

---

**PRACE**

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

***Scientific Works***  
of Institute of Ceramics  
and Building Materials

---

**Nr 26**  
(lipiec–wrzesień)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

**Rok IX**

**Warszawa–Opole 2016**

---

IRENA SŁAWIŃSKA\*  
JOANNA POLUSZYŃSKA\*\*  
EWELINA ŚLĘZAK\*\*\*

# Zmiany zawartości ogólnego węgla organicznego w wodach podziemnych wokół składowiska odpadów komunalnych

**Słowa kluczowe:** składowisko odpadów, odpady, wody podziemne, ogólny węgiel organiczny.

Odpady są nieodłącznym elementem działalności człowieka. W Polsce system zarządzania nimi jest zazwyczaj rozległy, ponieważ odpady komunalne są wciąż w dużej mierze deponowane na składowiskach odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne. Podczas eksploatacji składowiska odpady wpływają na poszczególne elementy środowiska, takie jak: powietrze, gleby, wody, rośliny i zwierzęta. Ocena stanu wód w rejonie składowiska została oparta na własnych badaniach prowadzonych w latach 2013–2015. Wody podziemne nie wykazały wzrostu wskaźnika zanieczyszczenia, jakim jest ogólny węgiel organiczny.

## 1. Wstęp

Powstawanie coraz większej ilości odpadów zmusza wszystkie kraje na świecie do realizacji takiej polityki ochrony środowiska, aby uwzględniła samo powstawanie i ograniczenie ilości odpadów u źródła ich powstawania, odzyskiwanie surowców z odpadów oraz skuteczne unieszkodliwianie wraz z ostatecznym składowaniem.

Deponowanie odpadów na składowiskach jest stosowane szczególnie w krajach słabo rozwiniętych. Sytuacja taka ma również miejsce w wielu państwach euro-

---

\* Mgr, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, i.slawinska@icimb.pl

\*\* Dr, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, j.poluszynska@icimb.pl

\*\*\* Mgr, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, e.slezak@icimb.pl

pejskich, w tym także w Polsce. Obecne regulacje nie pozwalają na składowanie odpadów organicznych lub takich, które można poddać recyklingowi albo przetworzyć, np. na paliwo alternatywne [1–3]. Do połowy 1980 r. składowiska w Polsce były lokalizowane w wyeksploatowanych żwirowniach. W niektórych przypadkach spąg składowisk był uszczelniony gliną, warstwą ilu lub przy użyciu cienkiej folii ogrodniczej. Dopiero od 1997 r. zaczęto standardowo używać geomembran podczas budowy składowisk [5].

Całkowita ilość zanieczyszczeń wymywanych ze składowisk odpadów zależy od rodzaju deponowanych na nim odpadów oraz od przemian fizykochemicznych zachodzących w skarpie składowiska, a także od zabezpieczenia podłoża. Nieprawidłowa lokalizacja i eksploatacja składowisk oddziałuje negatywnie na wszystkie komponenty środowiska naturalnego (gleby, wody podziemne i powierzchniowe, rośliny, powietrze) [6].

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów wszystkie składowiska muszą być monitorowane w zależności od fazy w jakiej się znajdują (faza przed eksploatacyjną, faza eksploatacyjna i faza poeksploatacyjną). Rozporządzenie to określa [3], że monitoringowi muszą podlegać między innymi wody podziemne pobierane z piezometrów zlokalizowanych w obrębie składowiska odpadów w taki sposób, aby monitorować wody napływające i odpływające. Konieczność monitorowania odnosi się również do odcieków ze składowiska oraz wód drenażowych i gazów składowiskowych. Wyniki badań są kolejno porównywane z wytycznymi dotyczącymi jakości wód podziemnych oraz ścieków wprowadzanych do środowiska [4, 7]. Zarówno zapisy Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych [4], jak i Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego [7] wskazują, że ocena wpływu zanieczyszczeń na środowisko powinna obejmować również badania w zakresie stężeń ogólnego węgla organicznego (OWO).

