

Mateusz MALINOWSKI<sup>1</sup> i Katarzyna WOLNY-KOŁADKA<sup>2</sup>

## BADANIA PROCESU SAMONAGRZEWANIA SIĘ PALIWA ALTERNATYWNEGO WYTWARZANEGO ZE ZMIESZANYCH ODPADÓW KOMUNALNYCH

### INVESTIGATION OF THE SELF-HEATING PROCESS OF AN ALTERNATIVE FUEL DERIVED FROM MUNICIPAL SOLID WASTE

**Abstrakt:** Paliwa alternatywne (RDF) znane są jako stabilne i bezpieczne źródła energii dla przemysłu cementowego i energetycznego zarówno pod względem mikrobiologicznym, jak i sanitarnym. Pomimo to w literaturze opisano wiele przypadków samozapłonu paliw alternatywnych w czasie ich magazynowania. Przeprowadzone badania wstępne wykazały, że przy zastosowaniu sita o średnicy oczka 80 mm do paliwa alternatywnego wytwarzanego ze zmieszanych odpadów komunalnych przedostają się odpady ulegające biodegradacji, w tym: papier, odpady organiczne, drewno itp. Udział tych odpadów w paliwie zawiera się w przedziale 11-29%. Znaczący udział odpadów ulegających biodegradacji w paliwie oraz mikroorganizmy, które je zasiedlają, są główną przyczyną samonagrzewania się tego źródła energii. Podstawowym celem badań była analiza procesu samonagrzewania się magazynowanego w przyłomie paliwa alternatywnego od momentu jego wytworzenia aż do czasu ustabilizowania się temperatury. Analizy przeprowadzono w instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów komunalnych w Krakowie w okresie od września 2013 do sierpnia 2014 roku. W celu określenia zmian temperatury w czasie wykorzystano technikę termograficzną, a także system pomiarowy firmy APAR, składający się z 3 czujników temperatury PT100, umieszczonych na różnej głębokości przyłomu. Ponadto przeanalizowano zmiany zawartości tlenu wewnątrz przyłomu oraz wstępnie oceniono różnorodność mikroorganizmów zasiedlających paliwo. Badania wykazały, iż rozkład temperatury wewnątrz przyłomu magazynowanego paliwa nie jest jednakowy. Maksymalna osiągnięta temperatura wynosiła 76°C. W przyłomie stwierdzono obecność grzybów pleśniowych, promieniowców oraz bakterii roślinnych i spoczynkowych. Wyizolowano także drobnoustroje chorobotwórcze (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Enterococcus faecalis* i *Clostridium perfringens*), stanowiące zagrożenie dla zdrowia osób pracujących przy instalacji do wytwarzania paliwa alternatywnego.

**Słowa kluczowe:** odpady komunalne, paliwo alternatywne (RDF), mikroorganizmy

### Wprowadzenie

Paliwo alternatywne wytwarzane jest najczęściej ze zmieszanych odpadów komunalnych w instalacjach mechaniczno-biologicznego przetwarzania w procesie sortowania [1, 2] lub biologicznego suszenia [3, 4]. Ponadto do produkcji paliwa wykorzystuje się uciążliwe dla środowiska odpady, np. osady ściekowe, zużyte opony, odpady zwierzęce, biomasę pochodzenia rolniczego, trociny, wióry i inne substancje [5-9].

Paliwo dla cementowni wytwarzane ze zmieszanych stałych odpadów komunalnych powinno charakteryzować się odpowiednimi standardami jakościowymi w celu zapewnienia właściwego poziomu ochrony środowiska [10] oraz bezpieczeństwa ludzi pracujących w strefie bezpośredniego kontaktu z paliwem. Na jakość paliwa wpływa

<sup>1</sup> Zakład Infrastruktury Technicznej i Ekoenergetyki, Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, ul. Balicka 116b/311, 30-149 Kraków, tel. 12 662 46 60, email: Mateusz.Malinowski@ur.krakow.pl

<sup>2</sup> Katedra Mikrobiologii, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, al. A. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków

\* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'14, Jarnołtówek, 15-17.10.2014

przede wszystkim zastosowana technologia jego wytwarzania. Paliwa generowane w wyniku mechanicznego sortowania odpadów komunalnych z wykorzystaniem rozdrabniaczy, separatorów, np. bębnowych, pneumatycznych i/lub magnetycznych, mogą stanowić źródło zagrożenia o charakterze mikrobiologicznym ze względu na drobnoustroje, które przedostały się do paliwa z surowca do ich wytwarzania - zmieszanych odpadów komunalnych. Zróżnicowany skład gatunkowy populacji mikroorganizmów rozwijających się w paliwie alternatywnym nie został jak dotąd wystarczająco rozpoznany, tymczasem jest jednym z głównych powodów wzrostu temperatury w magazynowanym paliwie. Mikroorganizmy, przetwarzając materię organiczną, wytwarzają w tym procesie ciepło. Proces ten umożliwia przeprowadzenie np. kompostowania lub stabilizacji tlenowej, w czasie których substancje organiczne zawarte w odpadach ulegających biodegradacji transformowane są w substancje mineralne, a temperatura procesu samoistnie wzrasta do poziomu 65°C. Niestety znane są przypadki samozapłonu paliwa w czasie magazynowania [11-13]. Hogland i Marques [14] podają, iż przypadki samozapłonu magazynowanego w pryzmach paliwa były obserwowane nawet po 6 miesiącach od momentu jego wytworzenia.

Celem badań było przeprowadzenie analizy zmian temperatury wewnątrz pryzmy magazynowanego paliwa alternatywnego oraz wstępna ocena zróżnicowania mikroorganizmów zasiedlających to paliwo. Ponadto w artykule przedstawiono wyniki analizy składu morfologicznego paliwa alternatywnego oraz jego podstawowych właściwości paliwowych.

## **Materiał i metody**

Analizy wykonano w przedsiębiorstwie MIKI Recykling Sp. z o.o. w Krakowie. Materiał do badań stanowiło paliwo alternatywne wytworzone ze zmieszanych stałych odpadów komunalnych pochodzących z terenu Aglomeracji Krakowskiej. Paliwo było formowane w nienapowietrzane pryzmy - graniastosłupy o prostokątnej podstawie (6 x 10 metrów) i wysokości 3 metrów. Pomiary temperatury i właściwości paliwowych wykonywano raz na kwartał od 15 września 2013 roku do 20 sierpnia 2014 roku. Trzy próbki o masie 100 g do badań mikrobiologicznych pobrano w sposób jałowy z pryzmy na głębokości 1 metra w sierpniu 2014 roku. Analizowane paliwo alternatywne generowane jest w 100% ze zmieszanych odpadów komunalnych o granulacji ponad 80 mm (po wcześniejszym wysortowaniu odpadów o granulacji do 80 mm, a także metali żelaznych, szkła, PCV oraz PCB).

### *Pomiar zmian temperatury w pryzmie*

Temperaturę paliwa mierzono 2 metodami. W pierwszej metodzie wykorzystano 3 czujniki temperatury PT100. Czujniki, zamocowane na sondach o różnej długości, umieszczano na głębokości: 0,1, 1 oraz 2 m od zewnętrznej ściany pryzmy. Ponadto monitorowano w pryzmie zawartość tlenu. Wyniki pomiarów zapisywane były przez 10 dni przez system kontrolno-pomiarowy firmy APAR. Analizę powtórzono 3 razy w każdym kwartale. Druga metoda polegała na wykorzystaniu kamery termograficznej ThermoCAM e300 firmy FLIR i rejestrowaniu promieniowania podczerwonego przez okres 72 godzin (pomiaru wykonywano 2 razy dziennie o godzinie 7.00 i 19.00). Uzyskane termogramy

przeanalizowano w programach QuickReport 1.2 oraz Reporter 2000 Pro. Termogramy wykonywano w różnych miejscach przyzmy po odsłonięciu warstwy 1-1,5 m magazynowanego paliwa przez spycharkę. Termogramy, na których zarejestrowano obsypanie się paliwa, zostały wyłączone z analizy. Pomiar promieniowania podczerwonego emitowanego przez paliwo pozwolił na określenie zmian temperatury w całym przekroju przyzmy. Termogramy wykonywano w różnych miejscach przyzmy. Współczynnik emisyjności paliwa ustalono na 0,95.

