

*EWELINA KILIAN\**

*AGNIESZKA MACEDOWSKA-CAPIGA\*\**

## **Parametr $AT_4$ jako wskaźnik stopnia stabilizacji odpadów po mechaniczno-biologicznym przetworzeniu**

Wytyczne dotyczące wymagań odnośnie do procesów kompostowania, fermentacji i mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów, opracowane przez Departament Gospodarki Odpadami Ministerstwa Środowiska, mówią o konieczności wdrożenia pomiaru parametru  $AT_4$  jako uzupełnienia oceny stopnia ustabilizowania odpadów, obok wartości straty prażenia i TOC. W artykule zawarto charakterystykę procesu mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów oraz opisano wskaźnik aktywności oddechowej  $AT_4$  i metody jego określania.

### **1. Wprowadzenie**

Zgodnie z polityką Unii Europejskiej od dnia 1 stycznia 2013 r. odpady deponowane na składowiskach będą musiały być przetworzone i nie mogą posiadać wartości materiałowych oraz/lub energetycznych [1]. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 7 września 2005 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku danego typu [2] nie pozwala na składowanie odpadów, których ciepło spalania przekracza wartość 6 MJ/kg s.m., wartość ogólnego węgla organicznego (TOC) przekracza 5% s.m., a strata przy prażeniu wynosi ponad 8%. Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. o odpadach [3] wprowadza obowiązek opracowywania, aktualizowanych co 4 lata, planów gospodarki odpadami. Celem założeń przyjętych w Krajowym planie gospodarki odpadami [4] jest przede wszystkim ograniczenie ilości składowania odpadów organicznych ulegających biodegradacji:

---

\* Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Materiałowej, Procesowej i Środowiska w Opolu.

\*\* Dr, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Materiałowej, Procesowej i Środowiska w Opolu.

- do dnia 31 grudnia 2010 r. – do nie więcej niż 75% wagowo całkowitej masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji;
- do dnia 31 grudnia 2013 r. – do nie więcej niż 50% wagowo całkowitej masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji;
- do dnia 31 grudnia 2020 r. – do nie więcej niż 35% wagowo całkowitej masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji w stosunku do masy tych odpadów wytworzonych w 1995 r.

## 2. Mechaniczno-biologiczne przetwarzanie odpadów

Cele określone w Krajowym planie gospodarki odpadami mogą zostać osiągnięte poprzez mechaniczno-biologiczne przetwarzanie (MBP) odpadów lub wskutek ich przekształcania w procesach termicznych. Prawo obowiązujące w Polsce oraz założenia Krajowego planu gospodarki odpadami pozwalają na wysnucie wniosku, że projekty zmian dokonane zostaną przede wszystkim poprzez mechaniczno-biologiczne przetwarzanie.

Mechaniczno-biologiczne przetwarzanie polega na przekształcaniu odpadów, wskutek obróbki mechanicznej, na frakcje ulegające biodegradacji, które następnie zostają poddane biologicznej stabilizacji. Ponadto, dzięki części mechanicznej procesu wydzielona zostaje także frakcja energetyczna i surowcowa, nadająca się następnie do przetworzenia. Procesy te prowadzą do znacznej redukcji masy i objętości odpadów, dzięki czemu ograniczona zostaje ilość odpadów przeznaczona do składowania. Główne cele mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów to:

- redukcja masy i objętości odpadów,
- biologiczna i chemiczna dezaktywacja odpadów ograniczająca powstawanie gazów i odcieków,
- immobilizacja zanieczyszczeń w celu zmniejszenia ich ilości w powstających odciekach [5–7].

