



Changes in the approach to waste disposal and generation of the leachate

Lukasz JURCZYK¹, Justyna KOC-JURCZYK¹

¹ Uniwersytet Rzeszowski, Katedra Biologicznych Podstaw Rolnictwa i Edukacji Środowiskowej, 35-601 Rzeszów, ul. Ćwiklińskiej 2, tel. 17 872 17 25, e-mail: ljurczyk@univ.rzeszow.pl

Abstract

Landfilling is still the most common way of municipal waste disposal, as in Poland as in many countries worldwide. The main environmental risk related to municipal waste dumps is generation of leachate. The increasing living standards and consumption that have occurred in recent decades resulted in changes of quantity and quality of dumped waste what influenced the volume and biodegradability of leachate. In this paper authors try to analyze how the evolution of dumping conceptions would affect generation of leachate and what will be the future prospects of threats.

Keywords: landfill leachate, municipal waste, landfilling, waste management

Streszczenie

Zmiany podejścia do składowania odpadów a generowanie odcieków składowiskowych

Składowanie jest wciąż najpowszechniejszym sposobem unieszkodliwiania odpadów komunalnych zarówno w Polsce jak i wielu krajach świata. Najważniejszym zagrożeniem środowiskowym związanym ze składowaniem odpadów jest powstawanie odcieków składowiskowych. Wzrost poziomu życia i konsumpcji jaki miał miejsce w ostatnich dziesięcioleciach skutkowało zmianami w ilości i jakości składowanych odpadów, co z kolei wpływało na objętość powstających odcieków i możliwości ich biodegradacji. W publikacji autorzy starają się przeanalizować jak zmiany w podejściu do składowania mogły oddziaływać na tworzenie odcieków i z jakimi zagrożeniami będziemy musieli spotkać się w przyszłości.

Słowa kluczowe: odcieki składowiskowe, odpady komunalne, składowanie odpadów, gospodarka odpadami

1. Wstęp

Jednym z niekorzystnych przejawów rozwoju cywilizacyjnego jest generowanie odpadów, czyli wszelkich substancji czy przedmiotów nie znajdujących zastosowania w danym momencie lub miejscu. Odpady, ze względu na swój skład, miejsce lub sytuację w jakiej powstały, oraz sposób dalszego postępowania z nimi, mogą w różnym stopniu zagrażać środowisku.

Pomimo istnienia bardziej zaawansowanych metod postępowania z odpadami komunalnymi, najpowszechniej stosowanym, zarówno na świecie jak i w Polsce, sposobem ich unieszkodliwiania jest wciąż składowanie [1]. O skali problemu najlepiej świadczą strumienie wytwarzanych odpadów, deponowanych następnie na składowiskach. W 2011 roku w naszym kraju wytworzono łącznie 135 653 tys. ton odpadów z czego 8,9% stanowiły odpady komunalne. Z tej ilości zebrano 9827,6 tys. ton odpadów komunalnych, z których unieszkodliwiono termicznie zaledwie 1,15%, biologicznie – 4,3%, a składowaniu poddano aż 81,9%. Odpady te składowano na 578 składowiskach kontrolowanych, zajmujących znaczącą powierzchnię 2349,5 ha (GUS 2012). Ten sposób zagospodarowywania odpadów należy uznać za potencjalnie niebezpieczny dla środowiska, ponieważ powstające wtórnie emisje są trudne do kontrolowania, a ich skład i ilość zmieniają się w czasie, co znacznie komplikuje projektowanie procesów oczyszczania. Spośród emitowanych przez składowiska na terenach naszego kraju zanieczyszczeń za najgroźniejsze należy uznać odcieki składowiskowe.

2. Ewolucja koncepcji składowania odpadów

Niezwykle cenne źródło informacji na temat ilości, składu i sposobu postępowania z odpadami już na przełomie XIX i XX w. stanowi książka J. Polaka (1908) [2]. Decydującym powodem unieszkodliwiania odpadów było wtedy zdrowie publiczne, a czynnikiem decydującym o przyjęciu danego rozwiązania - koszty. Za najbardziej właściwe uznawano spalanie odpadów w specjalnie do tego celu konstruowanych instalacjach, niekiedy prowadzono też sortowanie, a odpady zawierające dużą część materii organicznej były chętnie wykorzystywane w rolnictwie. Z braku innych możliwości wywożono odpady poza miasto, niekiedy nawet na odległość kilkudziesięciu kilometrów, i deponowano najczęściej w zagłębieniach terenu.

