



Izabela Anna Tałałaj

# ANALIZA ZMIENNOŚCI INDEKSU ZANIECZYSZCZEŃ ODCIEKÓW NA SKŁADOWISKACH FUNKCJONUJĄCYCH ORAZ ZAMKNIĘTYCH

---

Izabela Anna Tałałaj, dr inż. – Politechnika Białostocka

adres korespondencyjny:

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Katedra Systemów Inżynierii Środowiska

ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

e-mail: i.talalaj@pb.edu.pl

## ANALYSIS OF VARIABILITY OF LEACHATE POLLUTION INDEX FROM OPERATED AND CLOSED LANDFILLS

**SUMMARY:** In paper, the comparison of the leachate contamination of two active and two closed landfills site is presented. Leachate quality was assessed, using the Leachate Pollution Index (LPI). For the LPI calculation of a leachate quality data from the years 2004–2011 was used. Value of calculated LPI for all the analyzed landfills does not exceed 6. It indicates that process of decomposition of organic matter is in stable phase. The largest variations of the LPI values were reported to the active landfill O2. They result from the quantity and quality of differentiation of landfilled waste. LPI values, calculated for closed landfills were similar and have no substantial differentiation during the study time. There were no significant statistical differences between the LPI values of the analyzed landfill.

**KEY WORDS:** pollution index, leachate, landfill, variability of leachate quality

---

## Wstęp

Jednym z produktów funkcjonowania składowisk są silnie zanieczyszczone odcieki. Powstają one w wyniku infiltracji przez bryłę odpadów opadów atmosferycznych, gdy zawartość wilgoci w złożu odpadów przekracza jego pojemność retencyjną<sup>1</sup>. Wskutek procesów fizycznych, chemicznych oraz biologicznych zachodzących we wnętrzu odpadów do przesiąkającej wody przenoszonych jest szereg zanieczyszczeń<sup>2</sup>. Potwierdzają to również badania Oman i Junestedt<sup>3</sup>, którzy w badanych wodach odciekowych zidentyfikowali 400 związków zanieczyszczających.

W Polsce brak jest regulacji prawnych określających dopuszczalne wartości wskaźników zanieczyszczeń oznaczanych w odciekach. Otrzymane wyniki często porównuje się z danymi dotyczącymi odcieków z innych składowisk. Porównywanie odcieków na podstawie wartości poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń może być jednak dosyć uciążliwe i czasochłonne. Rozwiązaniem sytuacji może być zaproponowany przez Kumar i Alappat<sup>4</sup> indeks zanieczyszczeń odcieków (*Leachate Pollution Index – LPI*), określający ogólny potencjał zanieczyszczeń niesionych przez odcieki składowiskowe. Może być on wykorzystywany do klasyfikacji/rankingu składowisk ze względu na jakość odcieków, śledzenia zmian jakości odcieków, badań naukowych czy nawet jasnego przekazywania społeczeństwu informacji dotyczących jakości odcieków.

Do końca 2008 roku w Polsce funkcjonowało 879 składowisk odpadów komunalnych, w tym w województwie podlaskim – 77. W 2010 roku liczba składowisk zmniejszyła się do 633 (w Podlaskiem – do 42) ze względu na zamknięcie

<sup>1</sup> M. El-Fadel i in., *Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content*, „Waste Management” 2002 t. 22, nr 3, 269-282. J. Koc-Jurczyk, *Treatment technologies of municipal waste landfill Leachate*. Contemporary Problems of Management and Environmental Protection, „Sewage and Waste Materials in Environment” 2009 nr 4, s. 59-70.