Po części mechanicznej odpady poddawane są biologicznemu przetwarzaniu. Dwie podstawowe metody biochemicznej przeróbki odpadów to: kompostowanie i fermentacja beztlenowa. Kompostowanie odpadów jest oparte na reakcjach biochemicznych (mineralizacja, humifikacja) naturalnie przebiegających w glebie przy udziale licznych grup mikroorganizmów. Proces ten dokonuje się w dwóch fazach, zachodzących głównie w warunkach tlenowych. Faza I kompostowania to kompostowanie intensywne (faza termofilowa), w trakcie której z odpadów organicznych jest otrzymywany kompost świeży. W etapie tym materiał ulega higienizacji, a substancje łatwo rozkładalne zostają praktycznie rozłożone, maleje również potencjalna zdolność emisji odorów. Faza II to dojrzewanie kompostu, zwane także kompostowaniem mezofilowym. W tym etapie

rozkładane są substancje trudno rozkładalne (np. ligniny), a powstają stabilne struktury próchnicze, zawierające substancje odżywcze, odporne na działanie czynników zewnętrznych [8]. Od składu kompostowanego materiału oraz zastosowanej technologii zależy czas trwania poszczególnych faz. Intensywność procesu mineralizacji jest zależna od podatności związków na rozkład. Tłuszcze, białka oraz większość cukrów łatwo ulega rozkładowi. Trudniej rozkładają się celulozy, a najbardziej odporne to lignina oraz białka, takie jak keratyna, należące do grupy skleroproteidów. Faza termofilowa, w której temperatura może przekraczać nawet 70°C, jest bardzo istotna dla procesu higienizacji [9].

### 3. Aktywność oddechowa

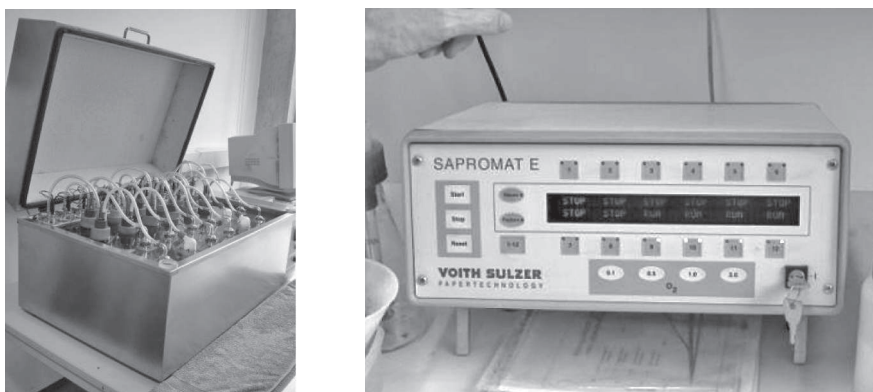
Respiracja (wskaźnik wytworzonego CO<sub>2</sub>/pobranego O<sub>2</sub>) może być rozpatrywana jako miara aktywności mikrobiologicznej kompostu. Wskaźnik ten ma szerokie zastosowanie w ocenie stabilizacji kompostu. Metoda ta pokazuje duże zapotrzebowanie na tlen kompostu niedojrzałego i wysokiego wskaźnika produkcji CO<sub>2</sub>, wynikających z intensywnego rozwoju mikroorganizmów, który spowodowany jest rozkładem łatwo biodegradowalnych frakcji materiału kompostowego. W późniejszych etapach procesu kompostowania następuje zmniejszenie zapotrzebowania materiału kompostowanego na tlen. Wynika to z faktu zmniejszonej na tym etapie ilości materii organicznej w kompoście, czyli większego udziału frakcji mineralnych, a tym samym większej stabilizacji kompostu [10].

