

Radosław ŚLĘZAK, Liliana KRZYSTEK, Stanisław LEDAKOWICZ

e-mail: radoslaw.slezak@p.lodz.pl

Katedra Inżynierii Bioprocusowej, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

Wpływ czasu napowietrzania na stabilizację aerobowego składowiska odpadów – eksperymentalna symulacja w lizymetrach

Wstęp

Wraz z rozwojem cywilizacji można zaobserwować wzrost ilości produkowanych odpadów komunalnych. Najstarszą i najczęściej stosowaną metodą utylizacji odpadów komunalnych jest deponowanie na składowiskach. Do związków, które powodują duże zagrożenie dla środowiska ze strony odpadów, pomijając odpady niebezpieczne, które mogą się znajdować w odpadach, należą odpady biodegradowalne.

W konwencjonalnych anaerobowych składowiskach odpadów materia biodegradowalna jest rozkładana do dwutlenku węgla i metanu. Przez pewien okres powstający biogaz można wykorzystać do produkcji energii. Po tym okresie następuje powolna emisja biogazu, która może trwać przez okres kilkudziesięciu lat. Dodatkowe zagrożenie powodują odcieki, które są pośrednim produktem rozkładu materii organicznej zawartej w odpadach. Przyspieszenie procesów zachodzących w składowisku oraz uniknięcie niebezpiecznych produktów rozkładu materii organicznej można osiągnąć poprzez napowietrzanie odpadów (składowisko aerobowe).

Nową sytuację dotyczącą składowania odpadów biodegradowalnych określiła strategia redukcji odpadów biodegradowalnych przeznaczonych do składowania [Dyrektywa 99/31/WE, 1999] zakładająca, iż w 2010 r. deponowanych ma być nie więcej niż 75% sumy odpadów wytworzonych w roku 1995; w kolejnych latach procent ten ulega zmniejszeniu, tak aby w roku 2013 osiągnął 50%, a w 2020 jedynie 35% wartości bazowej.

Oprócz wymienionego planu, od roku 2013 obowiązuje w Polsce zakaz deponowania odpadów o wartości energetycznej powyżej 6 MJ/kg, tj. powyżej progu autotermiczności [Rozporządzenie Ministra Gospodarki, 2007]. Zmiana zawartości materii organicznej w odpadach spowoduje, że na składowisku anaerobowym będzie powstawało mniej biogazu. Z drugiej strony, zmniejszenie zawartości materii organicznej w składowiskach aerobowych spowoduje zmniejszenie zapotrzebowania na tlen.

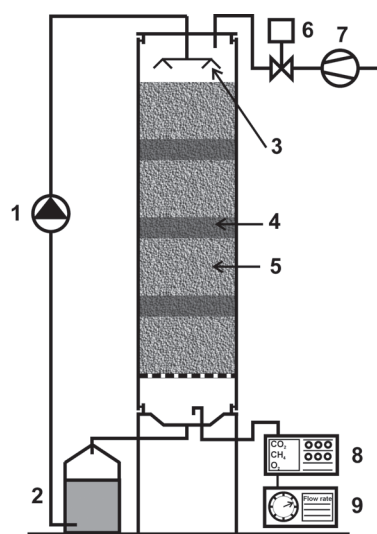
Badania doświadczalne symulacji składowiska aerobowego w lizymetrach (bioreaktorach) prowadzili między innymi: Erses i in. [2008], Borglin i in. [2004] oraz Bilgili i in. [2006, 2007]. Głównym produktem rozkładu biodegradowalnej materii organicznej w warunkach aerobowych jest dwutlenek węgla. Jedną z najistotniejszych wad aerobowego składowiska jest jego wysoka energochłonność związana z napowietrzaniem odpadów. W celu jej zmniejszenia należy określić najkrótszy czas napowietrzania, który pozwoli na ustabilizowanie odpadów. W literaturze przedmiotu stosowanym parametrem do określania ustabilizowania odpadów jest aktywność oddechowa odpadów (AT_4) oraz iloraz oddechowy (RQ).

Celem niniejszej pracy było przeprowadzenie symulacji doświadczalnych aerobowego składowiska w lizymetrach (bioreaktorach), w których odpady napowietrzano przez różny okres czasu. Ustabilizowanie odpadów określano za pomocą zmian wskaźników: ilorazu oddechowego i aktywności oddechowej.

