

## ANALIZA MOŻLIWOŚCI OCENY STANU ŚRODOWISKA WODNEGO W OTOCZENIU SKŁADOWISKA ODPADÓW KOMUNALNYCH

Aleksandra Wdowczyk<sup>1\*</sup>, Agata Szymańska-Pulikowska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instytut Inżynierii Środowiska, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław

<sup>2</sup> Autor do korespondencji: [aleksandra.wdowczyk@upwr.edu.pl](mailto:aleksandra.wdowczyk@upwr.edu.pl)

### STRESZCZENIE

Celem pracy było przeprowadzenie analizy możliwości wykorzystania indeksu zanieczyszczenia odcieków (LPI, Leachate Pollution Index) do oceny stanu zanieczyszczenia wód odciekowych, z wykorzystaniem wyników prowadzonego monitoringu oraz przy poszerzonym zakresie badań. Na podstawie przeprowadzonej analizy można zauważyć, że wykorzystanie do oceny właściwości wód odciekowych wyników oznaczeń w obowiązującym zakresie jest mało efektywne i może dostarczać niepełnych informacji na temat rzeczywistego oddziaływania składowiska na środowisko wodne. Obowiązujący zakres badań właściwości fizykochemicznych wód odciekowych powinien zostać zweryfikowany, ponieważ opiera się w dużej mierze na badaniach zawartości metali ciężkich, nie uwzględnia natomiast pozostałych parametrów, które charakteryzują się dużą zmiennością. Wykazano, że dodanie zaledwie 3 parametrów oznaczanych w ramach obowiązującego zakresu monitoringu, może zmienić znacząco wyliczoną wartość wskaźnika LPI, a tym samym dostarczyć dodatkowych informacji na temat zanieczyszczenia wód odciekowych na danym obiekcie.

**Słowa kluczowe:** składowisko odpadów komunalnych, wody odciekowe, zanieczyszczenie, Indeks Zanieczyszczenia Odcieków

## ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF WATER ENVIRONMENT ASSESSMENT IN THE AREA OF THE LANDFILLMENT OF MUNICIPAL WASTE

### ABSTRACT

The purpose of the work was to analyze the possibilities of using the leachate pollution index (LPI) to assess the state of contamination of leachate waters, using the results of monitoring and extended scope of research. Based on the conducted analysis, it can be noticed that the use of the results of determinations in the current scope for the assessment of the effluent waters is ineffective and may provide incomplete information on the actual impact of the landfill on the aquatic environment. The valid range of the physicochemical properties of leachate waters should be verified, because it relies heavily on the study of heavy metal content, but does not take into account other



SIEĆ NA RZECZ  
INNOWACJI W ROLNICTWIE  
I NA OBSZARACH WIEJSKICH



Krajowa Sieć  
Obszarów Wiejskich



Program  
Rozwoju  
Obszarów  
Wiejskich  
na lata 2014-2020

„Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich: Europa inwestująca w obszary wiejskie”.

Artykuł opracowany na zlecenie Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie.

Artykuł współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach II Schematu Pomocy Technicznej

„Krajowa Sieć Obszarów Wiejskich” Program Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020.

Instytucja Zarządzająca Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020

– Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

parameters, which are characterized by high variability. It has been shown that the addition of only 3 parameters determined within the scope of the monitoring scope in force may change the significantly calculated LPI value, and thus provide additional information on the contamination of leachate waters at a given facility.

**Keywords:** landfill site, leachate, pollution, Leachate Pollution Index

## WPROWADZENIE

Wytwarzanie odpadów jest nieuniknionym następstwem działalności człowieka. Wraz ze wzrostem liczby mieszkańców, wrasta również ilość produkowanych odpadów. Dzięki zmianie podejścia oraz stosowaniu zintegrowanych praktyk gospodarowania odpadami, poprzez redukcję źródeł, ponowne wykorzystanie czy recykling, znacząco zmniejszyła się ilość odpadów trafiających na składowiska [Barton et al. 2008, Bhatt et al. 2017]. Pomimo, że składowanie odpadów jest najbardziej niepożądanym rozwiązaniem (według hierarchii obowiązującej w gospodarce odpadami), nadal jest stosowane, nawet w wysoko rozwiniętych krajach, takich jak USA czy Australia [Jovanov et al. 2017]. W wielu państwach składowanie pozostaje wręcz podstawową metodą unieszkodliwiania odpadów komunalnych [Barton et al. 2008]. Składowanie powszechnie uważane jest za najprostszą i najtańszą formę unieszkodliwiania odpadów, dlatego stało się rozwiązaniem rozpowszechnionym na skalę globalną [Samadder et al. 2017].

Pomimo, że Polska jest członkiem Unii Europejskiej od 2004 roku a według wskaźnika rozwoju społecznego HDI (ang. Human Development Index) jest klasyfikowana jako kraj wysokorozwinięty, w dalszym ciągu duża część odpadów komunalnych jest składowana. Jak podaje Główny Urząd Statystyczny, w Polsce w 2016 roku poddano składowaniu około 42% zebranych odpadów komunalnych [Ochrona środowiska 2017].

