

*Agata Szymańska-Pulikowska*

**OCENA WŁAŚCIWOŚCI WÓD ODCIEKOWYCH  
Z KRAJOWYCH SKŁADOWISK  
ODPADÓW KOMUNALNYCH**

***ASSESSMENT OF LEACHATE WATERS PROPERTY  
FROM NATIONAL LANDFILL SITES***

**Streszczenie**

Występowanie w odciekach składowiskowych szerokiej gamy zanieczyszczeń (organicznych i mineralnych) powoduje, że ocena ich właściwości jest zawsze ograniczona do wskaźników wybranych przez prowadzącego badania lub narzuconych przez przepisy określające zakres monitoringu. Ułatwieniem w porównywaniu różnych obiektów może być zastosowanie indeksu zanieczyszczenia odcieków (LPI – *Leachate Pollution Index*), obliczanego na podstawie parametrów uznanych za mające potencjalnie największy wpływ na środowisko.

W pracy przedstawiono sposób określania wartości indeksu zanieczyszczenia odcieków, także w przypadku braku wyników części wymaganych analiz fizykochemicznych. Na podstawie informacji dostępnych w literaturze oraz badań własnych porównano wartości uzyskane dla wybranych krajowych składowisk odpadów komunalnych. Na przykładzie wrocławskiego składowiska odpadów komunalnych „Maślice” przeanalizowano zmiany poziomu indeksu zanieczyszczenia odcieków, związane z wiekiem oraz zmianami sposobu użytkowania składowiska.

Zakres wartości LPI, obliczonego dla krajowych składowisk odpadów komunalnych wykazywał duże zróżnicowanie, nie odbiegał jednak istotnie od ich europejskich odpowiedników. We wszystkich przypadkach wody odciekowe charakteryzowały się wysokimi wartościami chemicznego zapotrzebowania na tlen ( $\text{ChZT}_{(\text{Cr})}$ ) oraz stężeniami azotu amonowego, częściowo także chlorków. Głównym efektem zamknięcia i rekultywacji składowiska „Maślice” był spadek wartości  $\text{ChZT}_{(\text{Cr})}$  odcieków i to przede wszystkim wpłynęło na obniżenie wartości indeksu zanieczyszczenia dla tego składowiska.

**Słowa kluczowe:** składowisko odpadów komunalnych, wody odciekowe, zanieczyszczenie

### Summary

*Presence in leachate waters very broad range of contaminants (both organic and mineral), causes, that the assessment of leachate composition is limited to indicators chosen by the researcher or imposed by regulations specifying the scope of monitoring. Comparing different objects can be facilitated by the Leachate Pollution Index (the LPI), which is calculated based on parameters, which have been acknowledged to have potentially the biggest impact on environment.*

*The paper presents a method of determining the value of the LPI, also in the case where the results of some of the required physiochemical analyses are missing. On the basis of the information available in literature as well as the author's own research values obtained for selected national landfills have been compared. Using Maślice municipal landfill site in Wrocław as a case study, changes in the level of the LPI linked with age and changing ways of using the landfill site have been analyzed.*

*The range of values of the indicator calculated for national landfill sites revealed extensive variation, however not diverging significantly from their European counterparts. In all of the cases the leachate waters were characterizing high levels of chemical demand for oxygen ( $COD_{(Cr)}$ ), concentrations of ammonia nitrogen and to some extent chlorides. The main effect of the closure and rehabilitation of Maślice landfill site was a decrease in  $COD_{(Cr)}$  of leachate, which was a major factor in the drop of the LPI level for that landfill site.*

**Key words:** landfill site, leachate, pollution

### WSTĘP

Składowanie w dalszym ciągu jest dominującym sposobem unieszkodliwiania odpadów komunalnych na terenie kraju. Czynne składowiska odpadów komunalnych zajmują na terenie Polski ok. 3000 ha. Tylko w 2008 roku trafiło na nie prawie 8,7 mln Mg odpadów zebranych na terenach miast i wsi [Ochrona Środowiska 2009].