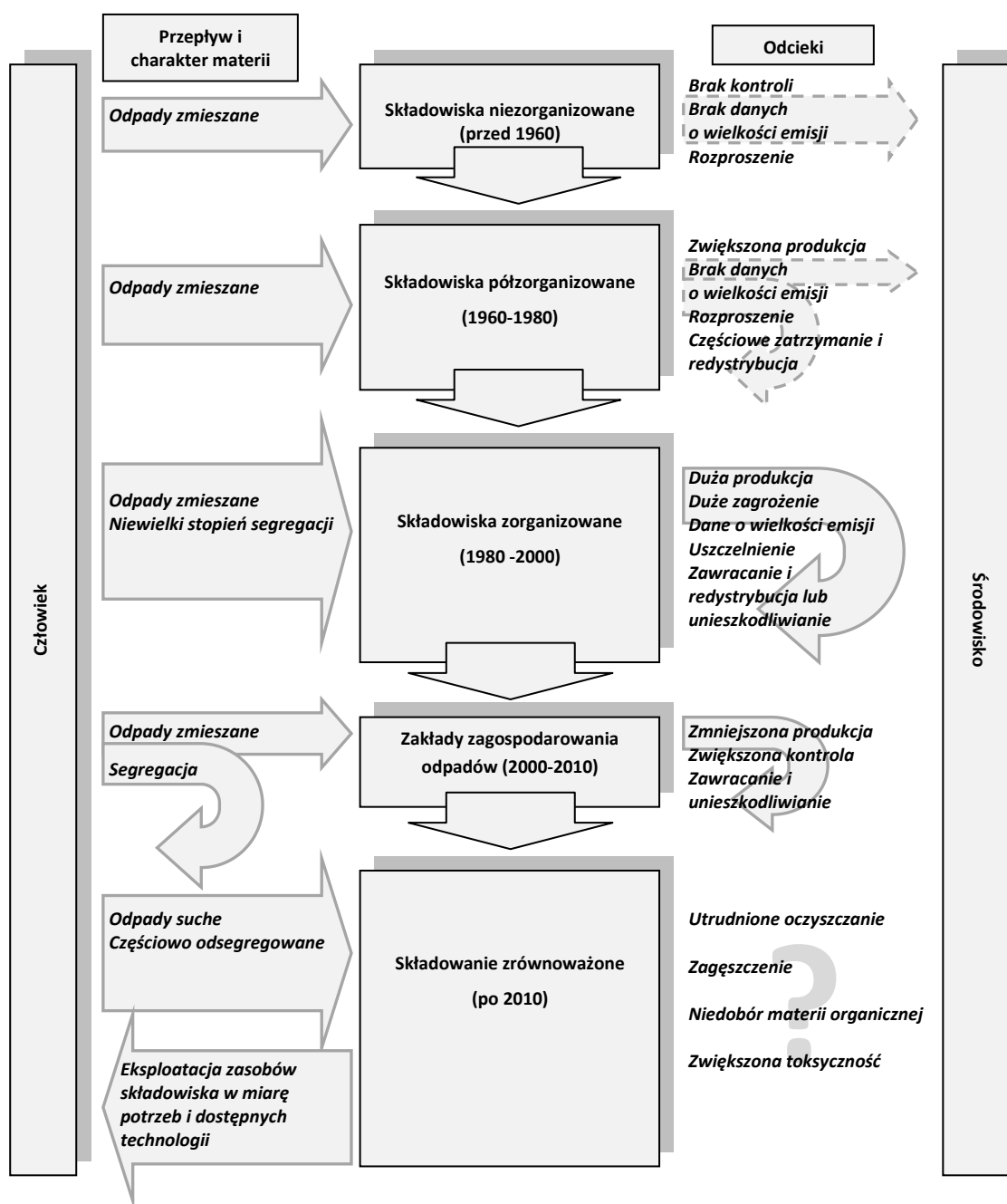
Ilości odpadów powstających na terenach miejskich na początku ubiegłego wieku była znacząca, na przykład warszawiak wytwarzał ich rocznie 180kg. Przytaczana przez Polaka szczegółowa analiza wagowa składu morfologicznego odpadów komunalnych pochodzących z takich źródeł, jak: gospodarstwa domowe, ulice czy targowiska, wskazuje na znaczną, od około 40 do 75%, zawartość „części ziemistych” zmieszanych z materią organiczną.

W odpadach znajdowano też: od 10 do 20 % resztek pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, do 5,5% papieru i szmat, około 2% szkła i wyrobów ceramicznych, 2% większych części mineralnych i od 0,5 do 2 % słomy. Metale stanowiły mniej niż 1 % masy odpadów. Autor potwierdza, że rozkład takich odpadów w warunkach tlenowych był szybki, natomiast długotrwała fermentacja gnilna prowadziła do wytworzenia: „gazu błotnego (metan), amoniaku, siarkowodoru, siarku amonu, indolu, skatolu, lotnych kwasów tłuszczowych, trymetylaminy, ptomainów (amin biogenych), toksyn”.

Skład obecnie powstających odpadów komunalnych może ulegać znacznym wahaniom w zależności od lokalizacji. W Polsce mogą zawierać od 2 do 33% papieru, 1 – 18% tworzyw sztucznych, około 10% szkła, kilka procent metali oraz poniżej 5% tekstyliów. Odpady ulegające biodegradacji mogą stanowić od 25 do 75% składu morfologicznego, a pozostałość stanowią odpady trudne do zidentyfikowania ze względu na rozdrobnienie i wymieszanie [3]. Dla porównania w badaniach przeprowadzonych przez Aziz i in. (2010) na dwóch obiektach w Malezji stwierdzono: 40 i 45% żywności, 22 i 24% plastiku, 10,5 i 7% papieru, 2,5 i 6% metalu, 3,25 i 3% szkła, 3,5% tekstyliów oraz 18,25 i 15% innych [1].