Reakcje, przebiegające w złożu odpadów w trakcie eksploatacji składowiska a nawet wiele lat po jego zamknięciu, powodują powstawanie szeregu substancji, wchodzących w skład emisji, do których zaliczamy m. in. wody odciekowe. W związku z tym konieczne jest prowadzenie systematycznej kontroli oddziaływania tego typu obiektów na środowisko, w tym środowisko wodne [Brennan et al. 2016]. Wody odciekowe definiuje się jako płyn przesączający się przez złożo odpadów, który przejmuje substancje w nich zawarte, stając się silnie zanieczyszczonym ściekiem [Renou 2008]. Ze względu na postać ciekłą i możliwość przejmowania zanieczyszczeń po-

wstających i wymywanych ze złoża składowanych odpadów, są jednym z ważniejszych elementów monitoringu składowisk odpadów. Większa ilość składowanych odpadów oznacza większą ilość powstających odcieków, które są uważane za jeden z głównych czynników zanieczyszczających środowisko gruntowe i wodne, związanych z działalnością składowisk odpadów [Bhatt et al. 2017; Wiercik and Szymańska-Pulikowska 2010; Raghav 2013]. Odcieki oddziałują nie tylko na wody podziemne, powierzchniowe i grunt, ale wykazano również ich szkodliwy wpływ na zdrowie i życie człowieka [Naveen et al. 2017]. Ich skład jest bardzo zróżnicowany i zależy od szeregu czynników, tj.: wiek składowiska, rodzaj składowanych odpadów, ich wilgotność, stopień zagęszczenia oraz rozkładu, sposób eksploatacji, a także klimat oraz wysokość opadów atmosferycznych [Raghav 2013; Kheradmand 2010]. Jak pokazują przeprowadzone badania, na skład odcieków największy wpływ ma wiek składowiska oraz klimat lokalny, co wiąże się z sezonową zmiennością wysokości opadów atmosferycznych i temperatury, które wpływają na wewnętrzną aktywność mikrobiologiczną [Bhalla et al. 2013; Tsilogeorgis et al. 2008]. Innym czynnikiem, który wpływa na właściwości odcieków, jest etap procesu fermentacji, który aktualnie przebiega we wnętrzu składowiska [Kulikowska and Klimiuk 2008; El-Fadel et al. 2002]. Analiza wyników badań właściwości fizykochemicznych odcieków pozwala na określenie, w jakiej fazie znajdują się procesy przebiegające na składowisku, np. odczyn alkaliczny świadczy o występowaniu fazy metanogennej, natomiast odczyn kwaśny o występowaniu fazy kwasogennej [Guo et al. 2010]. Wyniki badań mogą też pozwolić na określenie (przybliżonego) wieku składowiska, z którego pochodzą wody odciekowe: tzw. młody odciek, który powstał w ciągu kilku pierwszych lat funkcjonowania składowiska charakteryzuje się wysoką wartością stosunku  $BZT_5/ChZT$ ; z kolei dla odcieku ze starego składowiska stosunek ten przyjmuje niższe wartości [Deng and Englehardt 2006]. Wartość  $BZT_5$  wód odciekowych z młodego składowiska (np. 0–5 lat) może mieścić się w granicach 10 000–25 000 mg  $O_2/l$ , a  $ChZT$

15 000–40 000 mg O<sub>2</sub>/l; na składowiskach w wieku 5–10 lat wartość BZT<sub>5</sub> wynosi: 1000–4000 mg O<sub>2</sub>/l, a ChZT 10 000–20 000 mg O<sub>2</sub>/l. Natomiast na składowiskach starszych, 10–20 letnich, wartość BZT<sub>5</sub> waha się w granicach 50–1000 mg O<sub>2</sub>/l, z kolei ChZT 1000–5000 mg O<sub>2</sub>/l [El-Fadel et al. 2002; Farquhar 1989]. Badania fizykochemiczne pozwalają również na odpowiedni dobór metody oczyszczania odcieków, tj.: do oczyszczania młodych odcieków wykorzystywane będą metody biologiczne, które natomiast będą nieskuteczne do oczyszczania odcieków pochodzących ze starych składowisk, w których odnotowuje się wysoką zawartość składników toksycznych oraz niski stosunek BZT<sub>5</sub>/ChZT [Deng and Englehardt 2006].

