



## **Charakterystyka odcieków powstających na składowiskach odpadów w aspekcie wyboru metody ich oczyszczania**

*Sylvia Fudala-Książek<sup>\*</sup>, Aneta Łuczkiwicz<sup>\*</sup>,  
Eliza Kulbat<sup>\*</sup>, Anna Remiszewska-Skwarek<sup>\*\*</sup>*  
*<sup>\*</sup>Politechnika Gdańska*  
*<sup>\*\*</sup>PEWIK GDYNIA Sp. z o. o.*

### **1. Wstęp**

Aktualnie obowiązujące regulacje prawne znacznie zaostrzyły wymagania, jakie powinny spełniać składowiska odpadów komunalnych (Dyrektywa Rady 1999; Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015). Zgodnie z obowiązującą strategią należy zapobiegać lub minimalizować powstawanie odpadów, a w odniesieniu do wytworzonych, zapewnić ich odzysk i ograniczyć składowanie, zwłaszcza frakcji organicznej. W związku z powyższym, Polska jest zobowiązana m.in. do ograniczenia masy biodegradowalnych odpadów komunalnych przekazywanych do składowania, które od 2010 r. nie powinny przekraczać 75%, od 2013 r. – 50%, a 2020 r. – 35% całkowitej ich masy wytworzonej w 1995 r.

Powyższe przepisy spowodowały, iż obecnie wyróżnia się dwa typy kwater składowiskowych: tradycyjne i nowe – na których ograniczono możliwość składowania odpadów charakteryzujących się ciepłem spalania powyżej 6 MJ/kg suchej masy, zawartością ogólnego węgla organicznego (TOC) powyżej 5% suchej masy i stratą przy prażeniu (LOI) powyżej 8% suchej masy (Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015). Ponadto w wyniku przeprowadzonej zmian legislacyjnych zakłady utylizacyjne funkcjonują obecnie jako kompleksowe sys-

temy gospodarki odpadowej, obejmujące zbieranie, transport, sortowanie i najczęściej kompostowanie odpadów biodegradowalnych. Należy zwrócić uwagę, iż na terenie zakładów utylizujących odpady oprócz odcieków składowiskowych, w wyniku prowadzenia procesów sortowania oraz kompostowania odpadów generowane są również ścieki technologiczne, których zarówno ilość jak i jakość nie jest dotychczas dobrze poznana i opisana w literaturze tematu, a tym samym nie określono kierunku ich zagospodarowania.

W związku z powyższym celem prowadzonych badań była analiza odcieków generowanych w zakładach utylizacji odpadów w aspekcie ich ilości i jakości oraz możliwości oczyszczania/zagospodarowania, ze szczególnym zwróceniem uwagi na metody biologiczne, najbardziej przyjaznej środowisku. Ponad trzyletnie badania prowadzono na dwóch obiektach zlokalizowanych w woj. pomorskim, gdzie pobierano próbki ścieków technologicznych, powstających podczas sortownia oraz kompostownia odpadów oraz odcieków składowiskowych generowanych przez nową (spełniającą aktualne wymogi prawne) oraz tradycyjną, tzw. starą kwaterę (eksploatowaną w warunkach nieograniczonej depozycji odpadów biodegradowalnych).

## **2. Metodyka badań**

### **2.1. Miejsce poboru próbek**

Badania prowadzono dla dwóch Regionalnych Instalacji Przetwarzania Odpadów Komunalnych (RIPOK) o zróżnicowanej wielkości i charakterystyce - dla Eko Doliny Sp. z o.o. w Łężycach koło Gdyni (aglomeracja wielkomiejska) oraz dla Zakładu Zagospodarowania Odpadów Nowy Dwór Sp. z o. o. koło Chojnic (aglomeracja małomiejska i wiejska). Charakterystykę zakładów, z których pobierano próbki odcieków i ścieków technologicznych przedstawiono w tabeli 1.

Odcieki z młodej i tradycyjnej kwatery oraz ścieki technologiczne z sortowni i kompostowni pobierano raz w miesiącu. Pobory prowadzono w okresie od listopada 2011 r. do lutego 2016 r. w przypadku zakładu w Eko Dolinie, natomiast od grudnia 2013 r. do lutego 2016 r. w przypadku Zakładu w Nowym Dworze.