Ogólny węgiel organiczny jest parametrem służącym do opisywania zanieczyszczeń wód substancjami organicznymi pochodzenia naturalnego i antropogenicznego [8]; obejmuje związki węgla zarówno rozpuszczone, jak i zawieszone w wodzie. Całkowity węgiel organiczny może pochodzić nie tylko ze składowiska odpadów, ale i z przemian zachodzących w glebie w warstwie wodonośnej, takich jak biodegradacja substancji organicznej oraz z wymywania substancji organicznej z pól uprawnych sąsiadujących ze składowiskiem [9]. W procesie rozkładu, czyli mineralizacji materii organicznej, uwalniają się i przedostają do środowiska między innymi węgiel, woda oraz składniki mineralne. Głównym składnikiem organicznej substancji gleb torfowych jest węgiel, który może sta-

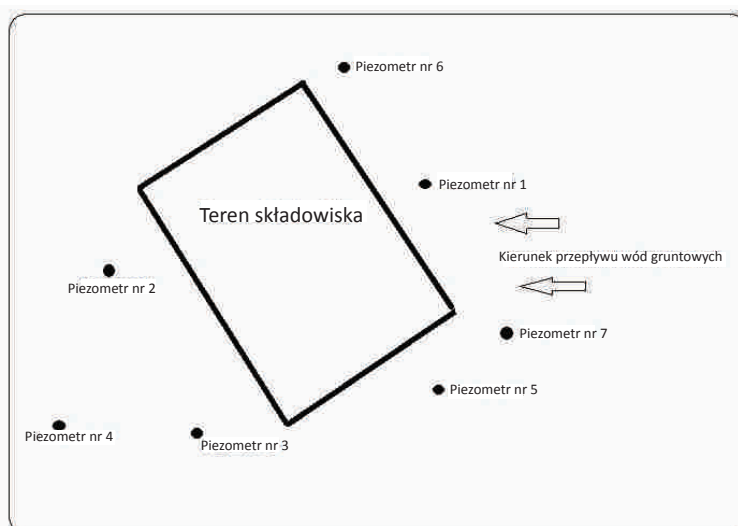
nowić ok. 60% suchej masy. Zgromadzony w torfach węgiel jest podatny na wymywanie i przedostaje się w różnych formach do środowiska wodnego [10]. Stężenie rozpuszczonych związków węgla organicznego w wodzie odpływającej z ekosystemów pobagiennych często przekracza kilkakrotnie wartość tła hydrochemicznego typowego dla wód podziemnych. Zwiększenie stężenia substancji humusowych w wodzie powoduje pogorszenie jej właściwości fizycznych, chemicznych oraz zmniejsza jej przydatności [11].

## 2. Materiały i metody

### 2.1. Teren badań

Badania prowadzono na czynnym składowisku odpadów komunalnych. Ogrodzony teren składowiska zajmuje powierzchnię całkowitą 3,90 ha, a wykorzystaną 2,81 ha. Otoczony jest przez użytki rolne, tereny leśne, pastwiska i łąki oraz drogę dojazdową. Składowisko znajduje się w odpowiedniej odległości, celem uniknięcia bezpośredniego oddziaływania jego eksploatacji na mieszkańców.

Zgodnie z komunikatem 1/0/2016 Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Opolu w sprawie gospodarki odpadami w województwie opolskim w 2015 r. stopień wypełnienia badanego składowiska był na poziomie 69,4%, a całkowita ilość zdeponowanych odpadów wynosiła 1093,4 Mg, w tym 738,0 Mg odpadów składowanych na składowisku celowo zaprojektowanym i 355,4 Mg odpadów przeznaczonych do recyklingu lub odzysku innych materiałów nieorganicznych (w tym oczyszczanie gruntu prowadzące do odzysku gruntu i recyklingu nieorganicznych materiałów budowlanych) [12].



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 1. Mapa poglądowa ułożenia piezometrów względem składowiska i kierunku przepływu wód gruntowych

## 2.2. Metody

Analizę stanu wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów wykonano na podstawie badań własnych. Próbki pobierano z siedmiu piezometrów co 3 miesiące w latach 2013–2015. Otrzymane wyniki obejmują w sumie 12 kwartałów. Na terenie składowiska znajduje się 7 piezometrów. Piezometry 1, 6 i 7 usytuowane są w najwyższym punkcie składowiska w północno-wschodniej jego stronie oraz jednocześnie na dopływie wód podziemnych. Piezometry 2, 3 oraz 4 zlokalizowane są na odpływie wód podziemnych w południowo-zachodniej części składowiska, przy czym piezometr 4 mieści się w najniższej części składowiska. Piezometr 5 znajduje się w południowo-wschodniej części składowiska, a usytuowany jest wzdłuż pływów wód podziemnych.

Analizę stanu wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów wykonano na podstawie badań własnych. Monitoring wód podziemnych na składowisku prowadzony jest zgodnie z wytycznymi zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych [4]. Odcieki ze składowiska odprowadzane są do zbiornika zamkniętego, umiejscowionego w okolicach kwatery czynnej oraz placu wyładowczego odpadów. Odcieki regularnie przepompowywane są ze zbiornika do pobliskiej oczyszczalni ścieków.