Prześląkanie wody przez złożę składowanych odpadów powoduje wymywanie rozmaitych zanieczyszczeń: składników zawieszonych i rozpuszczonych, substancji powstających w trakcie rozkładu odpadów, mikroorganizmów (także chorobotwórczych). Właściwości powstających w ten sposób odcieków składowiskowych (wód odciekowych) zależą m.in. od różnorodności i składu odpadów, stopnia ich rozkładu, zawartości wody i sposobu eksploatacji składowiska. Ocieki powstające w fazie kwasogennej charakteryzuje odczyn kwaśny do obojętnego, wysoka zawartość substancji organicznych i azotu amonowego. Obecność kwasów organicznych zwiększa rozpuszczalność metali w odciekach. W fazie metanogennej odczyn odcieków jest obojętny do zasadowego (kwasy organiczne zostają rozłożone do metanu i dwutlenku węgla), wiąże się z tym także zmniejszenie zawartości węgla organicznego. Jony metali są nadal wymywane z odpadów, jednak zmiana odczynu powoduje ich mniejszą rozpuszczal-

ność, stąd obniżenie stężeń w odciekach. Zawartość azotu amonowego obniża się powoli, lecz pozostaje na wysokim poziomie. Poza wymienionymi wskaźnikami zanieczyszczeń, odcieki mogą zawierać szeroką gamę innych składników, łącznie z metalami ciężkimi, dioksynami i furanami [Janowska, Szymański 1999; Öman, Junestedt 2008; Westlake 1995; Williams 2002]. Metale ciężkie w odciekach występują głównie w formie jonów metalicznych, wodorotlenków lub połączeń kompleksowych [Szymański 1987]. Do związków obserwowanych w odciekach składowiskowych zalicza się także halogenowane związki alifatyczne, benzen i pochodne, fenol i pochodne, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, pestycydy, polichlorowane bifenyle [Chełmicki 2002; Kulikowska, Klimiuk 2008; Öman, Junestedt 2008; Świdorska-Bróz 1993]. Najbardziej narażone na zanieczyszczenia niesione przez odcieki składowiskowe są wody podziemne. W zależności od warunków geologicznych strefa zanieczyszczenia może sięgać od 20 nawet do ponad 40 metrów w głąb podłoża. Poziomy zasięg rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń może być wielokrotnie większy. Najwyższe stężenia badanych wskaźników stwierdzano w bezpośrednim sąsiedztwie składowiska, aż do 200–250 metrów (na kierunku przepływu wód podziemnych) [Williams 2002]. Mogą one jednak sięgać nawet do 1–2 kilometrów. Proces wymywania zanieczyszczeń ze składowiska może trwać kilkadziesiąt, a nawet kilkaset lat [Allen 2001; Lee i in. 2006; Srivastava, Ramanathan 2008; Zuquette i in. 2005]. Z tego względu ważna jest kontrola ilości i składu powstających wód odciekowych, przynajmniej w zakresie określonym w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów [Rozporządzenie... 2002].

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Porównywanie właściwości odcieków powstających na różnych składowiskach na podstawie wartości poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń jest dość uciążliwe. Prezentowane w literaturze wyniki badań obejmują często różny zakres analiz właściwości wód odciekowych. Jedną z możliwości poprawy tej sytuacji jest określenie jednolitego wykazu wskaźników zalecanych do oznaczenia w badanych próbach [Rozporządzenie... 2002]. Do oceny potencjalnej zdolności do zanieczyszczenia środowiska przez wody odciekowe i porównywania nawet różnego rodzaju składowisk można wykorzystać indeks zanieczyszczenia odcieków [Kumar, Alappat 2005]. Jest to wartość określana na podstawie 18 parametrów (wskaźników zanieczyszczenia), wybranych spośród 50 najczęściej oznaczanych w badaniach odcieków składowiskowych, ocenionych przez grono specjalistów w skali 1–5. Średnie oceny były podstawą do określenia odpowiadających poszczególnym wskaźnikom wag, których suma wynosi 1 (tab. 1).