W ostatnich dziesięcioleciach skład odpadów przyjmowanych na składowiska komunalne ulegał zmianom, a tempo ich wytwarzania ciągle rosło. Takie produkty jak na przykład baterie, farby, oleje mineralne, elektronika czy farmaceutyki, potencjalnie deponowane na składowiskach stwarzały zagrożenie dla środowiska [4] i pogarszały proporcje związków łatwo i trudno rozkładalnych. Te zmiany wymuszały modyfikację procedur zarządzania składowaniem i technologii unieszkodliwiania produktów poprocesowych (w tym odcieków).

Na rysunku 2.1 przedstawiono zmiany przepływu materii przez składowisko oraz produkcji odcieków, na tle rozwoju koncepcji składowania odpadów (na podstawie podziału przyjętego przez Cossou (2010) [5]. Składowisko odpadów można rozpatrywać jako ogniwo pośrednie w krążeniu materii pomiędzy człowiekiem (jego działalnością bytową i gospodarczą), a środowiskiem. W początkowej fazie rozwoju składowisk odpadów komunalnych, obejmujących okres przed latami 60. XX wieku, trafiały na nie odpady zmieszane, w których znaczną ilość stanowiła frakcja organiczna. Część frakcji mineralnej stanowiły popioły powstałe w piecach domowych. Obecność szkła, czy wyrobów metalowych, była mocno ograniczona, ponieważ były to materiały cenne i wykorzystywane wielokrotnie. Obecność tworzyw sztucznych w odpadach, początkowo marginalna, rosła sukcesywnie wraz z wprowadzaniem do handlu tkanin opartych o włókna syntetyczne oraz artykułów gospodarstwa domowego wykonanych z plastików. Nie istniał praktycznie problem odpadów elektronicznych. Planowa zbiórka odpadów dotyczyła w tym czasie głównie terenów miejskich. Materia trafiająca na składowiska niezorganizowane była więc w dużym stopniu podatna na rozkład biologiczny. Nie rozpatrywano możliwości powtórnego wykorzystania odpadów trafiających na składowisko, przepływ materii był więc jednokierunkowy. Taki stan prowadził do powstawania szerokiego spektrum zagrożeń środowiskowych, spośród których należy wymienić: emisję gazów, odorów, rozprzestrzenianie się pyłów i części stałych w okolicy składowiska, obecność padlinożerców i wynikające stąd zagrożenia epidemiologiczne. Objętość generowanych odcieków wynika głównie z ilości przesiąkającej przez odpady wody opadowej, stąd skala ich produkcji na tego typu składowiskach była ograniczona relatywnie niewielką powierzchnią składowisk. Powstające w tym czasie odcieki byłyby prawdopodobnie łatwe do oczyszczania, ale brak jakiegokolwiek infrastruktury uniemożliwiał ich kontrolę.



Rys. 2.1. Dopływ materii i produkcja odcieków na tle rozwoju koncepcji składowania odpadów przyjętego przez Cossou (2010) [5].

Jedną pierwszych zmian jakie wprowadzono w późniejszych latach (1960-80) było ogróczenie terenu składowisk, co pozwalało w pewnym stopniu usunąć problem padlinożerców. Czasem składowiska formowano układając cienkie, dzienne warstwy odpadów, co powodowało jej stabilizację i częściowe uszczelnienie. Dopływ materii na składowisko był wciąż jednokierunkowy, a jej ilość sukcesywnie rosła. Podejście do problemu odcieków składowiskowych można było wciąż określać jako „rozcieńczanie i rozpraszanie”. Z czasem przedostawanie się do środowiska odcieków składowiskowych uznano za jedno z najpoważniejszych zagrożeń dla wód (powierzchniowych, gruntowych i podziemnych rezerwuarów wody pitnej). Dlatego też na nowo powstających składowiskach pół-zorganizowanych wprowadzono zasadę uszczelniania dna materiałem nieprzepuszczalnym - początkowo gliną, z czasem foliami z syntetycznych polimerów.

W latach 1980-2000, w odpowiedzi na wciąż zwiększający się strumień odpadów, rozbudowywano infrastrukturę składowisk. Odprowadzanie gazu przez system studzienek znacznie redukowało ryzyko samozapłonów. Odpady trafiające na czaszę poddawano kompaktowaniu, a już zamknięte kwatery uszczelniano od góry warstwą o niskiej przepuszczalności i wraz z drenażem. Składowisko zorganizowane posiadało też system drenażu odcieków z dna do zbiornika retencyjnego, a niekiedy też instalację służącą do ich oczyszczania. Infrastruktura pozwalała też kontrolować ilość odpadów deponowanych na składowisku i, przynajmniej częściowo, monitorować emisję substancji ciekłych i gazów. Cały czas jednak przepływ materii był jednokierunkowy, chociaż natężenie jej strumienia wzrosło. Z końcem lat 80 znacząco zmienił się też skład materii trafiającej na składowiska, przede wszystkim wzrosła ilość polimerów, trafiających tam w formie jednorazowych opakowań, niekorzystnie wpływających na strukturę składowiska. Masowa produkcja urządzeń elektrotechnicznych i elektronicznych skutkowałą zwiększeniem ilości odpadów niebezpiecznych, w tym baterii.