**Tabela 1.** Charakterystyka badanych RIPOKów  
**Table 1.** Characteristic of studied municipal solid waste plants (MSWPs)

Charakterystyka RIPOK	Eko Dolina Łężyce	Nowy Dwór
<i>Zakres działalności</i>	-rozpoczęcie działalności zakładu 1998 r.; -obsługuje 8 miast i 2 gminy, zlokalizowane koło Gdyni (ok. 460 000 mieszkańców); -przyjmuje ok. 200 000 Mg/rok odpadów (w tym ok. 150 000 Mg/rok odpadów zmieszanych i ok. 97 000 Mg/rok to odpady biodegradowalne)	-rozpoczęcie działalności 1994 r.; -obsługuje 3 miasta i 12 gmin (ok. 150 000 mieszkańców); - przyjmuje ok. 42 000 Mg/rok odpadów (w tym ok. 350 000 Mg/rok odpadów zmieszanych i ok. 17 848 Mg/rok to odpady biodegradowalne)
<i>Wielkość zakładu</i>	106,5 ha	54,1 ha
<i>Miejsca (technologie) generujące odpady</i>	- sortowania - powstała w 2005 r.; roku, przepustowość: 150 000 Mg/rok; - kompostowania - powstała w 2010 roku, przepustowość: 30 000 Mg/rok; - tradycyjna kwatera działła od listopada 2003 roku, obejmuje teren 8 ha; - nowa kwatera działła od listopada 2011 roku, obejmuje teren 7 ha	-sortownia – powstała w 2013 r.; roku, przepustowość: 35 000 Mg/rok; - kompostowania – powstała w 2013 roku, przepustowość: 180 000 Mg/rok; - tradycyjna kwatera działła od 1994 roku, obejmuje teren 8,63 ha -nowa kwatera działła od 2013 roku, obejmuje teren 2,59 ha
<i>Ilość odcieków składowiskowych</i>	około 38 500 m <sup>3</sup> /rok; - tradycyjna kwatera ok. 50 m <sup>3</sup> /d; - nowa kwatera ok. 55 m <sup>3</sup> /d	około 11 000 m <sup>3</sup> /rok; - brak możliwości określenia ile odcieków powstaje na tradycyjnej i nowej kwaterze (brak opomiarowania- można jedynie szacować)
<i>Ilość odcieków z sortowni</i>	ok. 475 m <sup>3</sup> /rok	ok. 50 m <sup>3</sup> /rok (szacunki)
<i>Ilość odcieków z kompostowni</i>	5 475 m <sup>3</sup> /rok	ok. 240 m <sup>3</sup> /rok (szacunki)
<i>Metoda podczyszczania odcieków</i>	podczyszczanie odcieków w oparciu o proces odwróconej osmozy (koncentrat zawracany jest na pryzmę składowiskową)	

## 2.2. Zakres prowadzonych badań

W każdej próbce odcieków z nowej i tradycyjnej kwatery oraz ściekach technologicznych pochodzących z sortowni i kompostowni analizowano następujące parametry: odczyn; przewodnictwo właściwe; stężenie: zawiesiny ogólnej, fosforu ogólnego (TP), azotu ogólnego (TN), azotu amonowego (N-NH<sub>4</sub>), stężenie siarczanów (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) oraz chlorków (Cl); wartość chemicznego zapotrzebowania na tlen (ChZT) oraz biologicznego zapotrzebowania na tlen (BZT<sub>5</sub>). Oznaczenia wykonano zgodnie z APHA (APHA 1995).

### 3. Wyniki badań i dyskusja

Uporządkowanie gospodarki odpadowej przyczyniło się do powstania nowych mało poznanych produktów ubocznych jakimi są ścieki technologiczne generowane w sortowni i kompostowni, a także odcieki pochodzące z nowych kwater. Prowadzony monitoring w dwóch pomorskich RIPOKach wskazuje na znaczące ich zróżnicowanie jakościowe (tabela 2) i konieczność weryfikacji dotychczas stosowanych metod ich utylizacji.