Próbki wód podziemnych zostały pobrane zgodnie z normą PN-ISO 5667-11:2004 [13]. Zawartość ogólnego węgla organicznego oznaczono zgodnie z normą PN-EN 1484:1999 [14] za pomocą analizatora automatycznego. Analizowana próbka zakwaszana była kwasem ortofosforowym w celu pozbawienia węglanów, a następnie za pomocą igły autosamplera podawana do rury ze szkła kwarcowego wraz z wypełnieniem katalitycznym dopalającym. Węgiel związany utleniany jest do  $\text{CO}_2$ , a następnie stężenie  $\text{CO}_2$  mierzone jest za pomocą detekcji w podczerwieni IR.

## 3. Analiza i dyskusja wyników

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań zawartości ogólnego węgla organicznego w wodach podziemnych pobranych z piezometrów zlokalizowanych wokół składowiska odpadów komunalnych.

Tabela 1

Wyniki badań ogólnego węgla organicznego dla wód podziemnych w piezometrach 1–4  
w odniesieniu do klas jakości zgodnie z Rozporządzenie Ministra Środowiska  
z dnia 21 grudnia 2015 r.

Czas pobierania próbek	Piezometr 1		Piezometr 2		Piezometr 3		Piezometr 4	
	ogólny węgiel organiczny [mg/l]							
	wynik	klasa wody	wynik	klasa wody	wynik	klasa wody	wynik	klasa wody
I kwartał 2013	3,19	I	4,05	I	2,86	I	17,40	IV
II kwartał 2013	3,41	I	3,65	I	3,25	I	15,90	IV
III kwartał 2013	2,87	I	3,99	I	3,18	I	23,00	V
IV kwartał 2013	2,38	I	3,82	I	2,76	I	19,70	IV
I kwartał 2014	2,89	I	4,34	I	2,84	I	22,80	V
II kwartał 2014	3,67	I	5,73	II	3,66	I	6,56	II
III kwartał 2014	4,01	I	6,45	II	4,30	I	24,90	V
IV kwartał 2014	3,67	I	5,73	II	3,66	I	6,56	II
I kwartał 2015	< 1,00	I	< 1,00	I	< 1,00	I	18,50	IV
II kwartał 2015	3,57	I	2,89	I	4,90	I	19,41	IV
III kwartał 2015	8,96	II	8,13	II	8,48	II	8,39	II
IV kwartał 2015	6,89	II	8,87	II	8,53	II	6,86	II

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 2

Wyniki badań ogólnego węgla organicznego dla wód podziemnych w piezometrach 5–7  
w odniesieniu do klas jakości zgodnie z Rozporządzenie Ministra Środowiska  
z dnia 21 grudnia 2015 r.

Czas pobierania próbek	Piezometr 5		Piezometr 6		Piezometr 7	
	ogólny węgiel organiczny [mg/l]					
	wynik	klasa wody	wynik	klasa wody	wynik	klasa wody
I kwartał 2013	2,07	I	3,57	I	2,89	I
II kwartał 2013	1,75	I	4,06	I	2,31	I
III kwartał 2013	1,71	I	4,55	I	2,24	I
IV kwartał 2013	1,50	I	3,29	I	2,02	I
I kwartał 2014	1,70	I	3,37	I	1,93	I
II kwartał 2014	4,30	I	7,12	II	2,90	I
III kwartał 2014	8,44	II	5,85	II	5,00	I
IV kwartał 2014	4,30	I	7,12	II	2,90	I

cd. tab. nr 2

Czas pobierania próbek	Piezometr 5		Piezometr 6		Piezometr 7	
	ogólny węgiel organiczny [mg/l]					
	wynik	klasa wody	wynik	klasa wody	wynik	klasa wody
I kwartał 2015	< 1,00	I	5,11	II	2,59	I
II kwartał 2015	2,39	I	4,19	I	2,54	I
III kwartał 2015	6,47	II	8,55	II	8,36	II
IV kwartał 2015	9,00	II	8,63	II	5,09	II

Źródło: Opracowanie własne.