<sup>2</sup> A. Allen, *Attenuation Landfills – the Future in Landfilling*, „Rocznik Ochrony Środowiska” 2000 t. 2.; S. Mor i in., *Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site*, „Environmental Monitoring and Assessment” 2006 nr 118, s. 435-456.; E. Durmusoglu, C. Yilmaz, *Evaluation and temporal variation of raw and pre-treated leachate quality from an active solid waste landfill*, „Water, Air, and Soil Pollution” 2006 nr 171, s. 359-382.; C. Rosik-Dulewska, U. Karwaczyńska, T. Ciesielczyk, *Migracja WWA z nieuszczelnionego składowiska odpadów do wód podziemnych*, „Rocznik Ochrony Środowiska” 2007 t. 9.; D. Kulikowska, E. Klimiuk, *The effect of landfill age on municipal leachate composition*, „Biore-source Technology” 2008 nr 99, s. 5981-5985.; K.U. Singh i in., *Assesment of the impact of landfill groundwater quality: A case study of the Pirana site in western India*, „Environmental Monitoring and Assessment” 2008 nr 141, s. 309-321.

<sup>3</sup> C.B. Oman, C. Junestedt, *Chemical characterization of landfill leachates-400 parameters and compounds*, „Waste Management” 2008 nr 28, s. 1876-1891.

<sup>4</sup> B.J. Alappat, D. Kumar, *Evaluating leachate contamination potential of landfill sites using leachate pollution index*, „Clean Technologies and Environmental Policy” 2005 nr 7(3).

większości obiektów nie posiadających wymaganych zabezpieczeń przed negatywnym oddziaływaniem na środowisko oraz składowisk małych – nieefektywnych z ekonomicznego punktu widzenia. W wyniku tej sytuacji w kraju powstała znaczna liczba składowisk zamkniętych, które ze względu na procesy zachodzące w bryle odpadów mogą nadal stanowić zagrożenie dla otaczającego środowiska.

Celem pracy jest ocena jakości odcieków za pomocą indeksu zanieczyszczeń na wybranych składowiskach funkcjonujących oraz zamkniętych. Do analiz przyjęto cztery obiekty leżące na terenie województwa podlaskiego, z których dwa były składowiskami w trakcie eksploatacji, zaś dwa pozostałe składowiskami zamkniętymi.

## Metodyka badań

Do oceny zmienności jakości odcieków wykorzystano indeks zanieczyszczeń odcieków – LPI (*Leachate Pollution Index*)<sup>5</sup>. Wartość LPI określa się na podstawie maksymalnie 18 parametrów. Każdy z nich posiada przyporządkowaną mu wagę, których suma dla wszystkich parametrów wynosi 1 (tabela 1).

Sumaryczna ocena jakości odcieków jest przedstawiana za pomocą jednej wartości obliczonej według zależności<sup>6</sup>:

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

gdzie:

LPI – indeks zanieczyszczeń odcieków,

$w_i$  – waga i-tego parametru,

$p_i$  – subindeks i-tego parametru

$m$  – ilość badanych parametrów; gdy  $m < 18$ , wówczas  $\sum_{i=1}^m w_i < 1$

Wartość subindeksu  $p_i$  odczytuje się z nomogramów, na których na osi odciekowych zaznaczone są zakresy stężeń najczęściej obserwowane w trakcie badań wód odciekowych, zaś na osi rzędnych – odpowiadający im indywidualny subindeks zanieczyszczeń.

W niniejszej pracy obliczono wartość indeksu zanieczyszczeń odcieków dla dwóch funkcjonujących (O1, O2) oraz dwóch zamkniętych (NO1, NO2) składowisk.

Składowisko NO1 – jest składowiskiem odpadów komunalnych, na którym w 2009 roku zakończono składowanie odpadów. Zajmuje ono powierzchnię 1,8 ha. Objętość zgromadzonych na nim odpadów szacuje się na 22 508 m<sup>3</sup>. Roczna masa przyjmowanych odpadów wynosiła około 500 Mg/rok. Podłoże składowiska jest

<sup>5</sup> Ibidem.

<sup>6</sup> Ibidem.