Materiały i metody

Badania procesów zachodzących w składowisku odpadów komunalnych przeprowadzono w specjalnie zaprojektowanych lizymetrach (Rys. 1). Lizymetry o objętości roboczej 15 dm³, zbudowano z rury PCV o średnicy wewnętrznej 0,15 m i wysokości 1,15 m, którą szczelnie zamknięto od góry i dołu pokrywami, w których zainstalowano króćce do wprowadzania i odprowadzania gazów oraz odcieków. Lizymetry wyposażone były w system umożliwiający recyrkulację odcieków, na-

powietrzanie oraz usuwanie powstałego gazu. Układ recyrkulacji odcieków składał się z butli gromadzącej odcieki, pompy perystaltycznej (typ 101 U/R, WATSON MARLOW PUMPS) i zraszacza. Natomiast układ napowietrzania był złożony ze sprężarki oraz masowego kontrolera przepływu (model 5850TR, Emerson).



Rys. 1. Schemat lizymetru aerobowego (1 – pompa perystaltyczna, 2 – zbiornik na odcieki, 3 – zraszacz, 4 – kompost, 5 – odpady, 6 – masowy regulator przepływu, 7 – sprężarka, 8, 9 – analizator gazu)

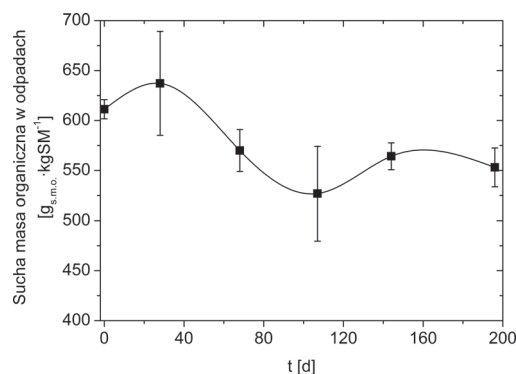
Lizymetry załadowywano modelowymi odpadami, których skład określono na podstawie analizy morfologicznej odpadów dla miasta Łodzi [Ledakowicz i Kaczorek, 2004]. Przyspieszenie rozpoczęcia procesów symulacji składowiska odpadów w lizymetrach uzyskano poprzez dodanie kompostu pochodzącego z Kompostowni Odpadów Zielonych w Łodzi. Warstwę odpadów rozdrobionych do wymiarów od 2 do 4 cm o wysokości 0,28 m, przesypano warstwą świeżego kompostu o wysokości 0,06 m. Lizymetry załadowywano 5 kilogramami odpadów modelowych, a następnie dodawano 5 litrów wody w celu zapewnienia odpowiedniej ilości odcieków do recyrkulacji i analiz. Badanie aerobowego składowiska prowadzono w pięciu lizymetrach, w których czas napowietrzania odpadów wynosił 28, 68, 107, 144, 196 dni. Szybkość napowietrzania odpadów była jednakowa we wszystkich lizymetrach i wynosiła 7,06 dm³·kgSM⁻¹·d⁻¹, a szybkość recyrkulacji odcieków była równa 0,080 dm³·kgSM⁻¹·d⁻¹.

W odpadach określano suchą masę, suchą masę organiczną oraz indeks oddychania AT_4 . W gazie wylotowym z lizymetrów określano stężenie CO₂, CH₄ oraz O₂ za pomocą analizatora gazu LMS GAS DATA. Suchą masę odpadów oraz suchą masę organiczną oznaczono zgodnie z normami [PN-EN 12880:2004; PN-EN 12879:2004]. Badanie aktywności oddechowej (AT_4) przeprowadzono w systemie pomiarowym OXITOP firmy WTW, o objętości 1 dm³ zgodnie z normą [ÖNORM S 2027-1:2004]. W butelce OXITOP umieszczano od 30 do 50 gramów odpadów pobranych bezpośrednio z lizymetru po zakończeniu napowietrzania.