W związku z zagrożeniami, jakie niesie funkcjonowanie składowisk odpadów, powstała potrzeba kontroli stanu środowiska w ich otoczeniu. W Polsce zakres, czas, częstotliwość oraz sposób i warunki prowadzenia monitoringu składowisk odpadów zostały określone po raz pierwszy w 2002 roku, w Rozporządzeniu 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). Obecnie obowiązują zasady określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów (Dz.U. z 2013 r. poz. 523). Na jego podstawie dokonuje się oceny stanu środowiska wodnego w otoczeniu składowiska odpadów komunalnych, w poszczególnych fazach jego funkcjonowania. Fazy te, zgodnie z art. 123 ustawy o odpadach, podzielić należy na:

- fazę przedeksploatacyjną, obejmującą okres poprzedzający uzyskanie pierwszej ostatecznej decyzji zatwierdzającej instrukcję prowadzenia składowiska odpadów;
- fazę eksploatacyjną, rozumianą jako okres od dnia uzyskania pierwszej ostatecznej decyzji zatwierdzającej instrukcję prowadzenia składowiska odpadów do dnia zakończenia rekultywacji składowiska odpadów;
- fazę poeksploatacyjną, za którą przyjąć należy okres 30 lat liczony od dnia zakończenia rekultywacji składowiska odpadów (tj. dnia zamknięcia składowiska) [Ustawa 2012].

W fazie przedeksploatacyjnej, mającej na celu ocenę stanu wyjściowego, dokonuje się pomiaru i oceny zgodności z przewidywanym w projekcie budowy składowiska odpadów poziomem wód podziemnych w wykonanych otworach

obserwacyjnych, wyznaczenia w instrukcji prowadzenia składowiska odpadów miejsc poboru prób oraz parametrów wskaźnikowych do dalszych badań monitoringowych, ustalenia tła geochemicznego wód powierzchniowych i wód podziemnych w miejscach, które według zatwierdzonej instrukcji prowadzenia składowiska odpadów są wskazane do monitoringu w dalszych fazach.

Badania objętości i składu wód odciekowych prowadzi się w fazie eksploatacyjnej i poeksploatacyjnej. W przypadku, gdy składowisko odpadów komunalnych jest wyposażone w instalację oczyszczającą wody odciekowe, w każdym miejscu ich odprowadzania ze składowiska należy pobierać próby do badań składu fizykochemicznego, w celu kontroli skuteczności procesu oczyszczania. Zakres badań wód odciekowych ze składowisk odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne, do których zaliczamy odpady komunalne, obejmuje następujące parametry wskaźnikowe: odczyn (pH), przewodność elektrolityczną właściwą, sumę wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych (WWA), ogólny węgiel organiczny (OWO), zawartość metali ciężkich (Cu, Zn, Pb, Cd, Cr<sup>+6</sup> i Hg). Możliwe jest poszerzenie zakresu badań o parametry wybrane z listy określonej w przepisach dotyczących klasyfikacji wód (wartości wskaźników zanieczyszczeń śródlądowych wód powierzchniowych) [Rozporządzenie 2013]. Warto zaznaczyć, że prowadzone badania wykazały występowanie w wodach odciekowych znacznie szerszej gamy zanieczyszczeń mineralnych i organicznych. Do najczęściej stwierdzanych zanieczyszczeń mineralnych należą: azot amonowy, chlorki, siarczany, metale ciężkie. Zanieczyszczenia organiczne najczęściej wyrażane są poprzez BZT<sub>5</sub> i ChZT<sub>(Cr)</sub>. W trakcie badań prowadzonych nad składem wód odciekowych stwierdzono występowanie ponad 400 składników [Öman and Junestedt 2008].

Wyniki oznaczeń wartości poszczególnych wskaźników zanieczyszczenia wód odciekowych odprowadzanych do kanalizacji lub transportowanych w inny sposób do oczyszczalni ścieków komunalnych, porównywane są z wartościami określonymi w Rozporządzeniu Ministra Budownictwa z dnia 14 lipca 2006 r. w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych (Dz.U. z 2016 r., poz. 1757). Jednak w przypadku stosowania innych sposobów unieszkodliwiania wód odciekowych lub konieczności kompleksowej oceny

ich właściwości fizykochemicznych, porównanie wartości poszczególnych oznaczeń może nie wystarczyć do wyciągnięcia ogólnych wniosków lub porównania z innymi obiektami.

Celem pracy było przeprowadzenie analizy możliwości wykorzystania indeksu zanieczyszczenia odcieków (LPI, Leachate Pollution Index) do oceny stanu zanieczyszczenia wód odciekowych na podstawie wyników prowadzonego monitoringu oraz przy poszerzonym zakresie badań.

## MATERIAŁ I METODY

W pracy wykorzystano wyniki badań monitoringowych składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne, zlokalizowanego w południowo-zachodniej części Polski na szerokości geograficznej  $51^{\circ}5'56''N$  i długości  $15^{\circ}16'27''W$ , w województwie dolnośląskim, w południowej części miasta Lubań (około 3 km od jego centrum). Składowisko to funkcjonuje od 2000 roku, zarządza nim Zakład Gospodarki i Usług Komunalnych Sp. z o.o. w Lubaniu. Wcześniej w tym miejscu przez ponad sto lat prowadzona była odkrywkowa działalność górnicza kopalni bazaltu. Obiekt powstał w wyniku rekultywacji jednego z wyrobisk bazaltowych, będących wcześniej we władaniu Łużyckiej Kopalni Bazaltu „Księginki” S.A. [Głapa and Stefanicka 2010; Program 2014].