Tabela 1  
Waga poszczególnych parametrów zanieczyszczeń uwzględnianych przy obliczaniu indeksu zanieczyszczenia odcieków

Lp.	Wskaźnik zanieczyszczenia	Waga ( $w_i$ )
1	Odczyn	0,055
2	Substancje rozpuszczone	0,050
3	BZT5	0,061
4	ChZT	0,062
5	Azot Kjeldahla	0,053
6	Azot amonowy	0,051
7	Żelazo ogólne	0,045
8	Miedź	0,050
9	Nikiel	0,052
10	Cynk	0,056
11	Ołów	0,063
12	Chrom ogólny	0,064
13	Rtęć	0,062
14	Arsen	0,061
15	Fenole lotne (indeks fenolowy)	0,057
16	Chlorki	0,048
17	Cyjanki	0,058
18	Bakterie grupy Coli	0,052
	Łącznie	1,000

Źródło: B. J. Alapat, D. Kumar, *Evaluating leachate contamination potential of landfill sites using leachate pollution index*, "Clean Technologies and Environmental Policy" 2005 nr 7(3).

uszczelnione folią z wysoko zagęszczonego polietylenu (HDPE) o grubości 2 mm. Zebrane drenażem odcieki gromadzone są w zbiorniku i wywożone na oczyszczalnię ścieków.

Składowisko NO2 – jest składowiskiem odpadów komunalnych, które zostało zamknięte w roku 2009. Całkowita powierzchnia składowiska wynosi 3,5 ha. Objętość zgromadzonych na nim odpadów oszacowano na 38 920 m<sup>3</sup>. Rocznie na składowisko trafiało około 2 000 Mg odpadów. Składowisko składa się z pięciu kwater, z których trzy posiadają uszczelnienie podłoża wykonane z wysoko zagęszczonej folii polietylenowej (PEHD) o grubości 2 mm. Odcieki gromadzone są w dwóch zbiornikach i okresowo wywożone na oczyszczalnię ścieków.

Składowisko O1 – jest składowiskiem odpadów komunalnych funkcjonującym od 1994 roku. Całkowita powierzchnia składowiska wynosi 3 ha. Na składowisku zgromadzonych jest około 18 480 m<sup>3</sup> odpadów, co stanowi 80% jego cał-

kowej pojemności (23 100 m<sup>3</sup>). Składowisko posiada uszczelnione folią PEHD podłoże oraz drenaż odcieków. Rocznie może trafić na nie 40 000 Mg odpadów. Przewidywany termin zamknięcia składowiska – 2017 rok.

Składowisko O2 – jest składowiskiem odpadów komunalnych, na którym w 1984 roku rozpoczęto składowanie odpadów. Całkowita powierzchnia składowiska wynosi 35 ha. Na składowisku zgromadzono 308 000 m<sup>3</sup> odpadów, co stanowi około 45% jego całkowitej pojemności. Składowisko składa się z pięciu kwater, z których cztery mają uszczelnione podłoże (PEHD o grubości 2 mm) oraz posiadają drenaż odcieków. Średnioroczna ilość przyjmowanych odpadów wynosi w granicach 40 000 Mg.

Dane do obliczeń indeksu wskaźnika zanieczyszczeń odcieków uzyskano z Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Białymstoku. Indeks zanieczyszczeń obliczano na podstawie parametrów oznaczanych w ramach monitoringu składowisk. Analizowanymi parametrami wykorzystywanymi do obliczeń LPI były: odczyn, rtęć, chrom, miedź, cynk oraz ołów. Obliczenia indeksu zanieczyszczeń odcieków wykonano dla 8 lat od 2004 roku do 2011 roku. Mimo że wszystkie składowiska objęte były monitoringiem, jednak nie na wszystkich był on prowadzony w sposób systematyczny. Stąd w przypadku składowiska NO1 oraz NO2 okres badawczy objął lata 2006-2011 z przerwami w 2007 oraz 2008 roku.

## Wyniki badań i dyskusja

Wartości indeksu zanieczyszczeń odcieków dla dwóch składowisk zamkniętych (NO1, NO2) oraz dwóch składowisk otwartych (O1, O2) na przestrzeni lat 2004-2011 przedstawiono w tabeli 2.