Wyniki badań i dyskusja

Zawartość suchej masy

Podczas rozładunku okresowego lizymetrów aerobowych w odpadach oznaczano zawartość suchej masy organicznej (Rys. 2). Ze względu na małą jednorodność odpadów komunalnych, oznaczenie wykony-



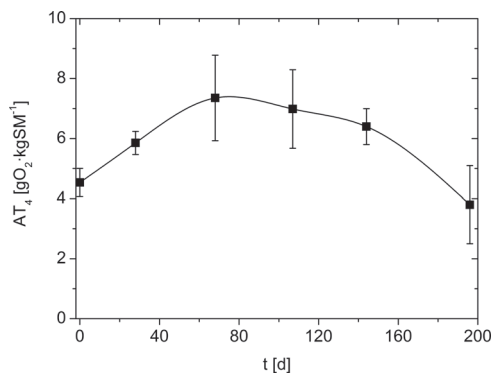
Rys. 2. Zmiany suchej masy organicznej w odpadach podczas napowietrzania

wano z potrójnym powtórzeniem ($n = 3$), a następnie wynik uśredniano i podawano odchylenie standardowe. Podczas napowietrzania odpadów występowało zmniejszanie się zawartości suchej masy organicznej, co było związane z rozkładem związków organicznych występujących w odpadach. Po 196 dniach napowietrzania zawartość suchej masy organicznej w odpadach wynosiła $553,0 \text{ g}_{\text{s.m.o.}} \cdot \text{kgSM}^{-1}$.

Aktywność oddechowa AT_4

W odpadach pochodzących z okresowego rozładunku lizymetrów aerobowych oznaczano także aktywność oddechową.

Oznaczanie aktywności oddechowej biomasy odpadów (AT_4) polega na badaniu intensywności procesów aerobowych (prowadzonych przez mikroorganizmy) poprzez pomiar ilości zużywanego tlenu. Im mniejsze zapotrzebowanie na tlen, tym odpady są bardziej ustabilizowane. Podczas pierwszych 70 dni napowietrzania zaobserwowano wzrost aktywności oddechowej, spowodowanej intensywną hydrolizą materii organicznej zawartej w odpadach (Rys. 3). W kolejnych dniach napowietrzania obserwowano zmniejszanie się aktywności oddechowej. Po 196 dniach napowietrzania wskaźnik AT_4 wyniósł $3,8 \text{ gO}_2 \cdot \text{kgSM}^{-1}$.

Rys. 3. Zmiany aktywności oddechowej AT_4 podczas napowietrzania lizymetrów

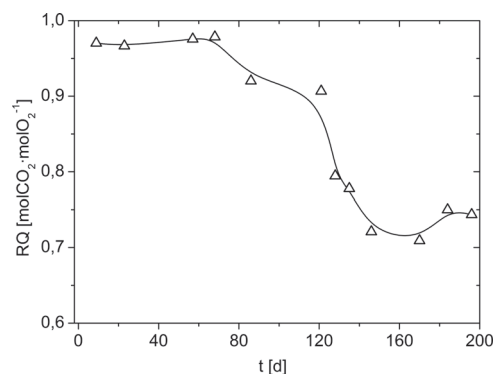
Z pracy Ritzkowskiego i in. [2006] wynika, że ustabilizowane odpady powinny mieć aktywność oddechową poniżej $4,0 \text{ gO}_2 \cdot \text{kgSM}^{-1}$.

Iloraz oddechowy RQ

Kolejnym wskaźnikiem określającym stabilizację badanego materiału jest iloraz oddechowy RQ (*Respiratory Quotient*), który wykorzystywany jest także do określania stabilności kompostu. Iloraz oddechowy RQ określa ilość wyprodukowanego CO_2 w odniesieniu do ilości zasymilowanego O_2 przez mikroorganizmy [Krzystek, 2010].

Podczas pierwszych 70 dni napowietrzania iloraz oddechowy (RQ) wynosił $0,98 \text{ molCO}_2 \cdot \text{molO}_2^{-1}$ (Rys. 4). W kolejnych dniach napowietrzania następowało obniżanie się wartości RQ. Po 196 dniach napowietrzania odpadów wartość ilorazu oddechowego wynosiła $0,76 \text{ molCO}_2 \cdot \text{molO}_2^{-1}$.