Wprowadzanie gospodarki odpadami obejmującej koncepcję minimalizacji, powtórnego zużycia, recykulacji i wykorzystania energii, prowadziło do powstania zakładów gospodarki odpadami, w których tylko część odpadów trafia na zabezpieczone składowisko w formie zmieszanej. Należy zauważyć, że podczas gdy w krajach europejskich (szczególnie Skandynawii) to podejście zaczyna dominować w gospodarce odpadami, w Polsce nadal funkcjonuje wiele składowisk, które możemy zaliczyć do drugiej, a nawet pierwszej generacji (czyli takich, które emitują odcieki bezpośrednio do środowiska).

Obecnie coraz większą uwagę przykładą się koncepcji włączania składowisk odpadów w model globalnego zarządzania zasobami – również uwzględniając w tym krążenie CO₂. Takie składowisko powinno jednak być w pełni zabezpieczone przed działaniem warunków zewnętrznych, a trafiające na nie odpady muszą być suche.

Kaczorek i Ledakowicz (2002) [6] proponują trzy podstawowe koncepcje eksploatacji składowiska odpadów. Tzw. składowisko suche to nowoczesne składowisko z ograniczonym dostępem wód. Charakteryzuje się niewielkimi ilościami odcieków i biogazu, produkowanymi przez długi okres. Stabilizacja (degradacja) odpadów trwa bardzo długo i może nie zejść do końca z powodu małej wilgotności odpadów. Tego typu składowiska są kosztowne pod względem inwestycyjnym (wysokie koszty uszczelnień wierzchnich) oraz eksploatacyjnym (wymagają monitorowania przez wiele lat). Niosą ze sobą ryzyko ekologiczne, ponieważ w przypadku rozszczelnienia układu procesy biodegradacji nie kończą się. Odwrotnie w składowisku typu bioreaktor, procesy mikrobiologiczne są intensyfikowane do tego stopnia, aby transformacja i stabilizacja związków organicznych zawartych w odpadach, a dokładniej ich części łatwo i umiarkowanie podatnych na biodegradację, trwała nie dłużej niż od 5 do 8 lat od chwili zamknięcia składowiska. W składowisku typu ostateczny magazyn mogą być składowane tylko odpady przygotowane w taki sposób, aby zawierały jak najmniej substancji organicznych, przy minimalizacji wymywania substancji nieorganicznych. W tym celu konieczna jest segregacja odpadów i ich wstępna utylizacja. Zakłada się, że monitorowanie tego typu składowiska będzie krótkotrwałe, a koszty unieszkodliwiania odcieków i biogazu minimalne.

Na przestrzeni lat, wraz ze wzrostem wiedzy na temat zagrożeń jakie powoduje składowanie odpadów, oraz technicznych możliwości ich zapobiegania, zmianom ulegało też regulujące je prawo. Pierwsze zarządzenia dotyczące usuwania nieczystości z terenów miast istniały już w starożytnej Grecji i Rzymie, a jednym z pierwszych aktów normatywnych dotyczących selektywnej zbiórki odpadów na terenie Polski był edykt królewski z 1777 dotyczący materiałów przydatnych Papierniom Krajowym. Wzrost ilości aktów prawnych dotyczących postępowania z odpadami w XIX wieku wiązać można z rozwojem przemysłu i postępującym za nim procesem migracji ludności z terenów wiejskich do miast. W Polsce, po odzyskaniu niepodległości, przez pewien czas funkcjonowały jeszcze, na terenach trzech zaborów, pozostałości różnych systemów prawnych. Nowo wydanym aktem było Rozporządzenie Prezydenta Rzeczypospolitej z 1928 roku [7], w którym śmieci, odpady gospodarcze i ścieki zdefiniowano pod wspólnym terminem - nieczystości. Obowiązkiem unieszkodliwiania odpadów obciążono gminy, które musiały „wyznaczyć tereny, na które powinny być usuwane nieczystości i śmieci, oraz określić sposób ich usuwania”, a jednocześnie „zaprowadzić takie sposoby i urządzenia, zbierania, przechowywania i usuwania nieczystości (...) które by zapewniały utrzymanie czystości gleby, wód i powietrza...” oraz „czuwać, aby były zaprowadzone w dostatecznej liczbie publiczne i prywatne urządzenia do zbierania śmieci i odpadków gospodarczych”. Prawo to, z niewielkimi zmianami, obowiązywało jeszcze po wojnie, w warunkach nowego ustroju politycznego.

Kolejnym aktem, bardziej szczegółowo poruszającym kwestie składowania odpadów, było Rozporządzenie Ministra Gospodarki Komunalnej z 9 grudnia 1959 roku [8], wydane w oparciu o Ustawę o utrzymaniu czystości i porządku w miastach i osiedlach. Zgodnie z nim, nieczystości stały się unieszkodliwiane na wysypiskach lub spalane, przy czym dopuszczano również budowę domowych instalacji do spalania, których

projekt musiał być jednak uzgodniony z Państwową Inspekcją Sanitarną. Więcej uwagi poświęcono lokalizacji składowisk, która musiała być konsultowana również z organem administracji gospodarki wodnej, oraz wyposażeniu, które powinno zapobiegać, „aby wody opadowe spływające z ich terenów” nie były źródłem zanieczyszczenia środowiska. Składowiska musiały być też codziennie przykrywane warstwą izolacyjną.