#### *Analiza składu morfologicznego*

Analiza składu morfologicznego paliwa alternatywnego obejmowała wydzielenie 10 grup odpadów: tworzywa sztuczne, odpady organiczne, drewno, papier i tektura, szkło, metal, tekstylia, odpady wielomateriałowe, odpady inertne oraz frakcję poniżej 2 mm (piasek, pyły). Przeanalizowano 60 próbek paliwa (o masie około 2 kg każda), po 15 próbek w każdym kwartale. Na podstawie składu morfologicznego określono udział odpadów ulegających biodegradacji zgodnie z metodyką przyjętą za KPGO 2014 [15] oraz [16]. Pozostałe badania wykonano zgodnie z następującymi normami:

1. PN-EN 15443-2011 Stałe paliwa wtórne - Metody przygotowania próbki laboratoryjnej [17],
2. PN-EN 15400-2011 Stałe paliwa wtórne - Oznaczanie wartości opałowej [18],
3. PN-EN 15403-2011 Stałe paliwa wtórne - Oznaczanie zawartości popiołu [19],
4. PN-EN 15414-3-2011 Stałe paliwa wtórne - Oznaczanie zawartości wilgoci metodą suszarkową - część 3: wilgoć w ogólnej próbce analitycznej [20].

#### *Analiza mikrobiologiczna*

Izolację mikroorganizmów wykonano metodą seryjnych rozcieńczeń wg Kocha, wykorzystując szereg podłoży mikrobiologicznych. Badano wybrane grupy drobnoustrojów: bakterie ogólne wegetatywne i spoczynkowe (agar bakteriologiczny, BTL), grzyby pleśniowe (agar glukozowo-ziemniaczany PDA, BTL) oraz promieniowce (agar Pochona, BTL). Analizie poddano również występowanie bakterii chorobotwórczych: *Staphylococcus* spp. (agar Chapmana, BTL), *Escherichia coli* (agar Endo, TBX agar, BTL), *Salmonella* spp. i *Shigella* spp. (agar SS, BTL), *Enterococcus faecalis* (podłoże Slanetz Bartley, BTL), *Clostridium perfringens* (podłoże Wilson-Blaira, BTL).

#### **Analiza wyników**

W tabeli 1 zaprezentowano strukturę morfologiczną paliwa alternatywnego wytwarzanego na instalacji firmy MIKI Recykling Sp. z o.o. w Krakowie w okresie od września 2013 do sierpnia 2014 roku. Analiza post-hoc (test Tukeya) nie wykazała istotnych różnic pomiędzy średnimi udziałami poszczególnych grup odpadów zawartych w paliwie alternatywnym produkowanym w różnych porach roku. Pomimo iż frakcja nadsitowa, która wydzielona jest ze zmieszanych odpadów komunalnych w ramach separacji na sicie bębnowym (średnica ziaren ponad 80 mm), jest następnie poddawana dodatkowej klasyfikacji powietrznej, w gotowym paliwie nadal znajdują się znaczne ilości odpadów ulegających biodegradacji. Udział tych odpadów zawiera się w przedziale od 11 do 29% (średnia roczna: 22,8%) i jest wyższy niż w badaniach prowadzonych przed

1 lipca 2013 roku [21], co może wynikać ze zmian, jakie nastąpiły w strukturze zmieszanych odpadów komunalnych. W składzie grupowym odpadów po 1 lipca 2013 roku obserwowane jest zmniejszenie się udziału odpadów opakowaniowych (szczególnie tworzyw i szkła) oraz wzrost odsetka tekstyliów, odpadów wielomateriałowych oraz organicznych.

Paliwo poddane analizie charakteryzowało się wilgotnością w zakresie od 19 do 44% (średnia dla całego roku:  $30,8 \pm 5,4\%$ ). Ciepło spalania wynosiło  $22,25 \pm 0,6 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ , zawartość popiołów:  $9,6 \pm 3,7\%$ , natomiast wartość opałowa kształtowała się na poziomie  $14,1 \pm 3 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Ze względu na niską jakość uzyskanego paliwa (bardzo wysoka zawartość wody) było ono kierowane do procesu biologicznego suszenia prowadzonego w specjalistycznych kontenerach. Przed rozpoczęciem procesu biosuszenia paliwo alternatywne formowano w pryzmy (w celach badawczych) i magazynowano w hali magazynowo-produkcyjnej.