Według Szymańskiej-Pulikowskiej<sup>7</sup> wartość LPI na składowiskach krajowych kształtuje się od około 4 do 18. Na wszystkich składowiskach wielkość indeksu zanieczyszczeń nie przekroczyła wartości 6, co świadczy o tym, że ładunek zanieczyszczeń ujętych w obliczonym LPI nie jest wysoki. Średnia wartość LPI na analizowanych składowiskach zamkniętych wyniosła 5,06. Najwyższe wartości obserwowane były w roku 2006 (LPI=5,12) oraz w roku 2007 (LPI=5,11). Minimalna wartość LPI dla składowisk zamkniętych wyniosła 4,97 i była obserwowana w 2009 roku, czyli bezpośrednio po zamknięciu obu składowisk. Średnia wartość indeksu zanieczyszczeń odcieków dla składowisk funkcjonujących wynosiła 5,17. Maksymalne wartości odnotowano w roku 2007 (LPI=5,41) i 2008 (LPI=5,21), zaś minimalną w roku 2009 (LPI=5,03). Na niższą wartość LPI wpływ mógł mieć fakt, iż w 2009 roku ograniczono czasowo przyjmowanie odpadów na składowisko NO2.

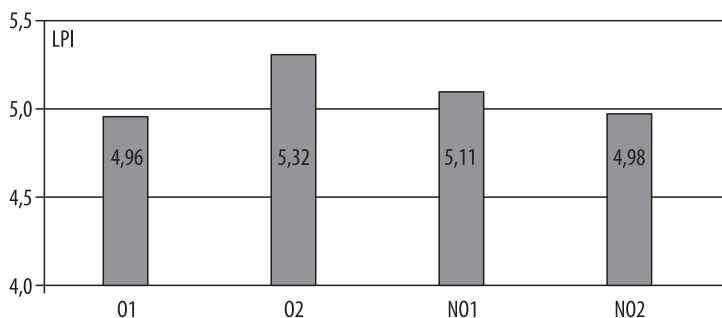
<sup>7</sup> A. Szymańska-Pulikowska, *Ocena właściwości wód odciekowych z krajowych składowisk odpadów komunalnych*, „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich” 2010 nr 8/2, s. 141-150.

Tabela 2  
Podstawowe dane statystyczne wskaźnika zanieczyszczeń odcieków ze składowisk zamkniętych oraz otwartych

Rok	Indeks zanieczyszczeń odcieków – składowiska zamknięte				
	Średnie	N	Odch.std	Minimum	Maksimum
2006	5,12	5	0,091	5,05	5,28
2007	5,11	4	0,135	5,03	5,31
2008	5,01	3	0,112	4,88	5,09
2009	4,97	5	0,105	4,87	5,12
2010	5,07	7	0,075	4,95	5,13
2011	5,05	8	0,070	4,96	5,13
<b>Ogół grup</b>	<b>5,06</b>	<b>32</b>	<b>0,098</b>	<b>4,87</b>	<b>5,31</b>
Rok	Indeks zanieczyszczeń odcieków – składowiska otwarte				
	Średnie	N	Odch.std	Minimum	Maksimum
2004	5,18	4	0,302	4,96	5,62
2005	5,04	6	0,132	4,93	5,30
2006	5,19	8	0,332	4,89	5,68
2007	5,41	8	0,833	4,92	6,92
2008	5,21	7	0,448	4,88	5,92
2009	5,03	7	0,130	4,89	5,21
2010	5,04	4	0,091	4,91	5,10
2011	5,15	8	0,321	4,96	5,87
<b>Ogół grup</b>	<b>5,17</b>	<b>52</b>	<b>0,416</b>	<b>4,88</b>	<b>6,92</b>

Źródło: opracowanie własne.

