

Agnieszka ZAWADZKA, Liliana KRZYTEK, Paweł STOLAREK, Stanisław LEDAKOWICZ

e-mail: krzystek@wipos.p.lodz.pl

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

Biologiczne suszenie osadów ściekowych i odpadów stałych w reaktorze okresowym

Wstęp

Pozyskiwanie energii ukrytej w materiałach odpadowych przyczynia się do zachowania zasobów naturalnych, obniżenia emisji metanu i tlenku węgla oraz innych środowiskowych korzyści (obniżenie emisji SO_2 , NO_x , pyłów). Z tego też powodu, procesy biologiczne prowadzące do produkcji odpadopochodnego paliwa, jak proces biosuszenia materii organicznej, umożliwiając produkcję kompostu lub paliwa z odpadów, cieszą się dużym zainteresowaniem. Autotermiczna degradacja materii organicznej, gdzie doprowadzone powietrze rozpoczyna aerobowy rozkład, który generuje wystarczającą ilość ciepła do jej podsuszenia, jest opcją szczególnie interesującą z punktu widzenia kosztów. Biologiczne suszenie powoduje ubytek wilgoci, jednocześnie zachowując wartość kaloryczną otrzymanego stałego „paliwa”. Odpady ogrzewają się same w wyniku rozkładu łatwodegradowalnej części substancji organicznych. Prowadzi to do zmniejszenia zawartości wilgoci oraz zaniku rozkładu biologicznego, w wyniku czego powstaje stabilne, nadające się do składowania paliwo [1–3].

Celem niniejszej pracy były badania procesów biologicznego suszenia mieszaniny osadów ściekowych i organicznej frakcji stałych odpadów komunalnych w różnych warunkach procesowych tak, aby otrzymać paliwo stałe o dobrej zawartości energii.

Materiały i metody

Badania doświadczalne przeprowadzono w poziomym reaktorze o pojemności 240 dm^3 , zaizolowanym pianką poliuretanową, aby zapobiec stratom ciepła. Odpady, w ilości ok. 20 kg umieszczano na perforowanej płycie, w której znajdowały się otwory (sumaryczna powierzchnia przekroju otworów $0,76 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$). Reaktor był wyposażony w czujniki temperatury masy odpadów w warstwie górnej i dolnej, temperatury powietrza w reaktorze nad masą odpadów oraz temperatury i wilgotności powietrza wlotowego i wylotowego.

W badaniach wykorzystano organiczną frakcję stałych odpadów komunalnych (wysegregowaną na sitach o oczkach 20/80 mm w *Sortowni Odpadów Komunalnych* w Łodzi) oraz uwodniony osad ściekowy (*Oczyszczalnia Ścieków, Łódź*) i odwodniony osad ściekowy (*Oczyszczalnia Ścieków, Zgierz*). Wilgotność początkowa masy odpadów kierowanych do reaktora wynosiła powyżej $800 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Do suszonej masy odpadów doprowadzano powietrze za pomocą nagrzewnicy kanałowej i wentylatora kanałowego o wydajności $86,35 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ i temperaturze 35°C przez 2–6 h tylko na początku procesu. Wentylator wyciągowy o wydajności $27,34 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ użyto do usuwania wilgotnego powietrza. Czas pracy wentylatora wyciągowego kontrolowano automatycznie w zależności od temperatury kompostowanych odpadów.

Wyniki i dyskusja

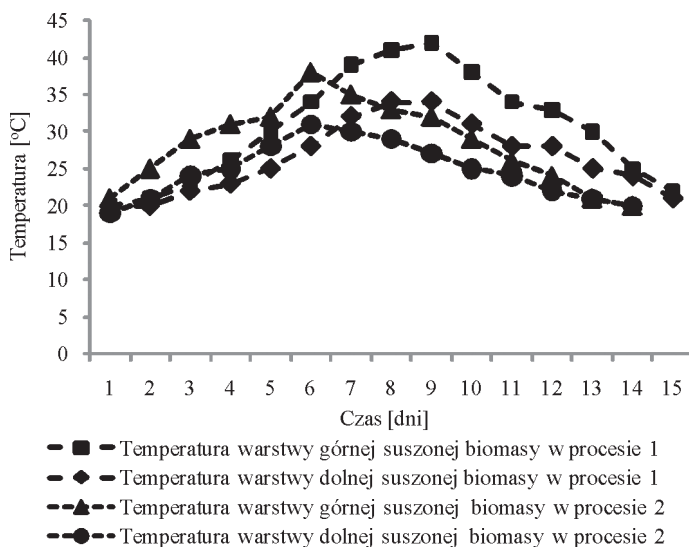
W pracy przeprowadzono cztery serie badawcze, dla różnych ilości doprowadzanego ciepłego powietrza (w procesie nr 1 – $99,78 \text{ m}^3$; w procesie nr 2 – $51,40 \text{ m}^3$; w procesie nr 3 – $22,86 \text{ m}^3$; w procesie nr 4 – $55,20 \text{ m}^3$). W procesie 1 i 2 wykorzystano mieszaninę organicznej frakcji miejskich odpadów stałych, roślinny materiał strukturalny i uwodniony osad ściekowy w ilości: proces 1 – 1,49 kg; proces 2 – 0,94 kg, natomiast w procesie 3 i 4 jako substrat wykorzystano także miesz-