Tabela 1

Skład morfologiczny paliwa alternatywnego w różnych porach roku

Table 1

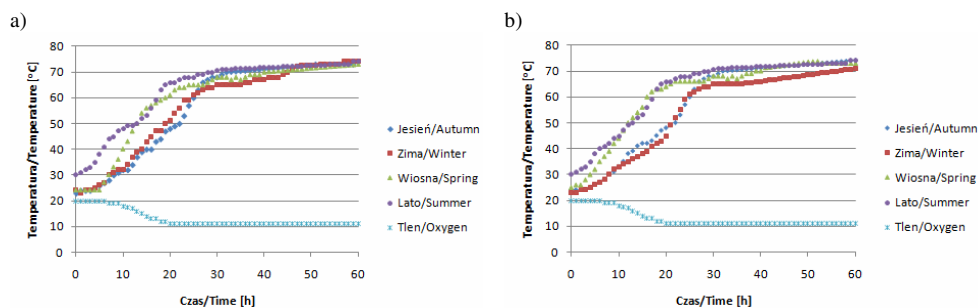
Morphological composition of an alternative fuel manufactured in the seasons

Lp.	Grupa morfologiczna odpadów / Waste group	Jesień / Autumn	Zima / Winter	Wiosna / Spring	Lato / Summer
		$\pm SD^*$	$\pm SD^*$	$\pm SD^*$	$\pm SD^*$
		[%]	[%]	[%]	[%]
1	Tworzywa sztuczne / Plastics	$64,0 \pm 4,2$	$65,0 \pm 4,3$	$62,8 \pm 2,6$	$65,6 \pm 5,1$
2	Odpady organiczne / Organic waste	$4,0 \pm 0,9$	$3,7 \pm 1,2$	$3,8 \pm 1,5$	$3,6 \pm 1,0$
3	Drewno / Wood	$4,0 \pm 1,2$	$3,1 \pm 0,5$	$3,1 \pm 1,4$	$3,9 \pm 0,7$
4	Papier / Paper	$12,6 \pm 2,9$	$12,1 \pm 1,8$	$12,5 \pm 2,1$	$11,3 \pm 2,7$
5	Tekstylia / Textiles	$4,2 \pm 0,9$	$4,4 \pm 1,6$	$4,7 \pm 2,0$	$2,9 \pm 1,6$
6	Szkło / Glass	$0,5 \pm 0,3$	$0,3 \pm 0,2$	$0,2 \pm 0,1$	$0,2 \pm 0,1$
7	Metal / Metal	$0,6 \pm 0,8$	$0,5 \pm 0,6$	$0,3 \pm 0,3$	$0,3 \pm 0,2$
8	Odpady wielomateriałowe / Composite waste	$3,5 \pm 0,8$	$3,2 \pm 1,2$	$3,1 \pm 0,9$	$3,5 \pm 0,9$
9	Odpady inerte i inne / Inert waste	$1,4 \pm 1,0$	$1,5 \pm 1,5$	$2,8 \pm 1,8$	$2,2 \pm 2,3$
10	Frakcja poniżej 2 mm / Undersize fraction	$5,3 \pm 2,0$	$6,3 \pm 3,5$	$6,8 \pm 4,0$	$6,6 \pm 2,8$

\*SD - odchylenie standardowe

Temperatura paliwa w chwili jego wygenerowania (po rozdrobnieniu końcowym) wynosiła średnio  $24 \pm 2,5^\circ\text{C}$ . Najwyższą temperaturę paliwa (tuż po wygenerowaniu) zaobserwowano w kwartale letnim ( $31^\circ\text{C}$ ). W wyniku pomiarów stwierdzono brak znaczącego przyrostu temperatury paliwa na głębokości 0,1 m od ściany pryzmy. Średnia temperatura paliwa na tej głębokości zawierała się w zakresie  $24\text{--}32^\circ\text{C}$  (brak istotnych różnic pomiędzy średnimi temperaturami w kwartałach). Samonagrzewanie się paliwa w pryzmie na głębokości 1 i 2 m przebiegało podobnie w każdym z kwartałów (rys. 1a i 1b). W kwartałach wiosennym i letnim pryzma magazynowanego paliwa po 19-24 godzinach osiągała temperaturę  $65^\circ\text{C}$ . Osiągnięcie takiej temperatury w procesie samonagrzewania powinno zagwarantować dezaktywację większości drobnoustrojów,