**Tabela 2.** Jakość odcieków pochodzących z kwater składowiskowych oraz ścieków technologicznych z sortowni i kompostowni generowanych na terenie RIPOKów: Eko Dolina oraz Zakładu Zagospodarowania Odpadów Nowy Dwór  
**Table 2.** The quality of landfill leachates and technological wastewaters originated from sorting and composting units - MSWP Eco Valley and MSWP Nowy Dwor

<i>parametry</i>	<b>Eko Dolina Łężyce k/Gdyni</b>			
	<i>Mediana*/odchylenie standardowe</i>			
<i>Odcieki/ ścieki technologiczne</i>	nowa kwatera	tradycyjna kwatera	kompostowania	sortownia
pH	7,24/9,21	7,82/0,30	6,59/8,10	6,11/1,26
przewodnictwo [mS/cm]	12,95/1,37	28,90/4,00	15,50/5,40	5,42/1,51
TP [mg P/dm <sup>3</sup> ]	7,17/2,37	22,20/4,50	22,70/107,80	55,20/42,90
TN [mg N/dm <sup>3</sup> ]	727/216	2370/373	1416/908	423/230
N-NH <sub>4</sub> [mg N-NH <sub>4</sub> /dm <sup>3</sup> ]	666/163	2210/314	1190/449	309/171
ChZT [mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]	2436/1220	4209/808	29540/17460	12299/15360
BZT <sub>5</sub> [mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]	615/650	381/637	15680/10218	7205/10464
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /dm <sup>3</sup> ]	139/56	1645/746	1530/3089	640/1589
Cl [mg Cl/dm <sup>3</sup> ]	1347/357	3333/579	1312/747	620/602
zaw. ogólna [mg/dm <sup>3</sup> ]	107/154	34/64	2330/13089	1323/2362
ChZT/BZT <sub>5</sub>	3,26/1,10	10,52/10,52	1,85/0,72	1,54/1,58
TN/BZT <sub>5</sub>	0,92/0,66	5,70/2,30	0,11/0,08	0,08/0,13
<i>parametry</i>	<b>Nowy Dwór k/Chojnic</b>			
	<i>Mediana*/odchylenie standardowe</i>			
<i>odcieki/ ścieki technologiczne</i>	nowa kwatera	tradycyjna kwatera	kompostowania	sortownia
pH	7,63/0,29	7,94/0,24	7,52/0,34	5,77/0,88
przewodnictwo [mS/cm]	9,84/5,41	11,26/3,02	17,78/7,68	8,63/3,88
TP [mg P/dm <sup>3</sup> ]	10,13/6,71	4,40/2,52	9,51/6,86	46,00/31,02
TN [mg N/dm <sup>3</sup> ]	513/287	719/209	964/841	324/71,58
N-NH <sub>4</sub> [mg N-NH <sub>4</sub> /dm <sup>3</sup> ]	467/260	666/214	839/782	226/64,58
ChZT [mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]	1623/1098	847/404	14460/9228	16085/5210
BZT <sub>5</sub> [mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]	301/436	136/148	6355/4853	8830/2859

Tabela 2. cd.

Table 2. cont.

parametry	Nowy Dwór k/Chojnic			
	Mediana*/odchylenie standardowe			
odcieki/ ścieki technologiczne	nowa kwate- ra	tradycyjna kwatery	kompostowania	sortownia
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /dm <sup>3</sup> ]	414/337	79/61	614/1540	1025/427
Cl <sup>-</sup> [mg Cl <sup>-</sup> /dm <sup>3</sup> ]	2021/1173	1347/494	1950/942	1134/515
zaw. ogólna [mg/dm <sup>3</sup> ]	286/278	53/1376	324/3217	1558/1672
ChZT/BZT <sub>5</sub>	2,41/2,41	5,80/3,77	1,07/1,07	1,78/0,38
TN/BZT <sub>5</sub>	1,38/1,38	4,86/2,37	0,94/0,94	0,04/0,13

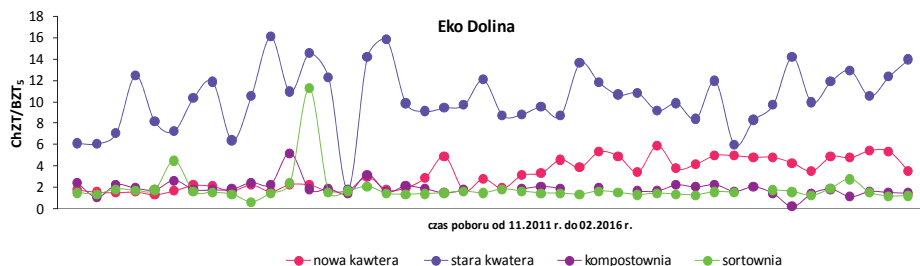
\*obliczono medianę, ponieważ uzyskane dane nie mają rozkładu normalnego