Składowisko posiada zabezpieczenie przed przenikaniem zanieczyszczeń do środowiska wodnego i przed negatywnym oddziaływaniem na środowisko naturalne. Dno oraz skarpy pierwotnej kwatery składowiska zostały zabezpieczone do wysokości 1,5–2,0 m mineralną warstwą w postaci gliny o miąższości 0,5 m. Powyżej warstwy gliny zostało wykonane dwuwarstwowe uszczelnienie, które stanowi mata bentonitowa typu Bentofix NSP 4900 oraz geomembrana w postaci folii PEHD, zabezpieczona geowłókniną. Na terenie składowiska znajduje się jedna kwatera wraz z częścią rozbudowaną. Całkowita powierzchnia dna kwatery wynosi ok. 0,69 ha, ma ona kształt zbliżony do koła, którego średnica przy dnie wynosi około 100–140 m [Instrukcja 2014].

Do narzędzi, które pozwalają na efektywne porównanie wyników monitoringu z różnych lat lub składowisk, należy opracowany przez Kumara i Alappata indeks zanieczyszczenia odcieków – LPI (*Leachate Pollution Index*). Dla 18

parametrów (właściwości fizykochemicznych), uwzględnianych przy obliczaniu LPI, na podstawie ocen ekspertów ustalono wagi, odzwierciedlające ich wkład w zanieczyszczenie odcieków. Suma wag poszczególnych parametrów wynosi 1 [Kumar and Alappat 2005]. Liczba wybranych oznaczeń jest znacznie większa od wymaganej w ramach w monitoringu składowisk przyjmujących odpady komunalne w Polsce [Rozporządzenie 2013] oraz od liczby oznaczeń analizowanych w wodach odciekowych ze składowiska w Lubaniu w latach 2005–2010.

W tabeli 1 wyszczególniono parametry wybrane do obliczania LPI. Zaznaczono w niej także oznaczenia wchodzące do obowiązkowego zakresu badań składowisk w Polsce oraz analizowane w ramach monitoringu na składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w Lubaniu w latach 2005–2010.

Zauważyć należy, że w Polsce przepisy obligują prowadzących składowiska odpadów komunalnych do obowiązkowego badania jedynie 6 z 18 parametrów zaproponowanych przez Kumara i Alappata [2005]. Uniwersalność indeksu zanieczyszczeń odcieków pozwala na jego wyliczenie także na podstawie wyników badań części z wybranych parametrów, można więc wykorzystać tę metodę do analizy wyników monitoringu z różnych lat, różnych obiektów, zarówno w Polsce, jak i za granicą. LPI w przypadku dysponowania wynikami analiz wszystkich 18 wskaźników zanieczyszczenia można wyliczyć ze wzoru:

$$LPI = \sum_{i=1}^n w_i p_i \quad (1)$$

gdzie: LPI – indeks zanieczyszczenia odcieków,  
 $w_i$  – waga  $i$ -tego parametru,  
 $p_i$  – indywidualny wskaźnik zanieczyszczenia, odczytywany z krzywej, sporządzonej na podstawie ocen ekspertów,  
 $n$  – ilość badanych zmiennych (dla 18 = 1).

Natomiast w przypadku dysponowania mniejszą ilością danych, wskaźnik ten należy obliczyć w następujący sposób:

$$LPI = \frac{\sum_{i=1}^m w_i p_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (2)$$

gdzie:  $m$  – ilość badanych zmiennych (dla  $m < 18$   $\sum_{i=1}^m w_i < 1$ ) [Kumar and Alappat 2005; Szymańska-Pulikowska 2010].

**Tabela 1.** Zestawienie parametrów (właściwości fizykochemicznych) uwzględnianych przy obliczaniu LPI, wymaganych w ramach monitoringu składowisk przyjmujących odpady komunalne oraz analizowanych w wodach odciekowych ze składowiska w Lubaniu w latach 2005-2010 [Kumar and Alappat 2005; Rozporządzenie 2013; Raport 2007, 2009, 2009a, 2010, 2011]

**Table 1.** List of parameters (physicochemical properties) included in the calculation of LPI, required in the monitoring of landfills receiving municipal waste and analyzed in leachate waters from the landfill in Lubań in 2005-2010 [Kumar and Alappat 2005; Rozporządzenie 2013; Raport 2007, 2009, 2009a, 2010, 2011]