w tym mikroorganizmów chorobotwórczych [22]. W kwartałach jesiennym i zimowym temperatura 65°C osiągnięta była w czasie od 27 do 40 godzin. Maksymalna zaobserwowana temperatura procesu samonagrzewania się paliwa wynosiła 76°C i dla analizowanego czasu trwania procesu była porównywalna z wynikami badań Hoglanda i Marquesa [14]. Proces samonagrzewania się paliwa do momentu uzyskania temperatury 65°C zachodził w podobnym tempie jak w przypadku osadów ściekowych [23] (około 24 godziny) oraz znacznie szybciej niż w przypadku zmieszanych odpadów komunalnych umieszczonych w specjalnych kontenerach (ponad 40 godzin) [24, 25]. Udział tlenu w powietrzu wypełniającym wolne przestrzenie w paliwie zmniejszył się w ciągu 18-20 godzin do poziomu 11%. Zawartość tlenu na poziomie 10-11% utrzymywała się przez cały czas magazynowania paliwa. W kwartale letnim zawartość tlenu w jednym z cykli zmniejszyła się do 6%.

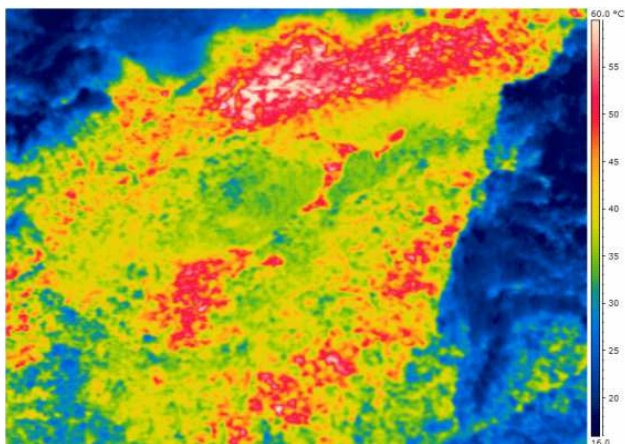


Rys. 1. Zmiany temperatury w pryzmie paliwa alternatywnego w czasie magazynowania: a) na głębokości 1 m, b) na głębokości 2 m

Fig. 1. Changes of alternative fuel temperature during storage: a) the depth of 1 m, b) the depth of 2 m

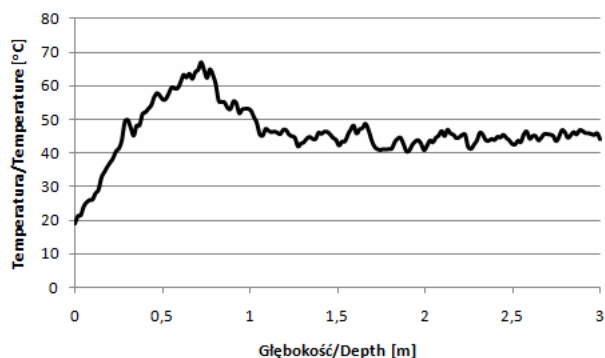
Pomiar samonagrzewania się paliwa z wykorzystaniem kamery termograficznej wykazał zróżnicowany rozkład temperatury w pryzmie paliwa (rys. 2 i 3). Wysoka temperatura (ponad 50°C) w pryzmie była obserwowana na każdym z wykonanych termogramów. Temperatura powierzchni pryzmy wynosiła od 8 do 24°C (średnia 18,4°C) i zmieniała się w zależności od pory roku i temperatury zewnętrznej. Na głębokości do około 0,5 m temperatura wzrastała do około 60°C i następnie do głębokości około 1-1,5 m utrzymywała się w zakresie 55-70°C. W pryzmie na głębokości ponad 1 m wartość temperatury zawierała się w przedziale 40-60°C, co pokazano na rysunkach 2 i 3. We wszystkich pomiarach termograficznych najcieplejszym miejscem pryzmy był obszar na głębokości 0,5-1 metra. Wysoka temperatura była również obserwowana na głębokościach ponad 1 m. Obszary o wysokiej temperaturze (ponad 50°C) tworzyły na termogramie ciepłe plamy. Niezbędne jest wykonanie szczegółowych badań w kierunku określenia przyczyny występowania tych cieplejszych obszarów.

W wyniku wstępnej izolacji wybranych grup drobnoustrojów stwierdzono w paliwie alternatywnym obecność bakterii vegetatywnych i spoczynkowych, grzybów pleśniowych oraz promieniowców, które uczestniczą w rozkładzie materii organicznej zawartej w odpadach. Wykryto także mikroorganizmy chorobotwórcze, tj.: *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Enterococcus faecalis* i *Clostridium perfringens*.