ninę organicznej frakcji miejskich odpadów stałych, roślinny materiał strukturalny oraz odwodniony osad ściekowy w ilości: 1 kg – proces 3 i 2 kg proces – 4.

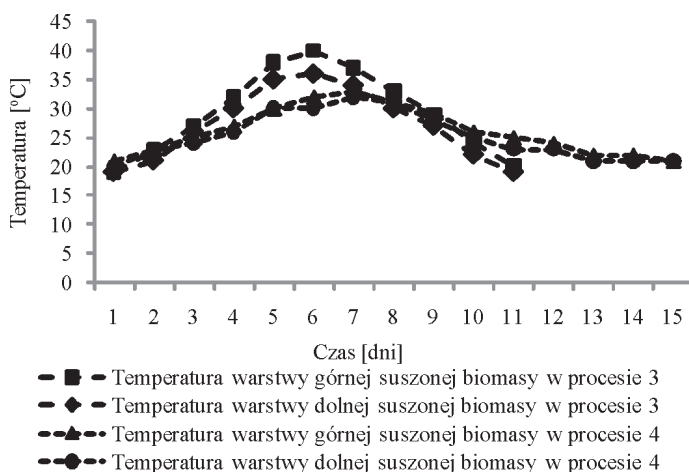
W procesie 1, w którym zawartość początkowa wilgoci wynosiła $860 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, otrzymano zawartość końcową wilgoci na poziomie $479 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. W procesie 2 uzyskano najniższą zawartość wilgoci końcowej – $395 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, przy zawartości początkowej wilgoci $848 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. W procesie 3 stwierdzono najwyższą zawartość wilgoci końcowej ($510 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, zawartość początkowa $813 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), natomiast w procesie 4 uzyskano końcową zawartość wilgoci na zbliżonym poziomie jak w procesie 1 – $413 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (zawartość początkowa wilgoci $850 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Najwyższe usunięcie wilgoci (53,4 oraz 51,4%) stwierdzono dla procesu 2 i 4, najniższe dla procesu 3 (37,3%).

Rys. 1 i 2 przedstawiają zmiany temperatury w warstwie górnej i dolnej masy odpadów dla procesów 1–4. W przeprowadzonych procesach biologicznego suszenia najwyższą temperaturę masy odpadów uzyskano w procesie 1 – ok. 43°C , natomiast najniższą w procesie 4 – 33°C .



Rys. 1. Zmiany temperatury w warstwie górnej i dolnej suszonej biomasy dla procesów 1 i 2



Rys. 2. Zmiany temperatury w warstwie górnej i dolnej suszonej biomasy dla procesów 3 i 4

Charakter zmian temperatury górnej i dolnej warstwy suszonej masy odpadów był zbliżony. Najwyższą temperaturę suszonej masy odpadów w procesie 1 stwierdzono w 9 dobie procesu, w procesach 2 i 3-6 dnia procesu, a w czwartym – 7 dnia procesu.

Na podstawie mierzonych parametrów takich jak: początkowa i końcowa masa suszonej masy odpadów, początkowa i końcowa zawartość wilgoci w odpadach, ilość doprowadzonego powietrza do masy odpadów oraz temperatura i wilgotność powietrza wlotowego i wylotowego, sporządzono bilans energii i obliczono ciepło biologiczne produkowane w wyniku egzotermicznej aktywności metabolicznej drobnoustrojów obecnych w masie odpadów (Tab. 1 i 2).