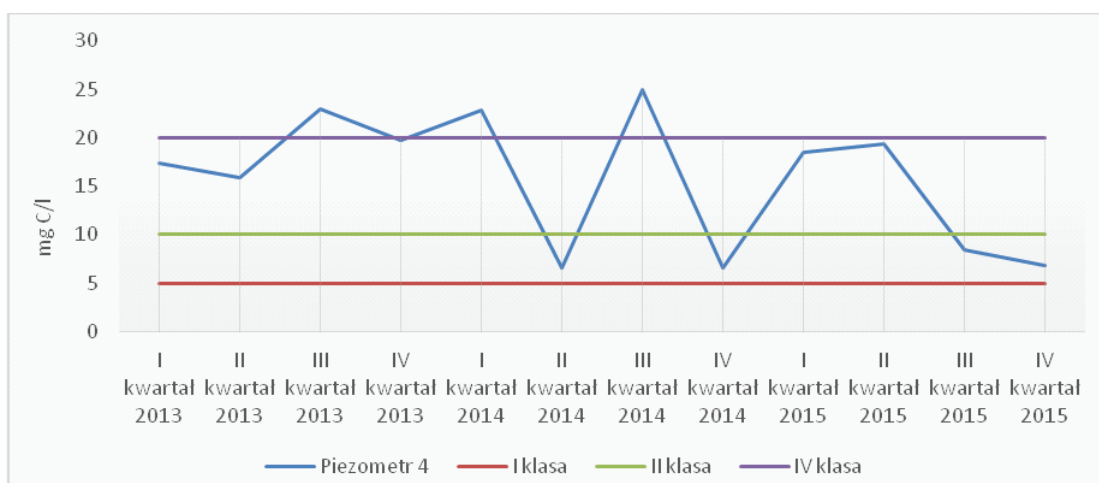
### Tabela 3

Wartości graniczne zawartości ogólnego węgla organicznego w wodach podziemnych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 21 grudnia 2015 r.

Wskaźnik jakości wody	Jednostka	Wartość graniczna w klasach I-V				
		I	II	III	IV	V
Ogólny węgiel organiczny	mg C/l	5	10	10	20	>20

Źródło: Opracowanie własne.

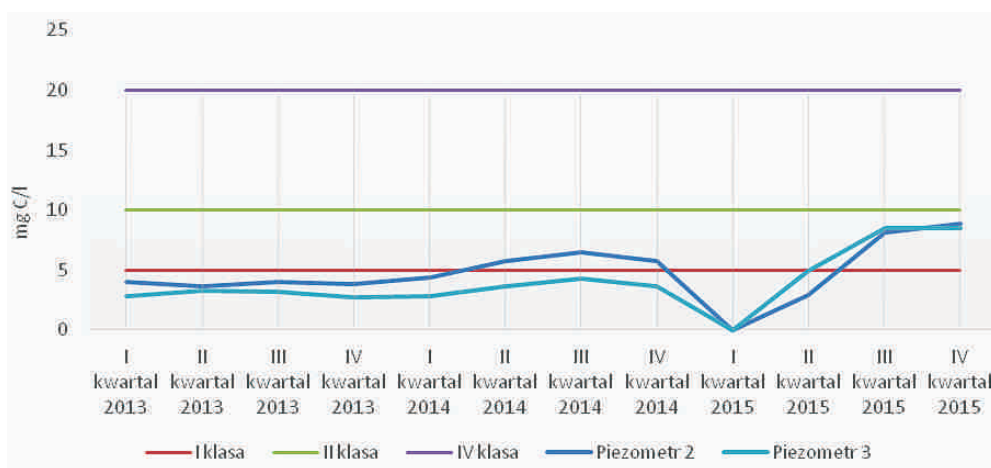
Na podstawie przeprowadzonych badań widać, że najwyższymi stężeniami ogólnego węgla organicznego charakteryzowały się wody w piezometrze 4 [tab. 1, ryc. 2]. Woda w tym piezometrze mogła zostać zaklasyfikowana do II, IV, a nawet V klasy jakości wód podziemnych [4]. Dużo niższe stężenia OWO odnotowano w wodach pozostałych piezometrów. Wodę z piezometru 1, 7 i 3 można było zaklasyfikować w większości przypadków do I klasy jakości wód podziemnych [4].



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 2. Zmiany stężeń ogólnego węgla organicznego w piezometrze 4 w latach 2013–2015 w porównaniu do klas jakości wód podziemnych

Kolejnymi zlokalizowanymi na odpływie wód są piezometry 2 i 3.