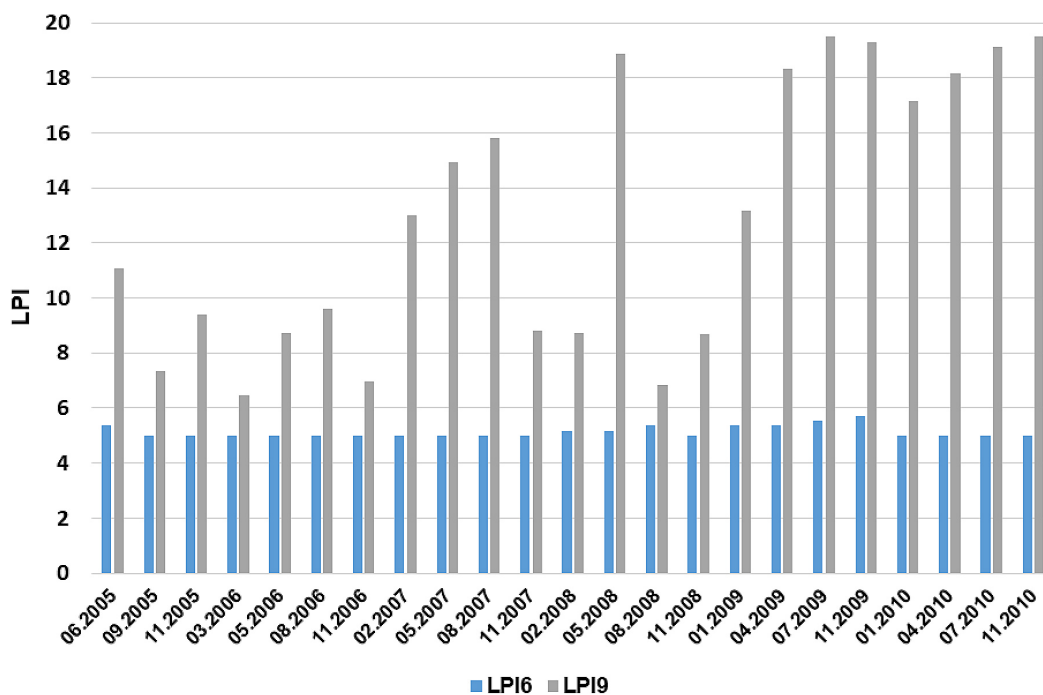
Lp.	Parametry uwzględnianie przy określaniu LPI	Waga	Parametry wymagane w ramach monitoringu składowisk	Parametry badane na składowisku w Lubaniu
1	Odczyn	0,055	X	X
2	Substancje rozpuszczone	0,050		
3	BZT <sub>5</sub>	0,061		
4	ChZT	0,062		
5	Azot Kjeldahla	0,053		X
6	Azot amonowy	0,051		X
7	Żelazo ogólne	0,045		
8	Miedź	0,050	X	X
9	Nikiel	0,052		
10	Cynk	0,056	X	X
11	Ołów	0,063	X	X
12	Chrom ogólny	0,064	X	X
13	Rtęć	0,062	X	X
14	Arsen	0,061		
15	Fenole lotne (indeks fenolowy)	0,057		
16	Chlorki	0,048		X
17	Cyjanki	0,058		
18	Bakterie grupy Coli	0,052		
Razem		1,000	---	---

## WYNIKI I DISKUSJA

Dzięki zaproponowanemu przez Kumara i Alappata [2005] indeksowi zanieczyszczenia odcieków jesteśmy w stanie, na podstawie dostępnych danych monitoringowych, ocenić stopień zanieczyszczenia odcieków na dowolnym składowisku odpadów komunalnych na świecie. Zmiany wartości LPI mogą także dostarczać informacji o starzeniu się składowiska, skutkach zmiany technologii składowania odpadów lub oczyszczania wód odciekowych.