**Tabela 1.** Wagi wskaźników zanieczyszczenia uwzględnionych przy obliczaniu indeksu zanieczyszczenia odcieków

**Table 1.** Weights of the pollutant parameters included in calculated leachate pollution index

Lp.	Wskaźnik zanieczyszczenia	Średnia ocena	Waga
1.	Odczyn	3,509	0,055
2.	Substancje rozpuszczone	3,196	0,050
3.	BZT <sub>5</sub>	3,902	0,061
4.	ChZT	3,963	0,062
5.	Azot Kjeldahla	3,367	0,053
6.	Azot amonowy	3,250	0,051
7.	Żelazo ogólne	2,830	0,045
8.	Miedź	3,170	0,050
9.	Nikiel	3,321	0,052
10.	Cynk	3,585	0,056
11.	Ołów	4,019	0,063
12.	Chrom ogólny	4,057	0,064
13.	Rtęć	3,923	0,062
14.	Arsen	3,885	0,061
15.	Fenole lotne (indeks fenolowy)	3,627	0,057
16.	Chlorki	3,078	0,048
17.	Cyjanki	3,694	0,058
18.	Bakterie grupy Coli	3,289	0,052
Łącznie			1,000

[Kumar, Alappat 2005]

Siłę oddziaływania poszczególnych parametrów zanieczyszczenia przedstawiono w postaci krzywych. Na osi odciętych przedstawiano zakresy stężeń najczęściej obserwowane w trakcie badań wód odciekowych, którym przyporządkowano ocenę w skali 5–100 (oś rzędnych), określając w ten sposób indywidualny wskaźnik zanieczyszczenia ( $p_i$ ). Łączną ocenę wybranych parametrów przedstawiono w postaci indeksu zanieczyszczenia odcieków LPI (*Leachate Pollution Index*):

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

gdzie:

LPI – indeks zanieczyszczenia odcieków,

$w_i$  – waga i-tego parametru,

$p_i$  – indywidualny wskaźnik zanieczyszczenia,

$n$  – ilość badanych zmiennych (dla 18  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ ).

Jeżeli nie jest możliwe wykonanie lub zebranie wyników oznaczeń wymaganych osiemnastu parametrów w odciekach, można korzystać ze wzoru:

$$LPI = \frac{\sum_{i=1}^m w_i p_i}{\sum_{i=1}^m w_i}$$

gdzie:

$m$  – ilość badanych zmiennych (dla  $m < 18$   $\sum_{i=1}^m w_i < 1$ ) [Kumar, Alappat 2005].

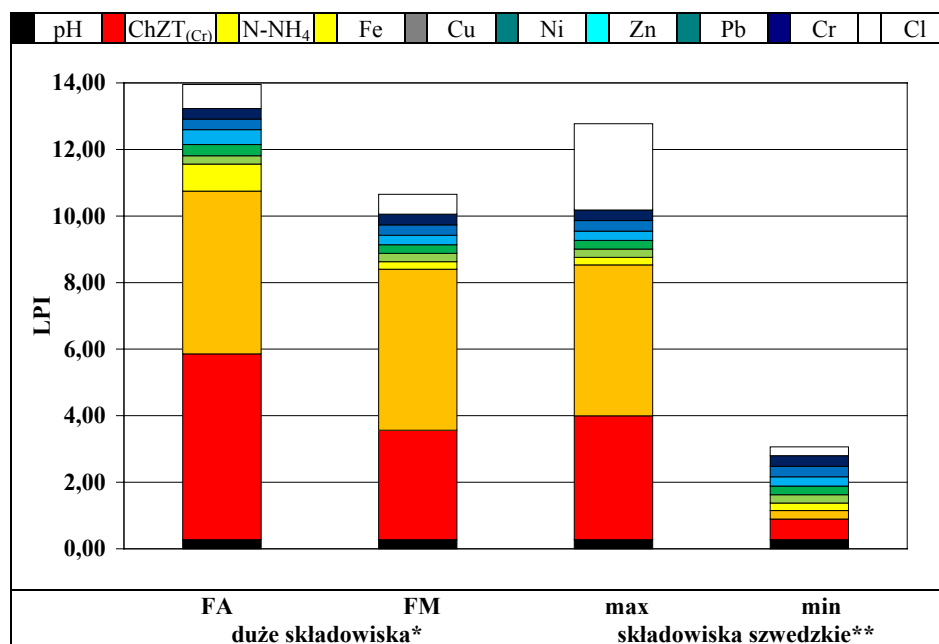
Przedstawione w pracy wartości indeksu zanieczyszczenia wód odciekowych określono na podstawie dziesięciu parametrów, badanych w przypadku: dużych składowisk w fazie kwaso- i metanogennej [Williams 2002], dwunastu składowisk szwedzkich [Öman, Junestedt 2008], badań własnych, prowadzonych na terenie wrocławskiego składowiska „Maślice” a także innych krajowych składowisk, opisanych w pracach Kłojzy-Karczmarczyk i wsp. [2003] oraz Szyca [2003]. Analizowanymi wskaźnikami zanieczyszczenia były: odczyn, chemiczne zapotrzebowanie na tlen ( $ChZT_{(Cr)}$ ) oraz zawartości chlorków, azotu amonowego, żelaza, miedzi, niklu, cynku, ołowiu i chromu.

## WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Na rysunku 1 przedstawiono wartości indeksu zanieczyszczenia odcieków dla dużych składowisk w fazie kwasogennej i metanogennej oraz dla dwunastu wybranych szwedzkich składowisk odpadów komunalnych [Williams 2002; Öman, Junestedt 2008]. Wskaźnikami, które w głównej mierze wpływały na obliczone wartości były: chemiczne zapotrzebowanie na tlen oraz zawartości azotu amonowego i chlorków. Z wiekiem składowiska obniżały się przede wszystkim wartości  $ChZT_{(Cr)}$  i stężenia żelaza. Badania prowadzone na terenie Szwecji obejmowały składowiska różniące się wielkością i czasem eksploatacji. Stwierdzone wartości maksymalne mogły wskazywać na krótki czas eksploatacji, widoczny jest także duży wpływ stężeń chlorków na wielkości LPI. Najniższe obserwowane wartości świadczyły o niewielkim zanieczyszczeniu odcieków, nawet w przypadku wymienionych wcześniej wskaźników.

Na rysunku 2 przedstawiono porównanie wielkości indeksu zanieczyszczenia odcieków ze składowiska „Maślice” (lata 1995, 1996, 2001, 2003) z wartościami maksymalnymi i minimalnymi zaobserwowanymi podczas badań prowadzonych w latach 1997–1999 na wybranych krajowych obiektach (ok. 50)

[Szyc 2003]. Indeks zanieczyszczenia odcieków ze składowiska „Maślice” stwierdzony w trakcie eksploatacji (lata 1995 i 1996) był zbliżony do wyników badań dużych, starych składowisk (faza metanogenna). Po zamknięciu (lata 2001 i 2003) nastąpiło lekkie obniżenie wartości  $ChZT_{(Cr)}$  oraz wyraźny spadek stężeń azotu amonowego. W dalszym ciągu z nagromadzonych odpadów były intensywnie wymywane chlorki, świadcząc o nagromadzeniu dużych ilości świeżych odpadów, mogących stać się w przyszłości źródłem innych zanieczyszczeń. Maksymalne wartości indeksu zanieczyszczenia odcieków dla krajowych składowisk były zdecydowanie wyższe od stwierdzonych na składowisku „Maślice” (pomimo jego rozmiarów), świadcząc o stabilizacji zachodzących tam procesów.