Oznaczenia stopnia stabilizacji kompostu można dokonać na podstawie jednego z dwóch parametrów: ilości wydzielonego przez kompost CO<sub>2</sub> lub pobranego O<sub>2</sub>. Ilość wyprodukowanego CO<sub>2</sub> jest zależna od aktywności oddechowej [11]. Metody bazujące na wyznaczeniu ilości pobranego tlenu można podzielić na 2 grupy: dynamiczne i statyczne. Metody dynamiczne wykazują ciągłą potrzebę napowietrzania kompostu, natomiast w metodach statycznych próbka nie jest napowietrzana. Może to doprowadzić do niedoszacowania ilości pobranego tlenu, gdyż nie jest on rozproszony w całym materiale kompostowym. Tym problemom można zapobiec poprzez mieszanie i dotlenienie mikroorganizmów okresowym napowietrzaniem kompostu. Wytyczne dotyczące wymagań odnośnie do procesów kompostowania, fermentacji i mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów narzucają statyczną metodę AT<sub>4</sub> jako referencyjną metodę badania m.in. kompostów. Została ona wprowadzona w Austrii i Niemczech jako wskaźnik stabilizacji materiału kompostowanego [12].

### 4. Oznaczenie parametru AT<sub>4</sub> (aktywność oddechowa w ciągu czterech dni)

Parametr AT<sub>4</sub> (czterodniowe zapotrzebowanie na tlen) można oznaczać przy pomocy różnych urządzeń pomiarowych, np. SAPROMAT czy OxiTop.

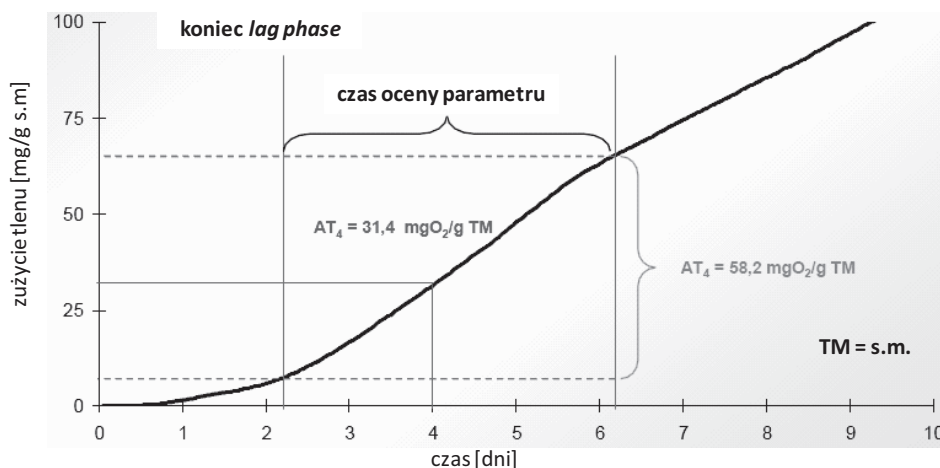
SAPROMAT (ryc. 1) składa się z zestawów złożonych z połączonych ze sobą: naczynia reakcyjnego, w którym umieszczana jest badana próbka oraz związek absorbujący  $CO_2$ ; elektrolizera, produkującego zużywany w trakcie procesu tlen oraz manometru. Zestawy te umieszczone są w łaźni wodnej (temperaturze  $20^\circ C$ ) i są podłączone do jednostki sterującej dozowanie tlenu oraz komputera wyposażonego w oprogramowanie do obróbki wyników.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 1. Zestawy SAPROMAT umieszczone w łaźni oraz jednostka sterująca dozowanie tlenu