Ścieki technologiczne z sortowni i kompostowni charakteryzują się znacznie wyższym stężeniem poszczególnych zanieczyszczeń, niż odcieki z nowej i tradycyjnej kwatery (tabela 2). Szczególnie w przypadku substancji organicznej wyrażonej jako ChZT i BZT<sub>5</sub>, a także zawartości zawiesiny ogólnej i stężenia TP. Odcieki z tradycyjnej kwatery, zawierały natomiast wysokie stężenie N-NH<sub>4</sub>, który stanowił główny składnik TN i wynosił 2210 mg N-NH<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup> dla Eko Doliny i 666 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> dla Nowego Dworu, wyrażony jako mediana. Ponadto stężenia Cl<sup>-</sup> i SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> w odciekach starych z Eko Doliny były na poziomie 3333 mg Cl<sup>-</sup>/dm<sup>3</sup> (mediana) i 1645 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/dm<sup>3</sup> (mediana), odpowiednio, i podobnie jak w przypadku N-NH<sub>4</sub> wartości te były niższe od wartości uzyskanych w odciekach z kwatery tradycyjnej w Nowym Dworze (tabela 2). Różnice między składowiskami mogą wynikać z jakości składowanych odpadów w związku z innym charakterem obsługiwanych terenów – Eko Dolina – obszar wielkomiejski, Nowy Dwór – obszar małomiejski. Ponadto w Eko Dolinie odcieki podczyszczane są w procesie odwróconej osmozy, a powstający koncentrat zawracany był od 2004 r. do marca 2012 r. na tradycyjną kwaterę (obecnie na nową kwaterę), co przyczyniło się do zateżenia starych odcieków i ich zbuforowania. Ścieki technologiczne z kompostowni charakteryzują się wyższym stężeniem TN, niż ścieki z sortowni. A w przypadku Nowego Dworu stężenie TN w ściekach z kompostowni osiąga wyższe wartości, niż w odciekach składowiskowych.

Ścieki technologiczne zarówno z sortowni jak i z kompostowni osiągają wysoką zawartością substancji organicznej. W przypadku ścieków technologicznych generowanych w sortowni w Eko Dolinie wartość ChZT wynosiła 12299 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> (mediana), a w Nowym Dworze