Na początku lat 80. weszła w życie Ustawa o ochronie i kształtowaniu środowiska [9], a jej konsekwencją było Rozporządzenie w sprawie ochrony środowiska przed odpadami i innymi zanieczyszczeniami oraz utrzymaniu czystości i porządku w miastach i wsiach [10]. Składowisko uznano za obiekt techniczny, którego budowa i eksploatacja powinna być regulowana przez prawo budowlane. W 2001 roku w Prawie ochrony środowiska [11] zdefiniowano odcieki składowiskowe jako ścieki, wraz ze wszystkimi tego konsekwencjami.

W obowiązującym Rozporządzeniu w sprawie składowisk odpadów [12], wydanym na podstawie Ustawy o odpadach z 2012 [13], dosyć szczegółowo poruszono kwestię przeciwdziałania zagrożeniom ze strony odcieków składowiskowych. Przy wyborze optymalnej lokalizacji nowo budowanego składowiska odpadów komunalnych, należy wykonać: inwentaryzację cieków i wód penetrujących planowany obszar budowy, bilans hydrologiczny i badania geologiczne. Preferowane są tereny mające naturalną, rozległą barierę geologiczną o niskim współczynniku filtracji (minimum $k \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s) i dostatecznej miąższości (przynajmniej 1m dla odpadów innych niż niebezpieczne). Barierę geologiczną należy uzupełniać izolacją syntetyczną, a zatrzymane w ten sposób odcieki powinny być drenowane przez instalację niezawodną co najmniej jeszcze przez 30 lat po zamknięciu składowiska. Ponadto eksploatacja składowiska powinna umożliwiać gromadzenie odcieków i poddawanie ich oczyszczaniu w stopniu umożliwiającym ich przyjęcie przez oczyszczalnię ścieków lub odprowadzenie do odbiornika. Wody odciekowe ze składowisk odpadów niebezpiecznych oraz ze składowisk odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne gromadzić należy się w specjalnych zbiornikach, których pojemność oblicza się na podstawie bilansu hydrologicznego, lub bezpośrednio odprowadzać do kanalizacji. Tam, gdzie składowane są odpady ulegające biodegradacji, dopuszcza się wykorzystywanie wód odciekowych do celów technologicznych, w ilościach wynikających z bilansu hydrologicznego. Odcieki pochodzące ze składowisk odpadów komunalnych powinny być monitorowane pod względem: wartości pH, przewodności, zawartości ogólnego węgla organicznego, metali ciężkich i sumy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. W rozporządzeniu nie wymienia się form azotu, których znaczący ładunek może znajdować się w odciekach ze składowisk dojrzałych.

3. Składowisko jako bioreaktor biochemiczny

Każde składowisko odpadów komunalnych można potraktować jak reaktor biochemiczny, w którym faza stała, ciepla i gazowa oddziałują wzajemnie na siebie tworząc wtórne produkty: odcieki, gaz składowiskowy i pozostałość stałą. Za największe zagrożenie uważać można odcieki mogące skazić wody gruntowe. Ilość powstających odcieków zależy od wielu czynników, takich jak technika składowania odpadów, wieku i bilansu wodnego składowiska, wilgotności oraz zdolności retencyjnej składowanych odpadów. Jednym z ważniejszych parametrów wpływających na ilość powstających odcieków jest sposób formowania przyzmy odpadów, a następnie jej eksploatacji. Istotna jest także powierzchnia składowiska i czas niezbędny do ułożenia pierwszej warstwy odpadów na dnie eksploatowanej kwatery. Zbyt duża powierzchnia przyzmy ma wpływ na wydłużenie czasu jej eksploatacji, co jest związane z powolnym przyrostem wysokości składowiska i ma wpływ na wzrost ilości odcieków. Również wiek składowiska ma wpływ na ilość powstających odcieków. Wraz ze starzeniem się składowiska w wyniku mineralizacji substancji organicznej zmniejszają się zdolności retencyjne odpadów, w wyniku czego rośnie ilość odcieków [14, 15].

Próba określenia ilości powstających na danym składowisku odcieków jest często niemiarodajna. Pomimo tego, iż istnieją modele matematyczne pozwalające na prognozowanie bilansu wodnego składowisk odpadów i ilości powstających odcieków, praktyczne wyniki znacznie odbiegają od założonych danych eksploatacyjnych. Dlatego, przy projektowaniu składowisk korzysta się z obserwacji prowadzonych na już istniejących obiektach, a także z wyników badań uzyskanych na małych modelowych składowiskach [15].