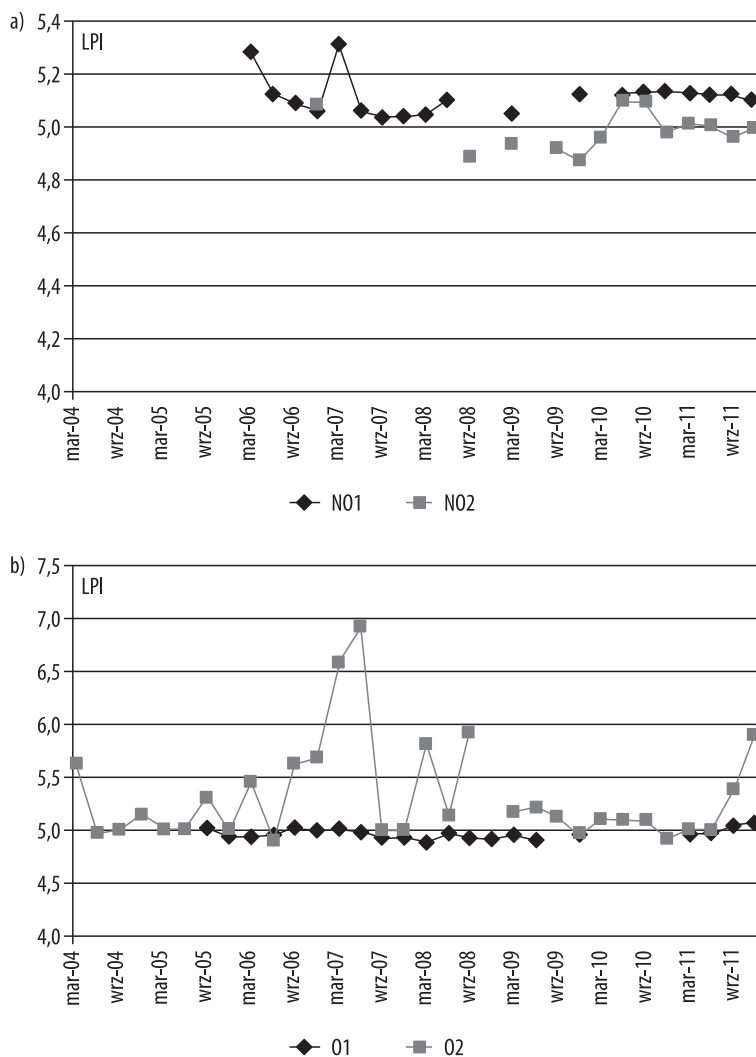
Rysunek 1  
Wartość indeksu zanieczyszczeń odcieków dla czterech analizowanych składowisk otwartych (O) i zamkniętych (NO)



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 2

Zmienność indeksu zanieczyszczeń odcieków (LPI) na składowiskach otwartych(O) oraz zamkniętych (NO)



Źródło: opracowanie własne.

Porównanie wartości indeksu zanieczyszczeń odcieków dla czterech analizowanych składowisk przedstawia rysunek 1. Najwyższe wartości LPI odnotowano dla funkcjonującego składowiska O2, dla którego LPI wyniosło – 5,32, oraz dla składowiska zamkniętego NO1, dla którego LPI osiągnęło wartość 5,11. Wartość indeksu zanieczyszczeń zamkniętego składowiska NO1 była wyższa od indeksu zanieczyszczeń składowiska będącego w trakcie eksploatacji – O1.

Zmienność LPI odcieków z poszczególnych składowisk na przestrzeni lat 2004-2011 zobrazowano na rysunku 2.