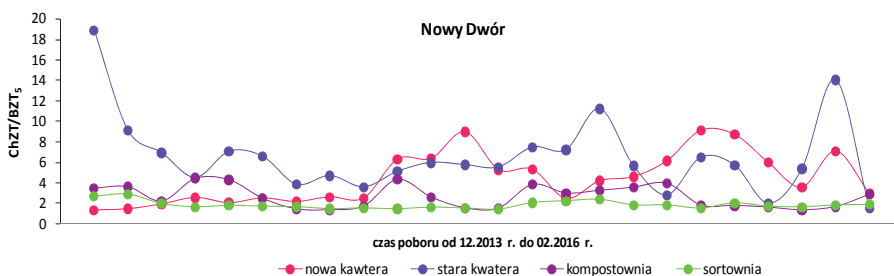
16085 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> (mediana), przy czym stosunek ChZT/BZT<sub>5</sub> wynosił średnio 1,88 dla obu zakładów (rys. 1 i 2). Natomiast w ściekach generowanych w kompostowni ChZT stanowiło 29540 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> w Eko Dolinie i 14460 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> w Nowym Dworze wyrażone jako mediana, przy stosunku ChZT/BZT<sub>5</sub> wynoszącym odpowiednio, średnio 1,93 oraz 2,69 (rys. 1 i 2). Należy zwrócić uwagę, iż ścieki pochodzące z sortowni w Eko Dolinie oraz z Nowego Dworu charakteryzują się stosunkiem ChZT/BZT<sub>5</sub>, który świadczy o ich podatności na rozkład biologiczny, dodatkowo korzystnym stosunkiem ChZT/BZT<sub>5</sub> patrząc na wartości średnie charakteryzują się ścieki generowane w kompostowni w Eko Dolinie. Natomiast odcieki z tradycyjnej kwatery w Eko Dolinie charakteryzują się niekorzystnym stosunkiem zarówno ChZT/BZT<sub>5</sub> jak i TN/BZT<sub>5</sub>, wynoszącym średnio, odpowiednio 10,35 i 5,74 (rysunek 2), co świadczy o znikomej podatności na rozkład biologiczny i jest typowe dla odcieków pochodzący z kwater ustabilizowanych (Renou i in. 2008). W przypadku odcieków z młodych kwater na początku ich działalności, przez pierwsze 9 miesięcy, stosunek ChZT/BZT<sub>5</sub> i TN/BZT<sub>5</sub> był korzystny dla biologicznych procesów oczyszczania, który w przypadku Eko Doliny stanowił średnio 1,7, i 0,13 (rysunek 2). Natomiast odcieki z młodej kwatery w Nowym Dworze były podatne na biologiczne procesy oczyszczania do 8 miesiąca działalności kwatery, o czym świadczył stosunek ChZT/BZT<sub>5</sub> średnio na poziomie 1,64, i TN/BZT<sub>5</sub> średnio wynoszący 0,21 (rysunek 2). Powszechnie uważa się, że odcieki pochodzące ze składowisk odpadów są podatne na biologiczne procesy oczyszczania do około 5 roku eksploatacji kwatery, z której pochodzą (Renou i in. 2008, Pohland i Harper 1986). Jednak uzyskane wyniki prowadzonych badań monitorujących jakość odcieków z młodej kwatery wskazują, iż w przypadku gdzie ograniczono (działalność rozpoczęła się po 2010 r.) lub całkowicie wyeliminowano (dotyczy to nowych RIPOK oddanych do użytku od 1 stycznia 2013 r.) składowanie odpadów biodegradowalnych, odcieki znacznie szybciej przestają być podatne na biologiczne procesy oczyszczania, niż odcieki z tradycyjnych kwater (rys. 1, 2). To może wskazywać, iż inwestowanie w konwencjonalne biologiczne metody oczyszczania odcieków może być decyzją błędną, w związku z wysokimi kosztami inwestycyjnymi, ale przede wszystkim z rosnącymi kosztami eksploatacyjnymi związanymi m.in. z koniecznością wspomagania denitryfikacji zewnętrznym źródłem węgla.

Jednocześnie na podstawie przeprowadzonego monitoringu można postawić tezę, iż mieszanie odcieków z kwater, niepodatnych na rozkład biologiczny, ze ściekami generowanymi w sortowni, bogatymi w substancję organiczną rozkładalną biologicznie ( $\text{ChZT}/\text{BZT}_5 < 2$ ) może być znakomitym rozwiązaniem uzupełnienia brakującego źródła węgla przy zastosowaniu metod biologicznych.



**Rys. 1.** Stosunek  $\text{ChZT}/\text{BZT}_5$  dla w odciekach i ściekach technologicznych pochodzących z RIPOK Eko Dolina k/Gdyni

**Fig. 1.** COD/BOD<sub>5</sub> ratio in landfill leachates and technological wastewaters from sorting and composting units – MSWP Eco Dolina



**Rys. 2.** Stosunek  $\text{ChZT}/\text{BZT}_5$  dla w odciekach i ściekach technologicznych pochodzących z RIPOK Nowy Dwór k/Chojnic

**Fig. 2.** COD/BOD<sub>5</sub> ratio in landfill leachates and technological wastewaters from sorting and composting units – MSWP Nowy Dwór

Należy sądzić, iż odcieki z sortowni, a także w niektórych przypadkach z kompostowni będą mogły zastąpić kosztowne, konwencjonalne zewnętrzne źródło, co znacząco może obniżyć koszty eksploatacyjne instalacji opartej na metodach biologicznych. Hipotezę, o możliwości bilansowania brakującego węgla organicznego w odciekach z tradycyjnych kwater ściekami technologicznymi powstającymi na RIPOKach,

należy jednak poprzedzić badaniami, co najmniej w skali laboratoryjnej. Ilość ścieków generowanych w sortowni i kompostowni jest bowiem znacznie niższa, niż w przypadku odcieków z kwater składowiskowych. W przypadku Eko Doliny odcieki generowane w sortowni stanowią około 1%, natomiast z kompostowni około 14% w stosunku do ilości odcieków składowiskowych, a w Nowym Dworze ilości te wynoszą odpowiednio około 0,5% i 2,2%. Zatem weryfikacja postawionej hipotezy, o możliwości wykorzystania ścieków technologicznych z sortowni i kompostowni do wspomagania denitryfikacji, musi zostać poparta badaniami uwzględniającymi obok jakości, również ich stosunek ilościowy w stosunku do odcieków składowiskowych. Należy zaznaczyć, iż dodatk odcieków z sortowni i kompostowni przyczyni się do wzrostu ilości osadu wstępnego (wysoka wartość zawiesin ogólnych).

