 i P3 przypowierzchniowa warstwa wodonośna przykryta jest glinami pylasto-gliniastymi (tab. 1). Przy czym miąższość glin wynosi około 4,0 metrów w piezometrze P1 oraz 18,0 metrów w piezometrze P3. Gliny te mogły stanowić barierę izolacyjną wód podziemnych przed

przedstawianiem się zanieczyszczeń z odpadów podlegających złożonym przemianom na pamiętać, że nawet przy występowaniu w podłożu utworów o słabej i bardzo słabej przepuszczalności przykładowo gliny zwałowe, mułki, gliny pylasto-gliniaste może wystąpić przenikanie odcieków do wód podziemnych, ponieważ w strefie przypowierzchniowej przepuszczalność tych utworów jest podwyższona [Klimek i in., 2010]. Warstwa wodonośna w P2 (piezometr najdalej położony od składowiska) jest przykryta żwirem lekko gliniastym (utwór średnio przepuszczalny), który nie stanowi tak dobrej bariery izolacyjnej, jak gliny. Jednak niższe OWO w wodach pobra-

**Tabela 4.** Klasyfikacja wód podziemnych**Table 4.** Classification of groundwater

Rok	Klasy czystości wód podziemnych w wodach piezometrów <sup>*)</sup>		
	P1	P2	P3
2007	- OWO – IV; - PWE, WWA, Zn, Cu, Cd, Pb, Cr, Hg – I;	- OWO – IV; - PWE, WWA, Zn, Cu, Cd, Pb, Cr, Hg – I;	- OWO – II- III; - PWE, WWA, Zn, Cu, Cd, Pb, Cr, Hg – I;
2008	- OWO – IV; - PWE, WWA, Zn, Cu, Cd, Pb, Cr, Hg – I;	- OWO – IV; - PWE, WWA, Zn, Cu, Cd, Pb, Cr, Hg – I;	- OWO – II-III; - PWE, WWA, Zn, Cu, Cd, Pb, Cr, Hg – I;
2009	- OWO – pozaklasowa; - PWE, WWA, Zn, Cu, Cd, Pb, Cr, Hg – I;	- OWO – pozaklasowa; - PWE, WWA, Zn, Cu, Cd, Pb, Cr, Hg – I;	- OWO – pozaklasowa; - PWE, WWA, Zn, Cu, Cd, Pb, Cr, Hg – I;
2010	- Cd - pozaklasowa; - PWE, WWA, OWO, Zn, Cu, Pb, Cr, Hg – I;	- Cd - pozaklasowa; - PWE, WWA, OWO, Zn, Cu, Pb, Cr, Hg – I;	- Cd - pozaklasowa; - PWE, WWA, OWO, Zn, Cu, Pb, Cr, Hg – I;
2011	- PWE – I; - Cu - II; - Cd - niesklasyfikowana ; - WWA, OWO, Zn, Pb, Cr, Hg – I	- PWE - II; - Cu – II; - Cd – niesklasyfikowana; - WWA, OWO, Zn, Pb, Cr, Hg – I	- PWE – I; - Cu – II; - Cd - niesklasyfikowana; - WWA, OWO, Zn, Pb, Cr, Hg – I
2012	- PWE – I; - Cu - II; - Cd - niesklasyfikowana ; - WWA, Zn, Pb, Cr, Hg – I	- PWE - II; - Cu - II; - Cd - niesklasyfikowana; - WWA, Zn, Pb, Cr, Hg - I	- PWE – I; - Cu - II; - Cd - niesklasyfikowana; - WWA, Zn, Pb, Cr, Hg – I
2013	I	I	I
2014	I	I	I
2015	I	I	I

\*) klasyfikacja dokonana wg Rozporządzenie 2008. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych, 2008, Dz.U. Nr 143, poz.896.

nych z tego piezometru w stosunku do prób wody pobranych z P1 (tab. 3 i 4) świadczą o tym, że obniżenie stężenia węgla w badanych wodach nastąpiło na skutek roli infiltracyjnej gleby, która względem węgla organicznego rośnie wraz ze wzrostem odległości od składowiska [Tipping, Woof 1991].

Suma wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w badanych wodach w całym okresie badawczym 2007–2015 była niższa niż graniczna wartość dla I klasy wód podziemnych, w związku z powyższym zaliczone one zostały do I klasy (tab. 4). Stwierdzono jednocześnie, że suma WWA w wodach z piezometrów P1 (śr. 3,9 ng·dm<sup>3</sup>) i P3 (śr. 4,94 ng·dm<sup>3</sup>) była niższa od wartości w P2.