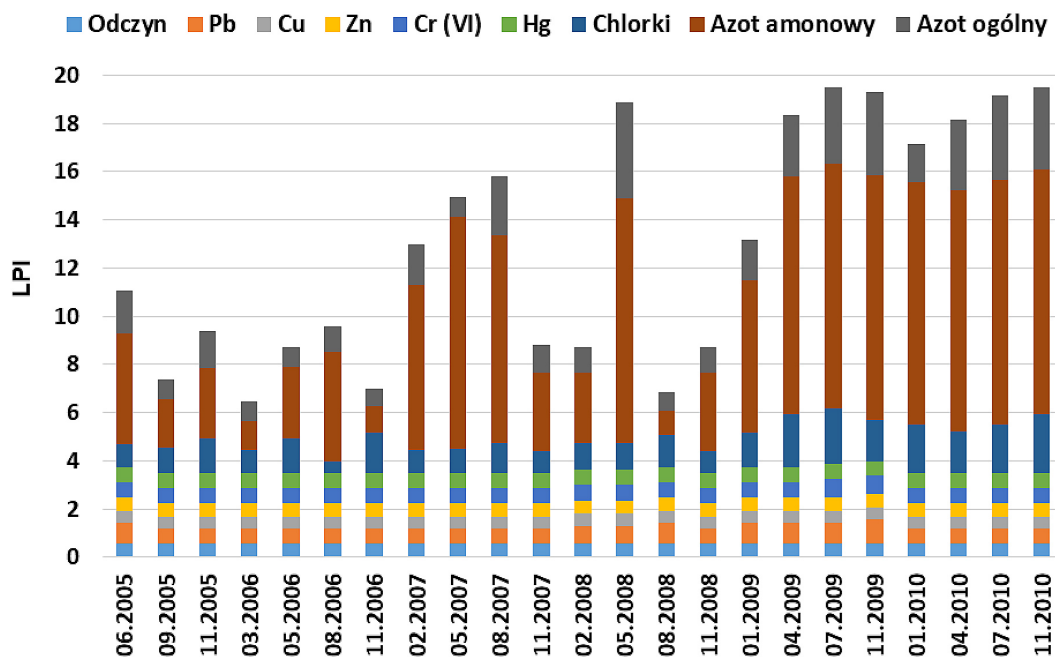
W latach 2005–2010 zakres monitoringu składowiska w Lubaniu obejmował 9 spośród 18 oznaczeń właściwości fizykochemicznych, wytypowanych do obliczania wartości LPI. Dzięki możliwości obliczenia wskaźnika na podstawie wyników uzyskanych przy mniejszym zakresie badań, do oceny stopnia zanieczyszczenia wód odciekowych oraz zmian ich właściwości w trakcie eksploatacji składowiska, wykorzystano wartości wskaźnika LPI dla 6 (LPI6) i 9 (LPI9) parametrów.

Na wykresie 1 przedstawiono obliczone wartości indeksu zanieczyszczenia odcieków dla składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w Lubaniu. Pomimo stosowanych zabezpieczeń, składowiska odpadów w mniejszym lub większym stopniu mogą oddziaływać na środowisko [Grygorczuk-Petersons and Wiatery 2016], co potwierdzają przedstawione wyniki. W literaturze wskazuje się, że skład wód odciekowych zmienia się wraz z wiekiem składowiska a najsilniej zanieczyszczone są one zazwyczaj w pierwszych latach eksploatacji [Kulikowska and Klimiuk 2008, Lu et al. 2016, Moody and Townsend 2017, Öman and Junestedt 2008]. Wartości LPI9 obliczone dla składowiska w Lubaniu wykazują, że zanieczyszczenie wód odciekowych w latach 2005-2010 rosło, co mogło być spowodowane trwającą eksploatacją składowiska i stopniowym zwiększaniem masy zdeponowanych odpadów, z których wydostawały się coraz większe ilości zanieczyszczeń. Natomiast wartości LPI6, obliczone na podstawie parametrów wchodzących w zakres monitoringu, w tym cza-



Rys. 1. Zestawienie wartości wskaźnika LPI dla 6 (LPI6) i 9 (LPI9) parametrów, obliczone na podstawie wyników monitoringu składowiska w Lubaniu [Raport 2007, 2009, 2009, 2010, 2011]

Fig. 1. Comparison of the LPI value for 6 (LPI6) and 9 (LPI9) parameters, calculated on the basis of the monitoring results of the landfill in Lubań [Raport 2007, 2009, 2009, 2010, 2011]



Rys. 2. Udziały poszczególnych parametrów w obliczonych wartościach LPI9 [Raport 2007, 2009, 2009a, 2010, 2011]

Fig. 2. Shares of individual parameters in the calculated LPI9 values [Raport 2007, 2009, 2009a, 2010, 2011]

sie utrzymywały się na podobnym poziomie, nie wskazując na większe zmiany zanieczyszczenia.

W przypadku analizy 6 wybranych parametrów tj.: odczyn, Pb, Cu, Zn, Cr (VI), Hg – czyli oznaczeń obowiązkowo wykonywanych w ramach monitoringu, wskaźnik zanieczyszczenia

LPI nie ulegał widocznym zmianom i kształtował się w przedziale 5-6. Po dodaniu wyników badań trzech dodatkowych parametrów (zawartości azotu amonowego, azotu ogólnego oraz chlorków), których analiza nie jest obowiązkowa, można zauważyć znaczne różnice. Wartości LPI wahały się

w granicach od ok. 6,5 w marcu 2005 roku, do ponad 19 w lipcu, listopadzie 2009 i 2010 roku oraz maju 2008 roku, czyli po dodaniu trzech oznaczeń wzrosły kilkukrotnie w stosunku do wartości obliczonych na podstawie 6 parametrów. Pozwoliło to na sporządzenie dokładniejszej i bardziej wiarygodnej oceny zanieczyszczenia odcieków. Stwierdzone różnice wynikają z udziału poszczególnych parametrów (właściwości fizykochemicznych) w obliczonych wartościach LPI9, spośród których zawartości azotu (szczególnie amonowego) i chlorków są charakterystyczne dla silniej zanieczyszczonych wód odciekowych, pochodzących z krótko składowanych odpadów [Kulikowska and Klimiuk 2008].