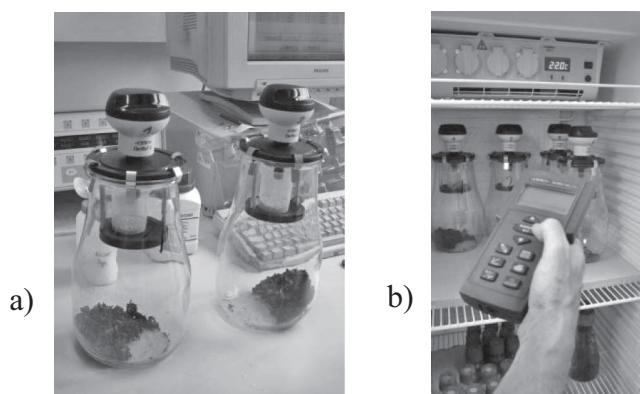
Około 30 g próbki, doprowadzonej do odpowiedniej wilgotności (test dłoni), umieszcza się w naczyniu reakcyjnym, zaopatrzonym w odpowiednią ilość związku absorbującego wytworzony  $CO_2$ . Po połączeniu całego zestawu, wykonuje się pomiary zużywanego w procesie tlenu w oparciu o pomiar podciśnienia. Rejestrowanych jest 360 punktów pomiarowych, co 28 minut. Odpowiada to prowadzeniu analizy przez 7 dni. Oceny  $AT_4$  dokonuje się na podstawie 206 punktów, co odpowiada 96 godzinom trwania testu od momentu zakończenia fazy przygotowawczej, której czas trwania należy ustalić przed przystąpieniem do oceny. Faza przygotowawcza (*lag phase*) kończy się, gdy średnia 3-godzinowego przedziału pomiaru osiąga 25% wartości średniej 3-godzinowego przedziału, w którym zapotrzebowanie tlenu było największe. Na rycinie 2 zaprezentowano przykładowy wykres zużycia tlenu w czasie wraz z zaznaczeniem końca fazy przygotowawczej. Od momentu zakończenia *lag phase* oblicza się ilość tlenu zużytej w ciągu 4 dni. Wartość parametru  $AT_4$  podawana jest w mg  $O_2$  na g s.m. z dokładnością do dwóch cyfr znaczących [13].



Źródło: Materiały szkoleniowe BOKU – University Vienna, Institute of Waste Management.

Ryc. 2. Przykładowy wykres zużycia tlenu w czasie z zaznaczoną fazą przygotowawczą

System OxiTop składa się z naczyń, w których umieszczany jest badany materiał, zamykanych szczelnie pokrywami wyposażonymi w sensor ciśnienia. Wewnątrz znajduje się naczynie zawierające związek absorbujący wytwarzany  $\text{CO}_2$ . Odczytu wartości podciśnienia wytworzonego w naczyniu dokonuje się za pomocą kontrolera. Wartość podciśnienia przeliczana jest na ilość zużytego w procesie tlenu. Podobnie jak w przypadku systemu SAPROMAT, przed przystąpieniem do oceny  $AT_4$  należy wyznaczyć długość trwania *lag phase*.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 3. Zestaw OxiTop: a) naczynia z próbką,  
b) naczynia umieszczone w szafie termostaticznej  
wraz z kontrolerem

Po wstąpieniu Polski do Unii Europejskiej nasz kraj zaczęły obowiązywać zasady wprowadzone we Wspólnocie. Nałożone limity sprawiają, że musimy ograniczyć ilość składowanych odpadów. Dokonać tego należy przez selektywną zbiórkę oraz mechaniczno-biologiczne przetworzenie odpadów niesegregowanych. Przed zdeponowaniem materiału na składowisku powinien on być bezpieczny. Do oceny stabilności kompostu (stabilizatu) służy m.in. parametr  $AT_4$ , ukazujący aktywność oddechową materiału. Wytyczne Ministerstwa Środowiska odnośnie do wymagań dotyczących procesów kompostowania, fermentacji i mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów określają dopuszczalną wartość tego parametru:

- dla instalacji oddanych do użytkowania do 31 grudnia 2012 r. w okresie do 31 grudnia 2020 r.  $AT_4 < 15 \text{ mg O}_2/\text{g s.m.}$ ;
- dla instalacji oddanych do użytkowania po 31 grudnia 2012 r.  $AT_4 < 10 \text{ mg O}_2/\text{g s.m.}$

W przypadku dwustopniowej stabilizacji wartość  $AT_4$  powinna wynosić  $AT_4 < 20 \text{ mg O}_2/\text{g s.m.}$  po pierwszym stopniu w reaktorze zamkniętym, a  $AT_4 < 15 \text{ mg O}_2/\text{g s.m.}$  ( $AT_4 < 10 \text{ mg O}_2/\text{g s.m.}$  dla instalacji oddanych do użytkowania po 31 grudnia 2012 r.) po drugim stopniu w przyzmach otwartych [14].