Skład odcieków jest bardzo zróżnicowany. Ma na niego wpływ wiele czynników, takich jak wiek składowiska, skład odpadów i sposób ich składowania, a także pora roku [11]. Najistotniejszy wpływ na skład odcieków ma wiek składowiska. W czasie eksploatacji składowiska Kaczorek i Ledakowicz (2005) [6] wyróżniają pięć następujących po sobie faz. Pierwszy etap rozkładu, nazwany fazą **tlenową**, trwa zazwyczaj do jednego tygodnia. W tym czasie tlen zawarty w odpadach jest zużywany w procesach hydrolizy. Powstaje dwutlenek węgla, który zaczyna dominować w składzie biogazu. Możliwa jest dalsza dyfuzja tlenu poprzez górne warstwy uszczelniające, ale jest on szybko zużywany w górnych warstwach odpadów i nie wpływa znacząco na przebieg

procesów w masie odpadów. Wraz z wyczerpaniem tlenu cząsteczkowego rozpoczyna się redukcja utlenionych form azotu i siarki prowadząca do spadku potencjału redox. Na końcu tej fazy pojawiają się mierzalne stężenia zanieczyszczeń organicznych w odciekach. Ilość powstających odcieków jest niewielka, dlatego często jest pomijana przez autorów.

Następnie składowisko wchodzi w fazę *fermentacji kwaśnej*. Środowisko w złożu odpadów jest ubogie w tlen i bakterie fakultatywne przechodzą na metabolizm związany z fermentacją beztlenową. W mikroflorze składowiska wyodrębniono wiele bakterii celulołitycznych – z rodzajów *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Cellulomonas*, *Microbacterium*, *Lactobacillus*, *Cytophagaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Enterococcus*. Obniża się odczyn składowiska, co powoduje uwalnianie metali. W fazie tej obserwuje się intensywny wzrost bakterii octowych oraz gwałtowne wykorzystywanie substratów i związków biogenych. W odciekach pojawia się coraz więcej organicznych związków węgla (wzrost ChZT).

W fazie *metanowej niestabilnej* odczyn odpadów podnosi się w związku z wykorzystywaniem przez bakterie kwasów jako źródła węgla. Innym czynnikiem buforującym odczyn środowiska jest uwalnianie jonów metali. Osiągnięcie neutralnego pH pozwala składowisku na przejście do zasadniczej fazy rozkładu. W odciekach wyodrębniono bakterie metanowe należące do rodzajów *Methanocorpusculum*, *Methanospirillum*, *Methanogenium*, *Methanosarcina*, *Methanococcus*, *Methanoculeus* oraz *Methanobacterium* i *Methanotherix*. Obserwowany jest gwałtowny wzrost produkcji biogazu, przy jednoczesnym spadku obciążenia odcieków organicznymi związkami węgla.

W fazie czwartej - *metanowej stabilnej* - szybkość produkcji metanu osiąga maksimum, po czym powoli maleje wraz z wykorzystaniem rozpuszczalnych substratów (kwasów karboksylowych). W tej fazie szybkość produkcji biogazu zależy od szybkości hydrolizy celuloz i hemiceluloz. Następuje powolna humifikacja związków organicznych zawartych w odpadach. Związki humusowe wiążą metale ciężkie.

Ostatnia faza – *dojrzwania* - rozpoczyna się z chwilą gdy większość związków organicznych zawartych w odpadach zostanie zdegradowanych. Wówczas szybkość dyfuzji tlenu do składowiska może stać się większa niż szybkość jego zużycia przez drobnoustroje. Zakłada się więc, że ustabilizowane składowisko może z czasem stać się ekosystemem tlenowym. Kolejne fazy przemian składowiska odpadów komunalnych odpowiadają zmianom w składzie powstających odcieków. Należy o tym pamiętać projektując instalacje oczyszczające, szczególnie jeżeli wchodzi w ich skład część biologiczna. W tabeli 3.1 przedstawiono porównanie składu odcieków pochodzących z faz kwaśnej i metanowej [16, 17, 18, 19].

Warunki panujące w warstwie składowanych odpadów powodują, że tlenowy i beztlenowy rozkład biochemiczny związków organicznych na wysypisku trwa wiele lat. Gdy złoże odpadów nie jest szczelnie odizolowane od otoczenia, gaz składowiskowy (biogaz), a zwłaszcza rozpuszczalne w wodzie związki chemiczne zawarte w odpadach i produkty powstające w czasie ich hydrolizy są wylugowywane z warstwy odpadów i mogą przenikać do gruntu wokół składowiska. Spośród wszystkich czynników wpływających na przebieg procesów zachodzących w złożu odpadów największe znaczenie ma recyrkulacja odcieków. Recyrkulacja odcieków może być wykorzystana do zapewnienia zarówno optymalnej wilgotności jak i odpowiedniego transportu wody w złożu odpadów, a przez to do optymalizacji procesów zachodzących w złożu składowiska. Dzięki recyrkulacji możliwe jest przyspieszenie osiadania odpadów, może również prowadzić do zwiększenia gęstości nasypowej odpadów w złożu. Jednak nadmierne zagęszczenie złoża odpadów uniemożliwia w nim ruch cieczy [20].