Wśród metod biologicznych stosowanych do oczyszczania odcieków składowiskowych stosuje się głównie układy SBR – Sekwencyjne Reaktory Biologiczne (Fudala-Ksiazek i in. 2014) ale także w ostatnim czasie coraz popularniejsze są układy MBR – Membranowe Reaktory Biologiczne (Wang i in. 2014). Metoda MBR łączy ze sobą konwencjonalne procesy biologiczne realizowane w komorze osadu czynnego z fizycznymi realizowanymi jako ultrafiltracja (opcjonalnie: + nanofiltracja / + odwrócona osmoza). Dzięki systemowi membranowemu otrzymujemy wysoką efektywność oczyszczania. Ponadto na uwagę zasługują niekonwencjonalne procesy biologiczne, które bez dodatku zewnętrznego źródła węgla pozwalają oczyszczać ścieki charakteryzujące się wysokim stężeniem N-NH<sub>4</sub>, a niskim stężeniem substancji łatworozkładalnej biologicznie, wśród których wyróżniamy np. proces: Anammox, skróconą nityfikację (Shalini i Joseph 2010). Jednak w przypadku ścieków technologicznych, które charakteryzują się podatnością na rozkład biologiczny (tabela 1) nie możemy stosować w/w procesów. To powoduje, że przy zastosowaniu np. procesu Anammox należałoby zastosować dwie niezależne instalacje – jedną do podczyszczania odcieków, a drugą do ścieków technologicznych, co byłoby nieracjonalnym rozwiązaniem.

Wśród metod fizycznych, którym można poddać odcieki składowiskowe najbardziej popularna jest metoda odwróconej osmozy. Umożliwia ona wysoce efektywne podczyszczanie odcieków, nawet do jakości ścieków, które mogą być bezpośrednio zrzucone do odbiornika. Koszty budowy tego typu podczyszczalni są nieco niższe, niż dla podczyszczalni biologicznej. Metoda ta również wydaje się być prosta w eksploatacji



i często przez dostawców określana jako bezobsługowa, co niestety nie potwierdza większość technologów stosujących odwróconą osmozę. Ponadto, eksploatacja tej metody związana jest z istotnymi kosztami ponoszonymi na wymianę membran, filtrów czy odczynników. Jednak najistotniejszym problem jest ograniczona możliwość zagospodarowania koncentratu, powstającego podczas odwróconej osmozy, który w większości przypadków jest odprowadzany na kwaterę składowiskową (Fudala-Książek i in. 2014, Talalaj 2015). Niestety tego typu praktyka może powodować zatężanie zanieczyszczeń w odcieku składowiskowym, co znalazło swoje odzwierciedlenie w odciekach generowanych przez tradycyjną kwaterę w Eko Dolinie, gdzie po kilku latach zawracania koncentratu zaobserwowano powolne buforowanie się odcieków i istotny wzrost stężenia np.  $\text{N-NH}_4$ ,  $\text{Cl}^-$  i  $\text{SO}_4^{2-}$  (tabela 2), a tym samym problemy w użytkowaniu modułu odwróconej osmozy.

W przypadku ścieków technologicznych z kompostowni czy sortowni wysoka zawartość zawiesiny ogólnej nawet powyżej  $68000 \text{ mg/dm}^3$  uniemożliwia bezpośrednio kierowanie tych ścieków na moduł odwróconej osmozy. Co więcej badania własne (niepublikowane) wykazały, iż w ściekach z kompostowni znaczna ilość zawiesiny zatrzymywała się dopiero na sączkach o wielkości porów  $0,45 \mu\text{m}$ , czego nie obserwowano dla odcieków składowiskowych i ścieków technologicznych z sortowni. W związku z powyższym, jeżeli na filtrach piaskowych i świecowych (będącym wstępnym elementem podczyszczania w procesie odwróconej osmozy) ze ścieków usuwana jest zawiesina do  $10 \mu\text{m}$ , to zawiesina występująca w ściekach z kompostowni, nie zostanie zatrzymana na etapie filtracji wstępnej, a dopiero na membranach odwróconej osmozy. Jest to niekorzystne zjawisko, znacząco skracające żywotność membran, powodując, że proces odwróconej osmozy przestaje być ekonomicznie opłacalny.