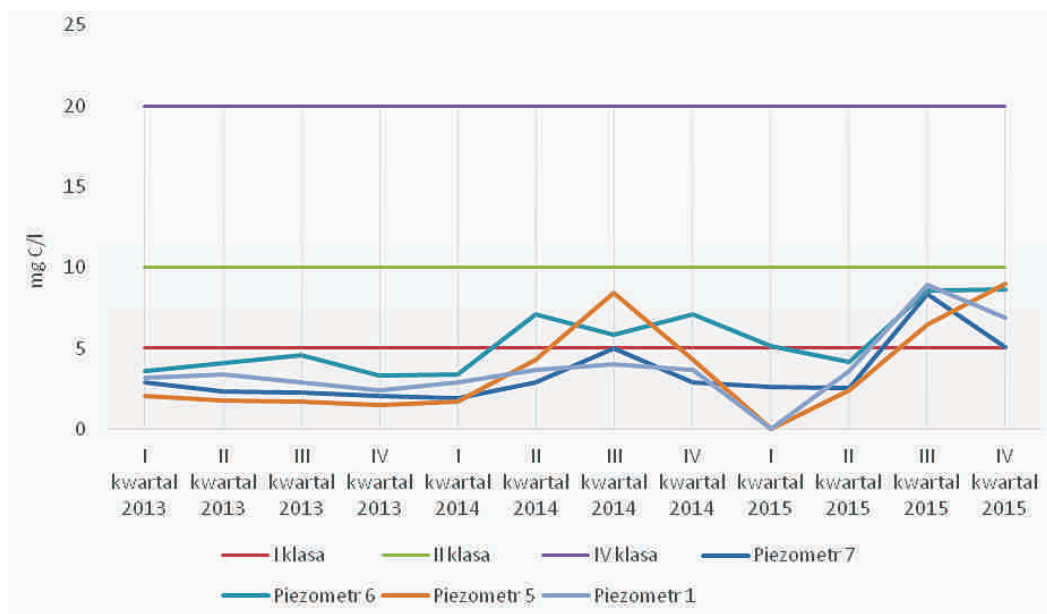


Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 3. Zmiany stężeń ogólnego węgla organicznego w piezometrze 2 i 3 w latach 2013–2015 w porównaniu do klas jakości wód podziemnych

Rycina 3 przedstawia zmiany stężeń OWO w wodzie z piezometru 2 i 3. Utrzymywały się one na równym poziomie (klasa I) do I kwartału 2014 r. Później nieco wzrosły, by najniższe wartości osiągnąć w I kwartale 2015 r. Najwyższe stężenia OWO zaobserwowano podczas badań monitoringowych w IV kwartale 2015 r.

Kolejne piezometry zlokalizowane były na dopływie wód podziemnych (1, 5, 6 i 7).



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 4. Zmiany stężeń ogólnego węgla organicznego w piezometrze 1, 5, 6 oraz 7 w latach 2013–2015 w porównaniu do klas jakości wód podziemnych



Woda w piezometrze 1 charakteryzowała się małymi wahaniami stężeń OWO w ciągu roku. Tak jak w przypadku pozostałych piezometrów, najniższe stężenia OWO odnotowano w I kwartale 2015 r. Wodę najczęściej można było zaklasyfikować do I klasy jakości wód podziemnych. Stężenia OWO w wodzie z piezometru 6 zazwyczaj mieściły się w klasie I i II jakości wód podziemnych. Podlegały jednak większym wahanom stężeń niż w piezometrze 1 i 7, które podobnie zlokalizowane są na napływie wód podziemnych. Woda w piezometrze 5 charakteryzowała się również niskimi stężeniami OWO (I i II klasa). W tym przypadku zaobserwowano nagły wzrost stężenia węgla organicznego w III kwartale 2014 oraz IV kwartale 2015 r. Woda w piezometrach 1, 5, 6 i 7 charakteryzuje się stosunkowo niskim stężeniem OWO. Wynika to głównie z usytuowania oraz wysokości ich położenia względem kierunku spływu wód gruntowych. Piezometry te znajdują się na wpływie wód podziemnych, w związku z czym wpływ składowiska na ich jakość jest znikoma, a głównym źródłem ogólnego węgla organicznego jest prawdopodobnie mineralizacja materii organicznej zawartej w glebie.

Na podstawie przeprowadzonych badań można zaobserwować, że w ostatnich badaniach, począwszy od roku 2015, stężenie OWO w wodzie w tym rejonie składowiska maleje. Składowisko odpadów komunalnych od 2014 r. przyjmuje do składowania odpady, które nie zawierają materii organicznej. Negatywny wpływ na jakość wód podziemnych pod względem zawartości ogólnego węgla organicznego został właściwie zminimalizowany, co można stwierdzić na podstawie uzyskanych wyników badań.