Ilość i skład powstających odcieków wymuszają na eksploatacjach składowisk odpadów stosowanie efektywnych metod oczyszczania odcieków. Możemy do nich zaliczyć metody mechaniczne, chemiczne, fizykochemiczne, biologiczne, czy ich kombinacje. Każde z powyższych podejść ma zwolenników w świecie naukowym, oferuje mnogość rozwiązań technicznych, i może być z powodzeniem stosowane w praktyce, pod warunkiem prawidłowego doboru technologii do aktualnych warunków na składowisku. Przy projektowaniu instalacji należy rozważyć możliwość zastosowania metod biologicznych (opartych o reaktory zapewniające optymalne środowisko życia mikroflory), jako najbardziej przyjaznych dla środowiska, elastycznych wobec zmian obciążenia ścieków, tanich w eksploatacji, a jednocześnie zapewniających wystarczające wskaźniki usunięcia zanieczyszczeń [21].

Tabela 3.1. Charakterystyka odcieków ze składowiska odpadów komunalnych ze względu na wiek (fazę przemian), według: *Ahmed i Lan (2012) [16], **Banel i Zygmunt (2009) [17], *** Foo i Hameed (2009) [18], **** Janosz-Rajczyk (2008) [19] oraz badań własnych ***** (składowiska stare) .

Wskaźnik	Składowisko młode (faza kwasowa)	Składowiska stare (faza metanowa)
pH	<6,5*/*** 6,5** 3,7-6,4*****	>7,5*/**/*** 7,5-9***** 7,6-8,3*****
ChZT mg/dm ³	6000-60 000 >10 000*/**/***	500-4500 <4000*/**/*** 5050-6090*****
BZT5 mg/dm ³	4000-40 000*****	20-550***** 113-490*****
BZT5/ ChZT	0,7***** 0,5-1,0*/*** >0,3**	0,1-0,3***** <0,1*/**/*** <0,02-0,05*****
OWO/ ChZT	<0,3***	>0,5***
Charakter związków organicznych	80% lotne kwasy tłuszczowe**/***	kwasy humusowe i fulwowe**/***
Podatność na degradację biologiczną	wysoka* znacząca**/***	niska* mała***
Siarczany (VI) [mg/dm ³]	70-1750*****	10-420*****
Chlorki [mg/dm ³]	100-5000*****	
Azot organiczny [mg/dm ³]	10-4250*****	
Azot amonowy [mg/dm ³]	<400*/***	>400*/*** 880-1010*****
	30-3000*****	
Azot Kjeldahla [g/ dm ³]	0,1-0,2***	1,1-1,2*****
Fosfor całkowity [mg/dm ³]	0,1-30*****	
Ogólna zawartość metali ciężkich	niska do średniej*/*** mała**	niska*/*** mała**
Cynk [mg/dm ³]	85-5310*****	
Chrom [μg/dm ³]	30-1600*****	
Miedź [μg/dm ³]	4-1400*****	
Ołów [μg/dm ³]	8-1020*****	
Kadm [μg/dm ³]	0,5-140*****	
Rtęć [μg/dm ³]	0,2-50*****	

W Polsce najczęściej do zagospodarowania odcieków wykorzystuje się ich recyrkulację na hałdę składowiska. Obecnie recyrkulacja jest uznawana za jedną z metod oczyszczania odcieków *in-situ*, podczas której zostają one natlenione i częściowo odparowane. Oczyszczanie odcieków wewnątrz składowiska zachodzi dopiero w fazie metanowej – zanieczyszczenia organiczne są wykorzystywane do produkcji biogazu, natomiast metale ciężkie immobilizowane. Natomiast w poprzedzającej fazie kwaśnej obciążenia odcieków wzrastają. Procesy hydrolizy i produkcji kwasów karboksylowych powodują szybki wzrost stężenia tych kwasów w odciekach, a przez to spadek wartości pH. Przy zbyt intensywnej recyrkulacji lub dużym udziale łatwo biodegradowalnych odpadów może to doprowadzić do wysokich stężeń niezdysocjowanych kwasów karboksylowych (niskie pH), które powodują inhibicję metanogenezy. Z recyrkulacją odcieków na hałdę odpadów wiąże się również zagrożenie podtopieniami [20].

Ostatnie regulacje prawne [22], których założeniem było zmniejszenie ilości materii organicznej dopływającej na składowiska, wymuszają na eksploatacjach składowisk poddanie niejednorodnej frakcji podsitowej o wielkości do 80 mm procesowi kompostowania (a w zasadzie stabilizacji tlenowej). Ten zabieg prowadzić jednak może paradoksalnie do zwiększenia ilości generowanych odcieków ponieważ ubytek substancji

organicznych zmniejszy zdolności retencyjne składowiska. Tam gdzie zastosowano rozwiązania oparte o reaktory biologiczne spodziewać się można zmniejszenia wydajności procesów oczyszczania odcieków, ze względu na zmianę stosunku trudno i łatwo przyswajalnego węgla organicznego (ChZT/BZT). Na skutek niekorzystnej relacji substancji niebezpiecznych do związków podatnych na biodegradację możliwy jest też wzrost właściwości toksycznych odcieków. Jednocześnie zmniejszeniu ulegną możliwości sorpcyjne związków organicznych. Koszty eksploatacji, ze względu na konieczność mechanicznej wentylacji przyzm stabilizatu, mogą znacznie wzrosnąć, natomiast zmniejszą się możliwości produkcji energii ze spalania gazu składowiskowego.