Należy również wspomnieć zawansowane metody utleniania – AOP (z ang. Advanced Oxidation Process), których rozwój na świecie w ostatniej dekadzie jest znaczący (Yu i in. 2015). Przewiduje się, że w najbliższych latach również w Polsce stosowanie tych metod stanie się powszechne w procesie oczyszczania ścieków przemysłowych, ze względu na dużą efektywność w degradowaniu zanieczyszczeń organicznych. Metody AOP mogą być stosowane jako podstawowy proces oczyszczania ścieków, ale równie często w połączeniu z metodami biologicznym, tworzą układy zintegrowane. Wykorzystanie tej metody umożliwia degradację niebezpiecznych i trudno rozkładalnych zanie-

czyszczeń organicznych, co wynika z działania reaktywnych rodników  $\text{OH}^{\bullet}$  o bardzo dużym potencjale utleniającym (2,80 V), które wchodzi w reakcję niemal ze wszystkimi zanieczyszczeniami organicznymi (Barbusiński 2013). W praktyce obecnie stosuje się głównie metody z udziałem  $\text{H}_2\text{O}_2$  i  $\text{O}_3$ , zarówno bez jak i przy udziale UV. Metody te w najprostszym układzie są łatwe w montażu i obsłudze, niestety w większości przypadków generują wysokie koszty eksploatacyjne. AOP pozwala podczyszczać odcieki zawierające zanieczyszczenia trudno biodegradowalne. Ponadto zaawansowane metody utleniania sprawdzają się w usuwaniu mikrozanieczyszczeń (Moreira i in. 2016), które nie są usuwane w wyniku procesów biologicznych, a powszechnie występują w ściekach i odciekach generowanych w zakładach utylizujących odpady.

Zgodnie z wiedzą Autorów w literaturze przedmiotu brak jest informacji na temat jakości ścieków technologicznych z kompostowni i sortowni. A także na temat różnic w jakości odcieków generowanych na tzw. nowych przyzmacz (bez składowania substancji organicznej, albo w ograniczonej ilości), a tradycyjnych przyzmacz. Wyeliminowanie odpadów biodegradowalnych składowanych na kwaterach miało m.in. na celu: ograniczenie generowania biogazu i substancji złownonnych, a także zmniejszenie ilości i poprawę jakości odcieków. Jednak własne badania monitoringowe prowadzone na nowej kwaterze w Eko Dolinie (Fudala-Książek i in. 2016) wykazują, iż pomimo ograniczenia deponowania substancji biodegradowalnej, już po 3 latach eksploatacji powstawał biogaz w ilościach wymagających systemu zbierania. Jednocześnie okazuje się, że jakość odcieków z nowej kwatery uległa istotnym zmianom – szybciej osiagają one statut niebiodegradowalnych, niż przedstawiano to dotychczas w literaturze przedmiotu dla tradycyjnych kwater (Pohland, i Harper 1986), a jednocześnie ich jakość nie przestała być problematyczna dla eksploatorów składowisk.

#### **4. Wnioski**

Analiza jakościowa wskazała, iż odcieki pochodzące z nowych kwater, charakteryzowały się niższym stężeniem poszczególnych zanieczyszczeń, niż odcieki z kwater tradycyjnych. Odcieki z sortowni i kompostowni charakteryzowały się natomiast wysokim ładunkiem zanieczyszczeń organicznych, ale także wysokim stężeniem TN i TP. Parametry poszczególnych zanieczyszczeń w odciekach z sortowni i kom-

postowni przekraczały nawet 20-krotnie wartości występujące w odciekach z analizowanych kwater. Ponadto odcieki z młodych kwater już po roku eksploatacji przestają być podatne na rozkład biologiczny. Natomiast odcieki pochodzące z sortowni obu zakładów oraz kompostowni zakładu w Eko Dolinie są podatne na rozkład biologiczny.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazały, iż zmiany w gospodarce odpadowej spowodowały istotne zmiany w charakterystyce ścieków technologicznych i odcieków składowiskowych. Niezwykle istotny w całym strumieniu odcieków generowanych na terenie zakładów utylizujących odpady, okazał się ładunek zanieczyszczeń generowanych przez sortownie i kompostownie. Według najlepszej wiedzy autorów, badania tego typu nie były jeszcze prowadzone, dlatego wymagają dalszych działań w tym kierunku.