Tab. 1. Rezultaty procesu biosuszenia dla procesów 1 i 2

Parametr	Proces	
	1	2
Początkowa masa wody [kg]	17,71	17,05
Woda odparowana [kg]	13,39	14,01
Entalpia na wlocie [kJ/kg]	37,71	36,11
Entalpia na wylocie [kJ/kg]	49,67	48,07
Ciepło na wlocie [kJ]	9254,94	93708,26
Ciepło na wylocie [kJ]	121884,10	124767,0
Ciepło odprowadzone z powietrzem odlotowym [kJ]	29340,18	31058,71
Ciepło biologiczne [kJ/kg biomasy]	1424,28	1529,98
Ciepło biologiczne [kW/kg biomasy]	0,0011	0,0013
Ciepło biologiczne [W/m ³ biomasy]	240	270

Tab. 2. Rezultaty procesu biosuszenia dla procesów 3 i 4

Parametr	Proces	
	3	4
Początkowa masa wody [kg]	16,01	18,53
Woda odparowana [kg]	11,52	14,84
Entalpia na wlocie [kJ/kg]	47,09	54,47
Entalpia na wylocie [kJ/kg]	52,33	63,93
Ciepło na wlocie [kJ]	138068,90	176298,20
Ciepło na wylocie [kJ]	153417,10	206905,0
Ciepło odprowadzone z powietrzem odlotowym [kJ]	15348,19	30606,83
Ciepło biologiczne [kJ/kg biomasy]	779,09	1403,98
Ciepło biologiczne [kW/kg biomasy]	0,0008	0,0011
Ciepło biologiczne [W/m ³ biomasy]	170	250

W przeprowadzonych procesach najwyższą wartość ciepła biologicznego otrzymano dla procesu 2 z osadem uwodnionym (270 W/m³), natomiast w procesie 3 z osadem odwodnionym wartość ciepła biologicznego była najniższa i wynosiła 170 W/m³. W procesach 2 i 4 uzyskano zbliżone wartości ciepła z procesów biologicznych na poziomie 240 W/m³ i 250 W/m³.

Wyznaczone wartości ciepła spalania i wartości opałowej wysuszonej masy odpadów były następujące: proces 1 – 17,45 i 16,17 kJ/g; proces 2 – 14,79 i 13,51 kJ/g, proces 3 – 16,53 i 15,25 kJ/g, proces 4 – 15,18 i 13,89 kJ/g.

Uzyskany materiał po procesie biologicznego suszenia poddano procesowi pirolizy i zgazowania w *Instytucie Energetyki* w Warszawie [4]. Tab. 3 przedstawia uzyskane wyniki.

Tab. 3. Skład produktu zgazowania i wydajność składników produktu zgazowania

Produkt	Skład produktu zgazowania [%mol]	Wydajność składników [g/g karbonizatu]
Etan	0,13	0,002
Eten	0,13	0,002
Propan	0,06	0,001
Metan	1,34	0,013
Wodór	15,84	0,019
Tlenek węgla	82,37	1,337

Wysuszony materiał ulegał pirolizie w temperaturze 100°C-420°C pod wpływem dostarczonego ciepła z wydzieleniem karbonizatu, gazu oraz smoły. Głównymi składnikami gazu pirolitycznego był ditlenek węgla, tlenek węgla, wodór i metan.

Karbonizat otrzymany w wyniku pirolizy, ulegał dalszej pirolizie w temperaturze 420–800°C z wydzieleniem między innymi wodoru i metanu, a także reakcji allotermicznego zgazowania w obecności ditlenku węgla z wydzieleniem tlenku węgla.

Podsumowanie

W przeprowadzonych procesach biologicznego suszenia uzyskano ok. 50% usunięcie wilgoci. Autotermiczne suszenie materii organicznej o wysokiej zawartości wilgoci (ok. 850 g·kg⁻¹) umożliwiło otrzymanie wysuszonego materiału o wartości opałowej ok. 14,7 kJ/g i ciepła spalania ok. 16,0 kJ/g. Najwyższe wartości ciepła z procesów biologicznych: 270 i 250 W/m³ stwierdzono w procesach przy zawartości początkowej wilgoci ok. 840 g·kg⁻¹ oraz zbliżonej ilości doprowadzonego ciepłego powietrza (ok. 50 m³). Uzyskane wyniki przeprowadzonych procesów pirolizy i zgazowania pokazują, że otrzymany produkt końcowy jest dobrym biopaliwem.

LITERATURA

- [1] M. Sugni, E. Calcaterra, F. Adani: *Bioresource Technology*, 96, 1331 (2005).
- [2] G. Tita, G. Viviani, D. Sabella: *Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium*, Cagliari, 1-5 October, Italy, Proceedings Sardinia, 1 (2007).
- [3] F. Adani, D. Baido, E. Calcaterra, P. Genevini: *Bioresource Technology*, 83, 174 (2002).
- [4] J. Ilmurzyńska, A. Celińska: *Badania laboratoryjne pirolizy i zgazowania dla dostarczonego paliwa*, Prace Instytutu Energetyki, Warszawa, 2009.