Na rysunku 2 przedstawiono szczegółowe udziały badanych parametrów w wartościach LPI, obliczonych dla 9 wskaźników (LPI9). Wskaźnikami, które w głównej mierze wpłynęły na obliczone wartości, były: zawartość azotu amonowego oraz azotu ogólnego i chlorków, czyli parametry dodatkowe, nie uwzględnione w przepisach dotyczących monitoringu składowisk.

Zawartość metali ciężkich w latach 2005-2010 była stosunkowo niska, co wiązało się m. in. z lekko zasadowym odczynem wód odciekowych, który powodował spadek rozpuszczalności metali ciężkich, a co za tym idzie ich mniejszą zawartość w odciekach [Bilitewski et al. 2006, Tatsi and Zouboulis 2002]. Dlatego wartości LPI6, obliczone głównie na ich podstawie, nie wykazywały wyraźnego zróżnicowania.

## PODSUMOWANIE

Zarówno w Polsce, jak i na świecie, istnieje obowiązek prowadzenia monitoringu stanu zanieczyszczenia odcieków pochodzących ze składowisk odpadów komunalnych. Do analizy jego wyników można wykorzystać indeks zanieczyszczenia odcieków (LPI), który pozwala na kompleksowe określenie stanu zanieczyszczenia odcieków. Umożliwia także porównywanie wyników monitoringu z różnych lat i obiektów, co może pozwolić na przeprowadzanie szerszych analiz i wyciąganie wniosków, pozwalających na lepsze rozpoznanie procesów zachodzących w złożu składowanych odpadów.

Obowiązujący w Polsce zakres monitoringu wód odciekowych został wprowadzony po raz pierwszy w roku 2002. Ustalony wtedy i obowiązujący do dzisiaj zakres badań właściwości fizykochemicznych powinien zostać zweryfikowany,

ponieważ opiera się w dużej mierze na badaniach zawartości metali ciężkich, nie uwzględnia natomiast parametrów, które charakteryzują się większą zmiennością, takich jak np. zawartość azotu amonowego czy chlorków. Jak wykazały przeprowadzone analizy, wykorzystanie do oceny właściwości wód odciekowych wyników oznaczeń w obowiązującym zakresie jest mało efektywne i może dostarczać niepełnych informacji na temat możliwości oddziaływania składowiska na środowisko wodne. Natomiast dodanie zaledwie 3 parametrów może zmienić całkowicie wyliczony wskaźnik LPI, a co za tym idzie dostarczyć dodatkowych informacji na temat zanieczyszczenia wód odciekowych na danym obiekcie.

## BIBLIOGRAFIA

1. Barton J.R., Issaias I., Stentiford E.I. 2008. Carbon-Making the right choice for waste management in developing countries. *Waste Manag.*, 28(4), 690-698.
2. Bhalla B., Saini M.S., Jha M.K. 2013. Effect of age and seasonal variations on leachate characteristics of municipal solid waste landfill. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2(8).
3. Bhatt A.H., Karanjekar R.V., Altouqi S., Melanie L., Sattler M.L., Hossain M.D.S, Chen V.P. 2017. Estimating landfill leachate BOD and COD based on rainfall, ambient temperature, and waste composition: Exploration of a MARS statistical approach. *Environmental Technology and Innovation*, 8, 1-16.
4. Bilitewski B., Härdtle G., Marek K. 2006. Podręcznik gospodarki odpadami – teoria i praktyka. Wyd. Seidel-Przywecki Sp. z o. o.
5. Brennan R.B., Healy M.G., Morrison L., Hynes S., Norton D., Clifford E. 2016. Management of landfill leachate: the legacy of European Union Directives, *Waste Manage.*, 55, 355-363.
6. Deng Y., Englehardt J.D. 2006. Treatment of landfill leachate by the Fenton proces. *Water Res.*, 40, 3683-3694.
7. El-Fadel M., Bou-Zeid E., Chahine W., Alayli B. 2002. Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. *Waste Manage.*, 22, 269-282.
8. Farquhar G.J. 1989. Leachate: production and characterization. *Can. J. Civ. Engrg.*, 16, 317-325.
9. Glapa W., Stefanicka M. 2010. Gospodarka zasobami złóż na przykładzie Łużyckiej Kopalni Bazytu „Księginki” S.A. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 3, 159-167.