Źródłem WWA mogą być deponowane na składowisku popioły i żużle z palenisk domowych, [Rosik-Dulewska, Karwaczyńska, Ciesielczuk 2007] oraz odpady organiczne, w tym osady ściekowe deponowane na składowisku, które w wyniku rozkładu mogą stanowić źródło WWA [Marttinen i in., 2003; Sibielska i Sidelko 2003]. Przemieszczanie WWA w środowisku zależy jednak od zawartości związków organicznych współwystępujących w powstających odciekach, które pełnią niejako rolę rozpuszczalników [Włodarczyk-Makuła i in., 2003]. Jeżeli takie związki nie występują, to mimo zawartości WWA w deponowanych odpadach, ich transport jest ograniczony do środowiska, ponieważ są one słabo rozpuszczalne w wodzie.

Stężenia wszystkich badanych metali ciężkich (Cd, Zn, Cu, Pb, Cr, Hg) w wodach pobranych z piezometrów P1-P3, w okresie do końca 2009 roku, były niskie i klasyfikowały te wody w I klasie czystości (tab. 4). W latach 2010–2012 podwyższeniu uległo stężenie Cd (stężenia poza-klasowe) we wszystkich punktach pomiarowych P1-P3. Również miedź występowała w wodach P1-P3 w podwyższonych stężeniach (II klasa czystości) w latach 2011–2012 (tab. 4). Źródłem kadmu i miedzi mogą być osady ściekowe (tab. 2) jak i odpady paleniskowe [Antonkiewicz 2009], które były składowane na składowisku. Jednak składowane popioły często stosowane są do wiązania metali ciężkich. Obniżenie odczynu środowiska w zdeponowanych popiołach ma istotny wpływ na poziom ługowania składników szkodliwych do środowiska gruntowo-wodnego [Antonkiewicz 2009].

Możliwym jest, że pierwiastki te mogły pochodzić z osadów ściekowych (tab. 2) wykorzy-

stywanych rolniczo na polach uprawnych. Inne źródło kadmu mogą stanowić nawozy fosforowe, a miedzi – pestycydy stosowane, na terenach uprawnych stanowiących około 81% powierzchni gminy. Tereny uprawne znajdują się w pobliżu składowiska (rys. 1), a piezometry P1 i P2 są na tych polach zlokalizowane. Konieczność stosowania nawożenia gleby na terenie gminy wynika z faktu, że charakteryzują się one bardzo małą i małą zasobnością fosforu, magnezu czy potasu. Ponadto w większości są bardzo kwaśne i kwaśne [Raport 2013], niż odczyn, który sprzyja do migracji metali ciężkich w środowisku gruntowo-wodnym.

Od roku 2013 (rozpoczęcia prac rekultywacyjnych) przeprowadzony monitoring wód podziemnych wykazał, że wszystkie metale są w zakresie stężeń dla wód I klasy [Rozporządzenie 2008].

## WNIOSKI

1. Ładunek zanieczyszczeń zgromadzony w analizowanym składowisku wraz z upływem czasu przeniknął do środowiska gruntowo-wodnego, a zanieczyszczenia przemieszczały się zgodnie ze spadkiem zwierciadła wody oraz spadkiem terenu, a wraz ze wzrostem odległości od składowiska ich stężenia malały.
2. Przyczyną migracji zanieczyszczeń do wód podziemnych może być posadowienie składowiska na utworach niespełniających w pełni kryteriów geologiczno-inżynierskich, jak również brak bariery syntetycznej.
3. Wody podziemne w rejonie składowiska wykazały największą zmienność w zawartości węgla organicznego.
4. Nie stwierdzono tendencji zmiany odczynu wód z zasadowego do kwaśnego, na co mogły mieć wpływ składowane na składowisku odpady paleniskowe.
5. Jakość wód podziemnych była modyfikowana nie tylko przez eksploatację składowiska, lecz mogła być również wynikiem stosowania nawozów i pestycydów w rolnictwie w jego, pobliżu oraz błędną gospodarką osadową, która dopuszczała wykorzystywanie osadów, jako nawozu na glebach o odczynie bardzo kwaśnym i kwaśnym.
6. Badania monitoringowe wód podziemnych na składowisku wskazują na poprawę, jakości wód podziemnych po rozpoczęciu prac rekultywacyjnych na składowisku.