## Literatura

- APHA. (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association.
- Barbusiński, K. (2013). *Zaawansowane utlenianie w procesach oczyszczania wybranych ścieków przemysłowych*. Monografia. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- Dyrektywa Rady 1999/31/WE z dnia 26 kwietnia 1999 r. w sprawie składowania odpadów (Council Directive 99/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste entered into force on 16.07.1999).
- Fudala-Książek, S., Luczkiewicz, A., Fitobor, K., Olanczuk-Neyman, K. (2014). Nitrogen removal via the nitrite pathway during wastewater co-treatment with ammonia-rich landfill leachates in a sequencing batch reactor. *Environmental Science Pollution Research*, 21, 7307-7318.
- Fudala-Książek, S., Pierpaoli, M., Kulbat, E., Luczkiewicz, A. (2016). A modern solid waste management strategy – the generation of new by-products. *Waste Management*, 49, 516-529.
- Moreira, N. F.F., Sousa, J. M., Macedo, G., Ribeiro, A. R., Barreiros, L., Pedrosa, M., Faria, J. L., Pereira, M. F. R., Castro-Silva, S., Segundo, M. A., Manaia, C., M., Nunes, O. C., Silva, A.M.T. (2016). Photocatalytic ozonation of urban wastewater and surface water using immobilized TiO<sub>2</sub> with LEDs: Micropollutants, antibiotic resistance genes and estrogenic activity. *Water Research*, 94, 10-22.
- Pohland, F. G. & Harper, S. R. (1986). *Critical Review and Summary of Leachate and Gas Production From Landfills*, EPA/600/2-86/073, Cincinnati, OH, U.S.A.: U.S. Environmental Protection Agency.

- Renou, S., Givaudan, J.G., Poulain, S., Dirassouyan, F., Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous materials*, 150, 468-4931.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach.
- Shalini, S. S. & Joseph, K. (2012). Nitrogen management in landfill leachate: Application of SHARON, ANAMMOX and combined SHARON-ANAMMOX process. *Waste Management*, 32, 2385-2400.
- Talalaj, I. A. (2015). Mineral and organic compounds in leachate from landfill with concentrate recirculation. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 22, 2622-2633.
- Wang, G., Fan, Z., Wua, D., Qin, L., Zhang, G., Gao, C., Meng, Q. (2014). Anoxic/aerobic granular active carbon assisted MBR integrated with nanofiltration and reverse osmosis for advanced treatment of municipal landfill leachate. *Desalination*, 349, 136-144.
- Yu, Y., Chen, Z., Guo, Z., Liao, Z., Yang, L., Wang, J., Chen, Z. (2015). Removal of refractory contaminants in municipal landfill leachate by hydrogen, oxygen and palladium: A novel approach of hydroxyl radical production. *Journal of Hazardous Materials*, 287, 349-355.

## **Characteristics of Liquid By-Products Generated at Municipal Solid Waste Plants (MSWP) in Terms of Treatment Method Choice**

### **Abstract**

The aim of this study was to analyze all liquid by-products generated at two MSWPs, located in metropolitan and rural areas. Obtained data indicated that the technological wastewater from the sorting and composting units were characterized by a high load of organic matter as well as a high nitrogen and phosphorus concentration, in some cases even 20 times higher than values obtained in the landfill leachate. To the best of our knowledge, such comprehensive studies have not yet been conducted in Poland.

### **Słowa kluczowe:**

odcieki składowiskowe, ścieki technologiczne z sortowni i kompostowni, podczyszczanie odcieków i ścieków technologicznych

### **Keywords:**

landfill leachate, technological wastewater from sorting and composting, pre-treatment of liquid by-products generated at municipal solid waste plants