Największe zróżnicowanie wartości LPI wystąpiło w przypadku składowiska funkcjonującego – O2. Wahania indeksu zanieczyszczeń odcieków wynoszą na nim od 4,89 do 6,92 i skutkują największym odchyleniem standardowym wynoszącym 0,49. Większe wahania LPI mogą świadczyć o dopływie na składowisko odpadów o zróżnicowanej ilości i jakości. Najmniejsze zróżnicowanie wielkości LPI zaobserwowano również dla składowiska funkcjonującego (O1). Indeks zanieczyszczeń odcieków przyjmuje na nim wartości od 4,87 do 5,05, co daje odchylenie standardowe wynoszące 0,05. Analizowany obiekt jest składowiskiem o stosunkowo niewielkiej powierzchni (3 ha) i ilości zgromadzonych odpadów, co mogło mieć wpływ na obliczoną wartość indeksu zanieczyszczeń odcieków. Wartość indeksu zanieczyszczeń odcieków na zamkniętych składowiskach była dosyć stabilna. Wielkość LPI wahała się od 5,03 do 5,30 na składowisku NO1 ( $\Delta LPI = 0,27$ ) oraz od 4,87 do 5,09 na składowisku NO2 ( $\Delta LPI = 0,22$ ). W obu przypadkach odnotowano takie same odchylenie standardowe wynoszące 0,07 i świadczące o niewielkiej zmienności jakości analizowanych parametrów. Świadczy to również o stabilizacji procesów rozkładu zachodzących w bryle odpadów i o zmniejszaniu się potencjalnego zagrożenia dla środowiska. Niskie wartości LPI składowisk zamkniętych wskazują, że generowane odcieki są ustabilizowane i monitoring poeksploatacyjny prowadzony w obecnej formie, zgodnie z rozporządzeniem z 9 grudnia 2002 r. w sprawie czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk<sup>8</sup>, jest wystarczający.

Niskie wartości indeksu zanieczyszczeń, które uzyskano dla wszystkich analizowanych obiektów, wynikają głównie z niskiego stężenia metali ciężkich w odciekach. Wraz z wiekiem składowiska ilość metali ciężkich w odciekach maleje ze względu na alkalizację odczynu, będącego rezultatem zużycia kwasów organicznych przez bakterie metanowe oraz ze względu na tworzenie się trudno rozpuszczalnych form metali, przede wszystkim w postaci siarczków. Powyższe czynniki prowadzą w konsekwencji do zmniejszenia agresywności wód odciekowych.

Otrzymane rezultaty wskazują, że średnia wartość LPI składowisk otwartych jest nieco wyższa niż składowisk zamkniętych, stąd też mogą stanowić one potencjalnie większe zagrożenie środowiska.

## Podsumowanie

Wartości indeksu zanieczyszczeń wszystkich analizowanych obiektów nie były wysokie i świadczą o stabilizacji procesów rozkładu zachodzących w bryle odpadów. Największą wartość indeksu zanieczyszczeń odnotowano dla funkcjonującego składowiska O2. Odnotowano na nim również największe wahania jego wartości, które świadczą o dopływie na składowisko zróżnicowanej ilości i jako-

<sup>8</sup> Rozporządzeniem z 9 grudnia 2002 r. w sprawie w sprawie czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów (Dz. U. nr 220, poz. 1858).



ści odpadów. Najniższą wartość indeksu zanieczyszczeń odcieków zaobserwowano dla składowiska O1, będącego również w fazie eksploatacji. Na niską wartość wskaźnika zanieczyszczeń mogła mieć wpływ mała powierzchnia składowiska oraz niewielka ilość zgromadzonych na nim odpadów. Wartość indeksu zanieczyszczeń składowisk zamkniętych były zbliżone oraz charakteryzowały się niewielkim rozrzutem wyników. Analizując zmiany w czasie, najniższą wartość indeksu zanieczyszczeń zaobserwowano bezpośrednio po zamknięciu obu składowisk.

Niskie wartości wskaźnika zanieczyszczeń odcieków wynikają przede wszystkim z niskiego stężenia w nich metali ciężkich. Wskazują one na zmniejszające się potencjalne zagrożenie ze strony odcieków dla środowiska.

Analiza wartości indeksu zanieczyszczeń odcieków może być wykorzystywana jako narzędzie do oceny zmian jakości odcieków na różnych składowiskach oraz w różnych okresach czasowych. Znajomość wartości Indeksu Zanieczyszczeń Odcieków może być również pomocna do właściwego i szybkiego podejmowania działań ograniczających negatywne oddziaływanie odcieków na środowisko, jak też przydatna podczas wdrażania technologii oczyszczania odcieków.

*Artykuł powstał w ramach realizacji pracy S/WBiŚ/2/2011 finansowanej ze środków MNiSW.*