Ponadto wyższe stężenia OWO obserwowane były głównie podczas badań w III i IV kwartałach, co może wskazywać na to, iż węgiel organiczny w wodach podziemnych pochodzi z wymywania substancji organicznej z pól uprawnych sąsiadujących ze składowiskiem.

## 4. Podsumowanie

Przedmiotem badań były wody podziemne pobierane z siedmiu piezometrów w latach 2013–2015 znajdujące się na obszarze czynnego składowiska odpadów. W analizowanym okresie badawczym nie stwierdzono negatywnego wpływu składowiska odpadów na jakość wód podziemnych. Zróżnicowane stężenia ogólnego węgla organicznego wynikały z biodegradacji substancji organicznej oraz z intensywnego eksploataowania użytków rolnych zlokalizowanych w pobliżu piezometrów. Stosunkowo wysokie zawartości ogólnego węgla organicznego zaobserwowano w okresie III i IV kwartału, co może być przejawem intensywnych opadów atmosferycznych właśnie w tym okresie.

## Literatura

- [1] Manfredi S., Tonini D., Christiansen T.H., *Contribution of individual waste fractions to the environmental impacts from landfilling of municipal solid waste*, „Waste Management” 2010, Vol. 30, s. 433–440.
- [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach, Dz.U. z 2015 r. poz. 1277.
- [3] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów, Dz.U. z 2013 r. poz. 523.
- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych, Dz.U. z 2016 r. poz. 85.
- [5] Grygorczuk - Peterson E.H., Wiatery J., *Effect of sealed municipal waste landfill on quality of underground water*, „Journal of Ecological Engineering” 2016, Vol. 17, Issue 1, s. 123–130.
- [6] Wiatery J., *Wpływ składowisk odpadów komunalnych na jakość wód podziemnych i właściwości gleb*, „Inżynieria Ekologiczna” 2011, nr 26, s. 133–144.
- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, Dz.U. z 2014 r. poz. 1800.
- [8] Oluwakunmi Akinbile O.Ch., *Environmental Impact of Landfill on Groundwater Quality and Agricultural Soils in Nigeria*, „Soil and Water Research” 2012, Vol. 7, No. 1, s. 18–26.
- [9] Porowska D., *Assessment of groundwater contamination around reclaimed municipal landfill – Otwock area, Poland*, „Journal of Ecological Engineering” 2014, Vol. 15, No. 4, s. 69–81.
- [10] Longnecker K., Kujawinski E.B., *Composition of dissolved organic matter in groundwater*, „Geochimica et Cosmochimica Acta” 2011, Vol. 75, Issue 10, s. 2752–2761.
- [11] Shen Y., Chapelle F.H., Strom E.W., Benner R., *Origins and bioavailability of dissolved organic matter in groundwater*, „Biogeochemistry” 2015, Vol. 122, Issue 1, s. 61–78.
- [12] Komunikat 1/0/2016 Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Opolu, Gospodarka odpadami w województwie opolskim w 2015 r., [http://www.opole.pios.gov.pl/wms/Pliki/2016/Gospdarka\\_odpadami\\_w\\_woj.\\_opolskim\\_w\\_2015\\_r.pdf](http://www.opole.pios.gov.pl/wms/Pliki/2016/Gospdarka_odpadami_w_woj._opolskim_w_2015_r.pdf) (10.10.2016).
- [13] PN-ISO 5667-11:2004 – Jakość wody – Pobieranie próbek. Część 11 – Wytyczne dotyczące pobierania próbek wód podziemnych.
- [14] PN-EN 1484:1999 – Analiza wody – Wytyczne oznaczania ogólnego węgla organicznego (OWO) i rozpuszczonego węgla organicznego (RWO).

IRENA SŁAWIŃSKA  
JOANNA POLUSZYŃSKA  
EWELINA ŚLĘZAK

CHANGES IN THE CONTENT OF TOTAL ORGANIC CARBON  
IN THE GROUNDWATER AROUND THE LANDFILL

**Keywords:** waste landfill, municipal waste, ground waters, total organic carbon.

Waste is inseparable element of human activity. In Poland, the system of it's management is typically extensive because waste is almost entirely deposited in landfills. During the operation of communal waste landfilling, the waste affects particular elements of environment such as air, soil, water, plants and animals. The assessment of water status in the region of landfill was based on the own research conducted in 2013–2015. Groundwater revealed a stable in pollution indicators such as total organic carbon (TOC).