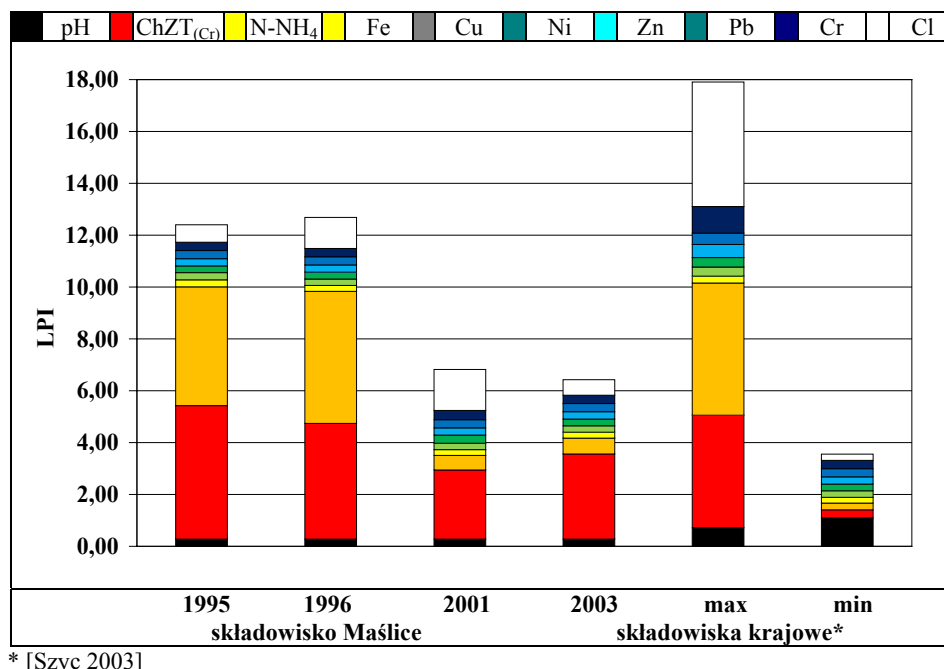


\* [Williams 2002]

\*\* [Öman, Junestedt 2008]

**Rysunek 1.** Zakres wartości indeksu zanieczyszczenia odcieków z dużych składowisk oraz wybranych składowisk z terenu Szwecji

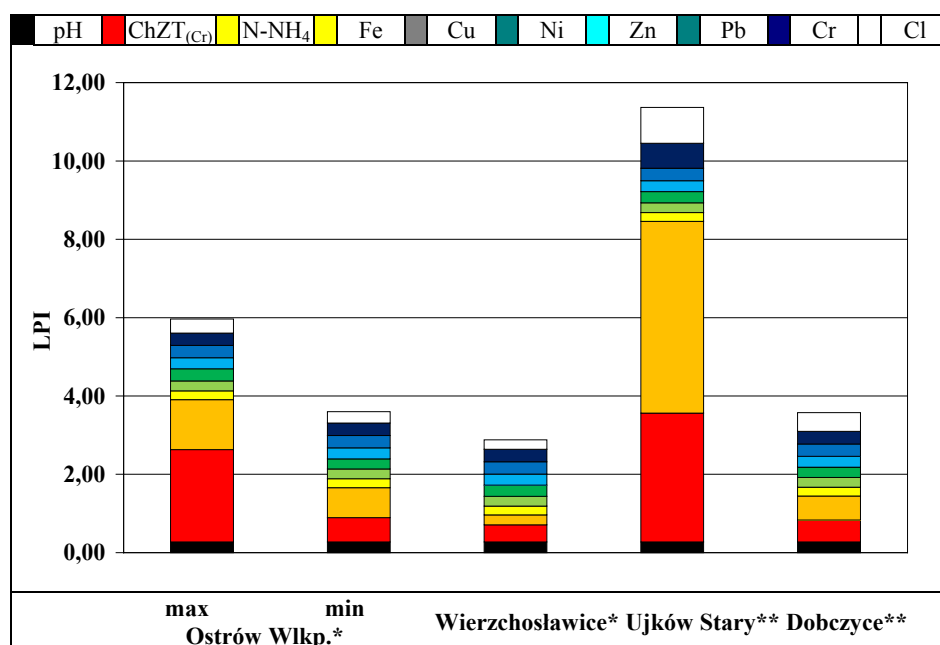
**Figure 1.** Range of the leachate pollution index values of large landfill sites and selected landfill sites in Sweden



**Rysunek 2.** Zmiany wartości indeksu zanieczyszczenia odcieków dla składowiska Maślice, zakres dla krajowych składowisk  
**Figure 2.** Changes in the leachate pollution index values for Maślice landfill site, a comparison with national landfill sites

Natomiast w przypadku pozostałych krajowych obiektów widoczny jest duży udział  $\text{ChZT}_{(\text{Cr})}$ , azotu amonowego i chlorków (podobnie jak we wcześniejszych przypadkach) oraz odczynu i chromu, którego zawartość może świadczyć o domieszce odpadów przemysłowych.

Na rysunku 3 zestawiono wartości LPI określone dla składowisk odpadów komunalnych: w Ostrowie Wielkopolskim i Wierzchosławicach, objętych badaniami prowadzonymi przez Szycę [2003] oraz w Ujkowie Starym i Dobczycach [Kłojzy-Karczmarczyk i in. 2003]. Kwaterna objęta badaniami w Ostrowie Wlkp. była czynna krótko – od 1997 roku [Gminny Plan... 2004], dlatego powstające wody odciekowe charakteryzowała duża zmienność składu. Składowisko w Wierzchosławicach użytkowano od 1955 roku [Plan Gospodarki Odpadami Miasta i Gminy Bolków 2004], było więc typowym „starym składowiskiem” i powstające tam odcieki nie stanowiły już poważnego zagrożenia dla środowiska. Obydwa omawiane obiekty były składowiskami o stosunkowo niewielkiej powierzchni (do 2,5 ha) i ilości zgromadzonych odpadów, co również miało wpływ na obliczoną wartość indeksu zanieczyszczenia odcieków.