## BIBLIOGRAFIA

- Adamczyk Z., Nowak J. 2012. Zmiana składu chemicznego żużli paleniskowych w składowisku izolowanym od środowiska. *Górnictwo i Geologia*, 2(12), 7–21.
- Antonkiewicz J. 2009. Wykorzystanie popiołów paleniskowych do wiązania metali ciężkich występujących w glebie. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* nr 41, 2009, 398–405.
- Badania 2008. Badania osadów ściekowych i składu morfologicznego odpadów deponowanych na składowiskach z gminy Mońki. Białystok (materiał niepublikowany).
- Dokumentacja geologiczna wykonania piezometrów na terenie gminnego składowiska odpadów Powiat Moniecki. Białystok 2007 (materiał niepublikowany).
- GUS 2015a. Infrastruktura komunalna w 2014 r. Informacje i opracowania statystyczne. Warszawa.
- GUS 2015b. Dane powiatowe. Województwo Podlaskie 2015 – podregiony, powiaty, gminy.
- Jackowska I., A Olesiejuk A. 2004. Ocena przydatności osadów ściekowych z Oczyszczalni Ścieków w Lubartowie do rolniczego wykorzystania *Annales Universitatis Mariae Curie- Skłodowska Lublin* . Vol. Lix, Nr 2, 1001–1006.
- Jagiello E. 2003. Zanieczyszczenia wód podziemnych przez składowisko odpadów komunalnych Swojczyce. *Inż. Ekolog.*, 9, 138–144.
- Klimek A., Wysokiński L., Zawadzka-Kos M., Osęka M., Chrzęszcz J. 2010. Poradnik metodyczny w zakresie PRTR dla składowisk odpadów komunalnych. Warszawa, ss. 63.
- Kłojzy-Karczmarczyk B., Mazurek J. 2003. Wpływ odcieków ze składowisk odpadów komunalnych przemysłowych na jakość środowiska wodnego. *Czasopismo Techniczne* Nr 94-97, 5–12.
- Koc-Jurczyk J., Różak J. 2011. Skład odcieków pochodzących z rekultywowanego składowiska.
- Leszczyński J. 2011. Podczyszczanie odcieków ze składowiska odpadów stałych metodą koagulacji. *Inż. Ekolog.*, 25, 244–250.
- Małecki J., Wira J., Moshynsky V., Małecka I. 2016. Zagrożenie pogorszenia jakości wód powierzchniowych i podziemnych spowodowane niezrekultywowanym składowiskiem odpadów w Tłokini Kościelnej k/Kalisza. *Inż. Ekolog.*, 46, 77–87.
- Marttinen S.K., Kettunen R.H. and Rintala J.A. 2003. Occurrence and removal of organic pollutants in sewage and landfill leachates. *The Sci. of the Tot. Environ.*, 301, 1–12.
- Plan 2003. Plan gospodarki Odpadami dla Powiatu Monieckiego na lata 2004–2010. Białystok 2003
- Plan 2008. Plan rozwoju lokalnego gminy na lata 2007–2013. Załącznik do Uchwały Nr IX/42/07 Rady Gminy
- Protokół 2010. Protokół z kontroli nr 5/10 przeprowadzonej w gminie. 2010.WIOŚ, Białystok.
- Raport 2013. Raport Wyniki badań odczynu i zasobności gleb w fosfor, potas i magnez powiatu Mońki. Białystok 2013.
- Rosik-Dulewska C., Karwaczyńska U., Ciesielczuk T. 2007. Migracja WWA z nieuszczelnionego składowiska odpadów do wód podziemnych. *Rocznik Ochrona Środowiska*, Tom 9, 335–343.
- Rozporządzenie 2002. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów, *Dz. U.* 2002, nr 220, poz. 1858.
- Rozporządzenie 2003. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów *Dz.U.* 2003 nr 61, poz. 549
- Rozporządzenie 2008. 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.
- Rozporządzenie 2011. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 listopada 2011 r. w sprawie form i sposobu prowadzenia monitoringu jednolitych części wód powierzchniowych i podziemnych (*Dz.U.* 2011 nr 258 poz. 1550 z póź. zm. z 2013 r.)
- Rügge K., Bjerg P. L., Mosbaek H., Christensen T. 1999. Fate of MCP and atrazine in an anaerobic landfill leachate plume (Grindsted, Denmark). *Water Res.*, 33(10), 2455–2458.
- Sibielska I., Sidelko R. 2003. Migration of aromatic hydrocarbons in municipal waste landfill. *Ekol. Tech.*, IX (5), 19–31.
- Tipping E., Woof C. 1991. The distribution of human substances between the solid and aqueous phases of acid organic soils, a description based on human heterogeneity and charge. *J. Soil Sci.*, 42, 437–448.
- Uchwała 2005. Uchwała nr XVIII/88/05 Rady Gminy Jasionówka z dnia 11 lutego 2005 r. w sprawie uchwalenia planu gospodarki odpadami.
- Wiater J. 2011. Wpływ składowisk odpadów komunalnych na jakość wód podziemnych i właściwości gleb. *Inż. Ekolog.*, 26, 133–146.
- Wiater J., Butarewicz A. 2014. Sposoby wykorzystania osadów z Oczyszczalni Ścieków w Białymstoku. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 17(2), 281–291.
- Włodarczyk-Makula M., Wiśniowska E., Janosz-Rajczyk M. 2003. Zawartość kancerogennych WWA w wodach nadosadowych. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna* 10, 5.
- Woźniak M., Żygadło M., 2002. Monitoring składowisk odpadów paleniskowych (Fly ash landfills' monitoring) Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego Nr 3, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce, 117–123.
- Wysokiński 1996. Kilka uwag o błędach w budowie składowisk odpadów komunalnych. *Przegląd Komunalny*, 11-12(62-63), 57–58.