10. Grygorczuk-Petersons E., Wiater J. 2016. Effect of sealed municipal waste landfill on the quality of underground water. *Journal of Ecological Engineering*, 17(1), 123–130.
11. Guo J.S., Abbas A.A., Chen YP, Liu ZP, Fang F., Chen P. 2010. Treatment of landfill leachate using a combined stripping, Fenton, SBR, and coagulation proces. *Journal of Hazardous Materials*, 178(1–3), 699-705.
12. Instrukcja prowadzenia składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w Lubaniu. 2014. Zakład Gospodarki i Usług Komunalnych w Lubaniu.
13. Jovanov D., Vujić B., Vujić G. 2017. Optimization of the monitoring of landfill gas and leachate in closed methanogenic landfills. *Journal of Environmental Management*, 216, 32-40.
14. Kheradmand S., Karimi-Jashni A., Sartaj M. 2010. Treatment of municipal landfill leachate using a combined anaerobic digester and activated sludge system. *Waste Management*, 30(6), 1025-1031.
15. Kulikowska D., Klimiuk E. 2008. The effect of landfill age on municipal leachate composition. *Bioresour. Technol*, 99, 5981-5985.
16. Kumar D., Alappat B.J. 2005. Evaluating leachate contamination potential of landfill sites using leachate pollution index. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 7(3), 190-197.
17. Lu M-C., Chen Y.Y., Chiou M-R., Chen M.Y., Fan H-J. 2016. Occurrence and treatment efficiency of pharmaceuticals in landfill leachates. *Waste Management*, 55, 257-264.
18. Moody C.M., Townsend T. G. 2017. A comparison of landfill leachates based on waste composition. *Waste Management*, 63, 267-274.
19. Naveen B.P., Mahapatra D.M., Sitharam T.G., Sivapullaiah P.V., Ramachandra T.V. 2017. Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate. *Environ. Pollut.*, 220(A), 1–12.
20. Ochrona środowiska. 2017. Główny Urząd Statystyczny.
21. Öman C.B., Junestedt C. 2008. Chemical characterization of landfill leachates – 400 parameters and compounds. *Waste Management*, 28(10), 1876-1891.
22. Program ochrony środowiska. 2014. Zakład Badawczo-Wdrożeniowy Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej w Jeleniej Górze.
23. Raghav S., Meguid A., Hegazi H. 2013. Treatment of leachate from municipal solid waste landfill. *HBRC Journal*, 9, 187–192.
24. Raport monitoringu składowiska odpadów komunalnych w Lubaniu, gm. Lubań, przy ul. Bazaltowej za lata 2001-2008. 2009. Zakład Inżynierii Środowiska Eko-Projekt Sp. z o.o.
25. Raport monitoringu składowiska odpadów komunalnych w Lubaniu, gm. Lubań, przy ul. Bazaltowej za rok 2010. 2011. Zakład Inżynierii Środowiska Eko-Projekt Sp. z o.o.
26. Raport monitoringu składowiska odpadów komunalnych w Lubaniu, gm. Lubań, przy ul. Bazaltowej za rok 2009. 2010. Zakład Inżynierii Środowiska Eko-Projekt Sp. z o.o.
27. Raport monitoringu składowiska odpadów komunalnych w Lubaniu, gm. Lubań, przy ul. Bazaltowej za rok 2008. 2009a. Zakład Inżynierii Środowiska Eko-Projekt Sp. z o.o.
28. Raport monitoringu składowiska odpadów komunalnych w Lubaniu, gm. Lubań, przy ul. Bazaltowej za rok 2006. 2007. Zakład Inżynierii Środowiska Eko-Projekt Sp. z o.o.
29. Renou S., Givaudan J.G., Poulain S., Dirassouyan F., Moulin P. 2008. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150(3), 468-493.
30. Rozporządzenie Ministra Budownictwa z dnia 14 lipca 2006 r. w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych (t.j. Dz.U. z 2016 r., poz. 1757).
31. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów (Dz. U. z 2013 r. poz. 523).
32. 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).
33. Samadder S.R., Prabhakar R., Khan D., Kishan D., Chauhan M.S. 2017. Analysis of the contaminants released from municipal solid waste landfill site: A case study. *Science of the Total Environment*, 580, 593-601.
34. Szymańska-Pulikowska A. 2010. Ocena właściwości wód odciekowych z krajowych składowisk odpadów komunalnych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 8(2), 141-150.
35. Tatsi A.A., Zouboulis A. 2002. A Field Investigation of the Quantity and Quality of Leachate from a Municipal Solid Waste Landfill in a Mediterranean Climate (Thessaloniki, Greece). *Advances in Environmental Research*, 6(3), 207-219.
36. Tsilogeorgis J., Zouboulis A., Samaras P., Zamboulis D. 2008. Application of a membrane sequencing batch reactor for landfill leachate treatment. *Desalination*, 221, 483-493.
37. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (t. j. Dz.U. z 2018 r. poz. 992 ze zm.).
38. Wiercik P., Szymańska-Pulikowska A. 2010. Wpływ składowiska odpadów komunalnych w Wojcyczach na jakość wód podziemnych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 8(2), 151-162.