\* [Szyc 2003]

\*\* [Klojzy-Karczmarczyk i in. 2003]

**Rysunek 3.** Wartości indeksu zanieczyszczenia odcieków wybranych krajowych składowisk

**Figure 3.** Leachate pollution index values of selected national landfill sites

Małopolskie składowiska odpadów komunalnych w Ujkowie Starym i Dobczycach cechowały wyraźnie zróżnicowane wartości LPI, wynikające zarówno z wieku i wielkości składowiska, jak i rodzaju trafiających tam odpadów. Obiekt w Ujkowie Starym był eksploatowany od ok. 2 lat, zajmował powierzchnię ok. 13 ha, a oprócz odpadów komunalnych trafiały tam m.in. odpady poflotacyjne z zakładów Górniczo-Hutniczych „Bolesław” oraz żużle i popioły z kotłów, wykorzystywane do przesypywania [Plan Gospodarki Odpadami dla Gminy Bolesław 2005]. Indeks zanieczyszczenia odcieków powstających na tym składowisku był wyraźnie wyższy od odpowiadającej mu wartości dla Ostrowa Wielkopolskiego, pomimo podobnego okresu eksploatacji. Poza typowymi dla obiektów komunalnych wysokimi wartościami ChZT<sub>(Cr)</sub> oraz stężeniami azotu amonowego i chlorków w odciekach stwierdzono zanieczyszczenie chromem, którego źródłem mogły być odpady przemysłowe. Wartość indeksu zanieczyszczenia wód odciekowych ze składowiska w Dobczycach (powierzchnia około 2 ha, czas eksploatacji ponad 10 lat) [Plan Gospodarki Odpadami Gminy Dobczyce 2004] zbliżała się do krajowych wartości minimalnych, stwierdzonych na małych i „starych” składowiskach (Wierzchosławice), świadcząc o stabilizacji procesów rozkładu i zmniejszaniu się potencjalnego zagrożenia dla środowiska.



## WNIOSKI

1. Indeks zanieczyszczenia odcieków jest wielkością, za pomocą której można oceniać potencjalną zdolność do oddziaływania wód odciekowych na środowisko a także porównywać różnego rodzaju składowiska (nie tylko komunalne).
2. Wskazane byłoby rozszerzenie obowiązującego zakresu monitoringu składowisk o parametry, których oznaczanie obecnie nie jest wymagane, a które zostały uznane za przydatne do określania LPI.
3. Przedstawione wartości indeksu zanieczyszczenia odcieków wykazały zróżnicowanie, zależne od wielkości składowiska, wieku (charakteru przebiegających wewnątrz procesów) oraz rodzaju składowanych odpadów.
4. Spośród dziesięciu analizowanych w pracy parametrów, największy wpływ na wartości LPI miały chemiczne zapotrzebowaniem na tlen oraz zawartość azotu amonowego i chlorków. Tylko w niektórych przypadkach większy udział w kształtowaniu wielkości indeksu miały podwyższone stężenia chromu, mogącego pochodzić ze współskładowanych odpadów przemysłowych.