## 5. Podsumowanie

Parametr  $AT_4$ , ukazujący aktywność oddechową materiału, służy do oceny stabilności kompostu (stabilizatu). Konieczność wdrożenia pomiaru parametru  $AT_4$  jako uzupełnienie oceny stopnia ustabilizowania odpadów, obok wartości straty prażenia i TOC, zawarta jest w wytycznych dotyczących wymagań dla procesów kompostowania, fermentacji i mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów opracowanych przez Departament Gospodarki Odpadami Ministerstwa Środowiska. Dokument ten określa dopuszczalną wartość tego parametru dla przetworzonego materiału przeznaczonego do zdeponowania na składowisku odpadów.

## Literatura

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy, Dz.Urz. WE, L 312/3 z 22.11.2008 r.
- [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 7 września 2005 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu, Dz.U. z 2005 r. nr 186, poz. 1553.
- [3] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach, Dz.U. z 2007 r. nr 39, poz. 251.
- [4] Uchwała nr 217 Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2010 r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami 2014, „Monitor Polski” z 2010 r. nr 101, poz. 1183.
- [5] M ü n n i c h K., M a h l e r C.F., F r i c k e K., *Pilot project of mechanical-biological treatment of waste in Brazil*, „Waste Management” 2006, Vol. 26, s. 150–157.

- [6] Bayard R., de Araújo M.J., Ducom G., Achour F., Rouez M., Gourdon R., *Assessment of the effectiveness of an industrial unit of mechanical-biological treatment of municipal solid waste*, „Journal of Hazardous Materials” 2010, Vol. 175, s. 23–32.
- [7] Heermann C., *Using Mechanical-Biological Treatment for MSW in Europe*, „BioCycle” 2003, Vol. 44, No. 10, s. 58–62.
- [8] Kucharczak K., Stępień W., Gworek B., *Kompostowanie odpadów komunalnych jako metoda odzysku substancji organicznej*, „Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych” 2010, nr 42, s. 240–254.
- [9] [http://www.woiib.org.pl/contents/aktualnosci/POLEKO2007/Kompostowanie odpadów komunalnych.pdf](http://www.woiib.org.pl/contents/aktualnosci/POLEKO2007/Kompostowanie%20odpadow%20komunalnych.pdf) (13.10.2011).
- [10] Insam H., Franke-Whittle I., Goberna M., *Microbes at Work: From Wastes to Resource*, Springer, Heidelberg 2009.
- [11] Wagland S.T., Tyrrel S.F., Godley A.R., Smith R., *Test methods to aid in the evaluation of the diversion of biodegradable municipal waste (BMW) from landfill*, „Waste Management” 2009, Vol. 29, No. 3, s. 1218–1226.
- [12] Bóżyk M., *Wykorzystanie testów do oceny stopnia stabilizacji odpadów*, „Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” 2011, nr 7, s. 79–88.
- [13] Ö-NORM-Serie S 2027 Beurteilung von Abfällen aus der mechanisch-biologischen Behandlung.
- [14] *Wytyczne dotyczące wymagań dla procesów kompostowania, fermentacji i mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów (według stanu na dzień 15 grudnia 2008 r.)*, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2008.

EWELINA KILIAN  
AGNIESZKA MACEDOWSKA-CAPIGA

#### AT<sub>4</sub> PARAMETER AS AN INDICATOR OF STABILIZATION DEGREE OF WASTE FROM MECHANICAL-BIOLOGICAL TREATMENT

The guidelines on requirements for the processes of composting, fermentation and mechanical-biological treatment of waste issued by Department of Waste Management in the Ministry of the Environment suggest the necessity to implement the measurement of parameter AT<sub>4</sub> as an additional means for evaluation of waste stabilization degree in addition to L.O.I and TOC. This work includes characteristics of the mechanical-biological treatment of wastes and the description of the 4-days respiration activity AT<sub>4</sub> and methods of its determination.