W pracach Gea i in. [2004] oraz Nakasaki i in. [1985] zaobserwowano, że proces kompostowania przebiegł prawidłowo, gdy wartość RQ jest poniżej $0,80 \text{ molCO}_2 \cdot \text{molO}_2^{-1}$.



Rys. 4. Zmiany ilorazu oddechowego RQ podczas napowietrzania lizymetrów

Wnioski

Przeprowadzone badania doświadczalnej symulacji składowiska aerobowego i anaerobowego w lizymetrach wskazują, że napowietrzanie odpadów przez 196 dni spowodowało obniżenie zawartości suchej masy organicznej w odpadach o 9,5% w porównaniu do wartości w dniu rozpoczęcia napowietrzania.

Analizując wskaźniki ustabilizowania odpadów zaobserwowano, że iloraz oddechowy RQ wskazuje na ustabilizowanie odpadów po 144 dniach napowietrzania. Natomiast analiza stabilności odpadów oparta na pomiarze aktywności oddechowej AT_4 , wskazuje na ustabilizowanie odpadów po 196 dniach napowietrzania. Odpady można uznać za ustabilizowane, gdy oba wskaźniki potwierdzają ustabilizowanie odpadów.

LITERATURA

- Bilgili M., Demir A., Ozkaya B., 2006. Quality and quantity of leachate in aerobic pilot-scale landfills. *Environ. Manage.*, **38**, nr 2, 189-196. DOI: 10.1007/s00267-005-0179-1
- Bilgili M., Demir A., Ozkaya B., 2007. Influence of leachate recirculation on aerobic and anaerobic decomposition of solid wastes. *J. Hazard. Mater.*, **143**, nr 1-2, 177-183. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.09.012
- Borglin S.E., Hazen T.C., Oldenburg C.M., Zawislanski P.T., 2004. Comparison of aerobic and anaerobic biotreatment of municipal solid waste. *J. Air Waste Manage. Assoc.*, **54**, nr 7, 815-822. DOI: 10.1080/10473289.2004.10470951
- Dyrektywa 99/31/WE Rady z dnia 26 kwietnia 1999 r. w sprawie składowania odpadów. Dz. Urz. WE L 182 z 16.07.1999, s. 1
- Erses A. S., Onay T.T., Yenigun O., 2008. Comparison of aerobic and anaerobic degradation of municipal solid waste in bioreactor landfills. *Biores. Tech.*, **99**, nr 13, 5418-5426. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.11.008
- Gea T., Barrena R., Artola A., Sanchez A., 2004. Monitoring the biological activity of the composting process: oxygen uptake rate (OUR), respirometric index (RI) and respirometry quotient (RQ). *Biotech. Bioeng.*, **88**, nr 4, 520-527. DOI: 10.1002/bit.20281
- Krzystek L., 2010. *Stechiometria i kinetyka bioprocusów*. Wyd. Pol. Łódzkiej, Łódź
- Ledakowicz S., Kaczorek K., 2004. The effect of advanced oxidation processes on leachate biodegradation in recycling lysimeters. *Waste Manag. Res.*, **22**, nr 3, 149-157. DOI: 10.1177/0734242X04044323
- Nakasaki K., Shoda M., Kubota H., 1985. Effect of temperature on composting of sewage-sludge. *Appl. Environ. Microbiol.*, **50**, 1526-1530
- ÖNORM S 2027-1:2004. *Beurteilung von Abfällen aus der mechanisch-biologischen Behandlung – Teil 1: Probenahme*
- PN-EN 12879:2004. *Charakterystyka osadów ściekowych – Oznaczanie strat przy prażeniu suchej masy osadu*
- PN-EN 12880:2004. *Charakterystyka osadów ściekowych – Oznaczanie suchej pozostałości i zawartości wody*
- Ritzkowski M., Heyer K.-U., Stegmann R., 2006. Fundamental processes and implications during in situ aeration of old landfills. *Waste Manage.*, **26**, nr 4, 356-372. DOI: 10.1016/j.wasman.2005.11.009
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dn. 12.06.2007 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu. Dz. U. z 2007, Nr 121, poz. 832

Pracę wykonano w ramach grantu promotorskiego 7645/B/H03/2011/40 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki w Krakowie.