## BIBLIOGRAFIA

- Allen A. *Sustainable landfilling for the 21<sup>st</sup> century*. Materiały V Ogólnopolskiej Konferencji naukowej na temat: "Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska", Politechnika Koszalińska, Ustronie Morskie 2001, s. 171–190.
- Chełmicki W. *Woda. Zasoby, degradacja, ochrona*. PWN, Warszawa 2002, s. 306.
- Gminny Plan Gospodarki Odpadami dla Miasta Ostrowa Wielkopolskiego. Załącznik do Uchwały nr XXI/307/2004 Rady Miejskiej Ostrowa Wielkopolskiego z dnia 20 lipca 2004 r. w sprawie uchwalenia Gminnego programu Ochrony Środowiska dla Miasta Ostrowa Wielkopolskiego i Gminnego Planu Gospodarki Odpadami dla Miasta Ostrowa Wielkopolskiego, s. 115.
- Janowska B., Szymański K. *Wpływ składu morfologicznego odpadów na jakość odcieku wysypiskowego*. Materiały VI Konferencji Naukowo-Technicznej „Gospodarka odpadami komunalnymi”, Koszalin-Kołobrzeg 1999, s. 153–166.
- Klojzy-Karczmarczyk B., Mazurek J., Czajka K. *Jakość odcieków a wybór charakterystycznych wskaźników zanieczyszczenia wód wokół składowisk odpadów komunalnych*. W: Współczesne problemy hydrogeologii, t. 11, cz.2, Gdańsk 2003, s. 423–426.
- Kulikowska D., Klimiuk E. *The effect of landfill age on municipal leachate composition*. *Biore-source Technology*, 99 (2008), s. 5981–5985.
- Kumar D., Alappat B.J. *Evaluating leachate contamination potential of landfill sites using leachate pollution index*. *Clean Technologies and Environmental Policy* 3/2005, s. 190–197.
- Lee J.-Y., Cheon J.-Y., Kwon H.-P., Yoon H.-S., Lee S.-S., Kim J.-H., Park J.-K., Kim C.-G. 2006. *Attenuation of landfill leachate at two uncontrolled landfills*. *Environmental Geology*, No 4, vol. 51, s. 581–593.
- Ochrona Środowiska 2009*. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2009, s. 527.
- Öman C.B., Junestedt C. *Chemical characterization of landfill leachates-400 parameters and compounds*. *Waste Management* 10/2008, s. 1876-1891.

- Plan Gospodarki Odpadami dla Gminy Bolesław.* Załącznik do Uchwały nr XXVII/245/2005 Rady Gminy w Bolesławiu z dnia 10 marca 2005 r. w sprawie „Programu Ochrony Środowiska” z wyodrębnionym elementem „Plan Gospodarki Odpadami dla Gminy Bolesław”, s. 95.
- Plan Gospodarki Odpadami Gminy Dobczyce.* Załącznik do Uchwały nr XXII/292/04 rady Miejskiej w Dobczycach z dnia 26 lutego 2004 r. w sprawie uchwalenia Planu Gospodarki Odpadami dla Gminy Dobczyce, będącego częścią Programu Ochrony Środowiska, s. 70.
- Plan Gospodarki Odpadami Miasta i Gminy Bolków.* Załącznik do Uchwały nr XXII/112/04 Rady Miejskiej w Bolkowie z dnia 28 maja 2004 r. w sprawie przyjęcia programu Ochrony Środowiska Gminy Bolków, s. 90.
- 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.
- Srivastava S.K., Ramanathan A.L. 2008. *Geochemical assessment of groundwater quality in vicinity of Bhalswa landfill, Delhi, India, using graphical and multivariate statistical methods.* Environmental Geology, No 7, vol. 53, s. 1509–1528.
- Świdorska-Bróż M. *Mikrozanieczyszczenia w środowisku wodnym.* Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1993, s. 144.
- Szyc J. *Odcieki ze składowisk odpadów komunalnych.* Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 2003, s. 93.
- Szymański K. *Migracja odcieków z wysypisk odpadów komunalnych w gruncie.* Wydawnictwo Uczelniane WSiInż., Koszalin 1987, s. 175.
- Westlake K. *Landfill.* Issues in Environmental Science and Technology, vol. 3 (1995), s. 43–67.
- Williams P.T. *Emissions from Solid Waste Management Activities.* Issues in Environmental Science and Technology, No. 18, 2002, s. 141–170.
- Zuquette L.V., Palma J.B., Pejon O.J. 2005. *Environmental assessment of an uncontrolled sanitary landfill, Pocos de Caldas, Brazil.* Bulletin of Engineering Geology and the Environment, No 3, vol. 64, s. 257–271.

Dr inż. Agata Szymańska-Pulikowska  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Instytut Inżynierii Środowiska  
Plac Grunwaldzki 24  
50-363 Wrocław  
agata.szymanska-pulikowska@up.wroc.pl

Recenzent: Prof. dr hab. Jerzy Kowalski