4. Podsumowanie

Podejście do problematyki odpadów jest jednym z podstawowych wyznaczników rozwoju społeczeństwa, odzwierciedlając społeczną i polityczną świadomość ekologiczną. Zmiany w składzie i ilości odpadów wytwarzanych w polskich gospodarstwach domowych jakie zaszły w ostatnich dziesięcioleciach, wynikały w dużym stopniu ze wzrostu standardów życia i dostępu do dóbr konsumpcyjnych. Pomimo wielu zagrożeń i niedogodności główną metodą ich unieszkodliwiania jest składowanie. Składowiska odpadów pozwalają na kontrolowane deponowanie odpadów, ale niosą też wiele zagrożeń dla środowiska, takich jak powstające odory, zanieczyszczenia mikrobiologiczne, czy powstające zarówno w czasie jak i po zakończeniu eksploatacji odcieki. Ilość i skład odcieków podlegają nieustannym zmianom, dlatego też składowiska mogą być traktowane jako reaktory biochemiczne. W czasie eksploatacji składowisko odpadów przechodzi 5 faz, które różnią się zarówno składem, jak i ilością powstających odcieków. Z tego powodu prowadzonych jest wiele badań nad metodami unieszkodliwiania odcieków. Jednak do tej pory najpowszechniej stosowanym sposobem zagospodarowania odcieków na polskich składowiskach jest ich recykulacja na hałdę odpadów.

Literatura

1. Aziz S.Q., Aziz H.A., Yusoff M.S., Bashir M.J.K., Umar M., Leachate characterization in semi-aerobic and anaerobic sanitary landfills: A comparative study, *Journal of Environmental Management*, 2010, 91, 2608-2614.
2. Polak J., *Wykład Hygieny Miast*, Warszawa, 1908. Źródło internetowe: <http://mbc.cyfrowemazowsze.pl>, data wejścia: 01.12.13.
3. Szymańska-Pulikowska A., Jakość wód podziemnych w obszarze potencjalnego oddziaływania składowisk odpadów komunalnych, *Monografie Wydawnictwa Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu*, 2009.
4. Eggen T., Moeder M., Arukwe A., Municipal landfill leachates: A significant source for new and emerging pollutants, *Science of The Total Environment*, 2010, 408, 21, 5147-5157.
5. Cossu R., Technical evolution of landfilling, *Waste Management*, 2010, 30, 947-948.
6. Kaczorek K., Ledakowicz S., Analiza pracy składowiska odpadów z punktu widzenia inżynierii bioreaktorowej, *Biotechnologia*, 2005, 2, 69, 69-87.
7. Rozporządzenie Prezydenta Rzeczypospolitej z dnia 16 marca 1928 r. o usuwaniu nieczystości i wód opadowych, *Dz.U.* 1928 nr 32 poz. 311.
8. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Komunalnej z dnia 9 grudnia 1959 r. w sprawie warunków, jakim powinny odpowiadać urządzenia do gromadzenia, usuwania i unieszkodliwiania nieczystości, oraz sposobu korzystania z tych urządzeń, *Dz.U.* 1959 nr 1 poz. 2.
9. Ustawa z dnia 31 stycznia 1980 r. o kształtowaniu i ochronie środowiska, *Dz.U.* 1980 nr 3 poz. 6.
10. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 września 1980 r. w sprawie ochrony środowiska przed odpadami i innymi zanieczyszczeniami oraz utrzymania czystości i porządku w miastach i wsiach, *Dz.U.* 1980 nr 24 poz. 91.
11. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska *Dz.U.* 2001 Nr 62 poz. 627.
12. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 20 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów, *Dz.U.* 2013 poz. 523.
13. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach, *Dz. U.* 2013 r. poz. 21

14. Renou S., Givaudan J.G., Poulain S., Dirassouyan F., Moulin P., Landfill leachate treatment: Review and opportunity, *Journal of Hazardous Materials*, 2008, 150, 3, 468-493.
 15. Surmacz-Górska J., Degradacja związków organicznych zawartych w odciekach z wysypisk, *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN*, 2001
 16. Ahmed F.N., Lan C.Q., Treatment of landfill leachate using membrane bioreactors: A review, *Desalination*, 2012, 287, 41-54
 17. Banel A., Zygmunt B., Lotne kwasy tłuszczowe na składowisku odpadów – występowanie i oznaczanie, *Ecological Chemistry and Engineering S*, 2009, 16, 193-206.
 18. Foo K.Y., Hameed B.H., An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process, *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 171, 54-60.
 19. Janosz-Rajczyk M. [red.], *Badania wybranych procesów oczyszczania ścieków*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2008.
 20. Białowiec A. Racjonalna gospodarka odpadami. *Przegląd Komunalny*, 2009, 10 (217), 30-35
 21. Koc-Jurczyk J., Jurczyk L., Micał P., Wpływ wypełnienia w reaktorze sekwencyjnym na efektywność usuwania substancji organicznych i azotu z odcieków składowiskowych, *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 2011, 14, 1, 59-71.
 22. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 września 2012 r. w sprawie mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych, *Dz.U.* 2012 nr 0 poz. 1052.
-