Rys. 2. Termogram przekroju poprzecznego pryzmy paliwa alternatywnego

Fig. 2. Thermal image of an alternative fuel (prism cross-section)



Rys. 3. Średnia temperatura wewnątrz pryzmy paliwa alternatywnego

Fig. 3. Average temperature inside the prism of alternative fuel

## Wnioski

Udział odpadów ulegających biodegradacji na poziomie 22,8% oraz wysoka różnorodność drobnoustrojów zasiedlających paliwo alternatywne niewątpliwie przyczynia się do samonagrzewania magazynowanego paliwa. Maksymalna zanotowana temperatura wewnątrz pryzmy paliwa wynosiła 76°C. Najwyższe temperatury paliwa alternatywnego odnotowywano na głębokości od 0,5 do 1 m od ściany pryzmy.

Zarówno surowce służące do produkcji paliwa alternatywnego, jak i samo paliwo nie powinny stanowić zagrożeń mikrobiologicznego dla osób pracujących przy przetwarzaniu tych odpadów. Stąd niezwykle interesujące z poznawczego punktu widzenia jest szczegółowe określenie liczebności i składu gatunkowego drobnoustrojów zasiedlających paliwo z odpadów. Drobnoustroje mogą wpływać na właściwości paliwa alternatywnego, ale również stanowić zagrożenie dla osób uczestniczących w jego produkcji.

## Podziękowania

Praca została sfinansowana ze środków BM 4626. Dziękujemy właścicielom firmy MIKI Recykling Sp. z o.o. w Krakowie za nieodpłatne przekazanie materiału badawczego.

## Literatura

- [1] Skutan S, Brunner H. Metals in RDF and other high calorific value fractions from mechanical treatment of MSW: Analysis and sampling errors. *Waste Manage Res.* 2012;30:7:645-655. DOI: 10.1177/0734242X12442740.
- [2] Malinowski M. Selected properties of an alternative fuel manufactured from municipal solid waste. *Infrastruct Ecol Rural Areas.* 2013;2013/4/2:125-139. [http://www.infraeco.pl/pl/art/a\\_17260.htm?plik=1520](http://www.infraeco.pl/pl/art/a_17260.htm?plik=1520).
- [3] Ragazzi M, Rada EC. RDF/SRF evolution and MSW bio-drying. *WIT Trans Ecol Environ.* 2012;163:199-208. DOI: 10.2495/WM120191.
- [4] Dębicka M, Żygadło M, Latosińska J. Investigations of bio-drying process of municipal solid waste. *Ecol Chem Eng A.* 2013;20(12):1461-1470. DOI: 10.2428/ecea.2013.20(12)132.
- [5] Celińska A, Marek E. Potencjał paliw odpadowych do wykorzystania w kompleksach agrotechnicznych. *Paliwa z Odpadów.* 2009;7:11-22.
- [6] Karcz H, Kantorek M, Głabik R, Grabowicz M, Szczepaniak S. Energetyczny recykling odpadów zwierzęcych. Cz. 2. Proces termicznej utylizacji mączki w prototypowej instalacji doświadczalnej. *Paliwa z Odpadów.* 2009;7:285-294.
- [7] Oleniacz R. Assessment of the impact of using alternative fuels in the cement klin on the emissions of selected substances into the air. *Waste Energy Environ.* 2011;1:37-49.
- [8] Wzorek M. Wpływ dodatku lepszycy na właściwości paliwa z osadów ściekowych i mułu węglowego. *Paliwa z Odpadów* 2009;7:45-52.
- [9] Ariyaratne WKH, Melaen MC, Tokheim LA. Determination of biomass fraction for partly renewable solid fuels. *Energy.* 2014;70:1:465-472. DOI: 10.1016/j.energy.2014.04.017.
- [10] Mokrzycki E, Uliasz-Bocheńczyk A, Sarna M. Use of alternative fuels in the Polish cement industry. *Appl Energy.* 2003;74:101-111. DOI: 10.1016/S0306-2619(02)00136-8.
- [11] Yasuhara A, Amano Y, Shibamoto T. Investigation of the self-heating and spontaneous ignition of refuse-derived fuel (RDF) during storage. *Waste Manage.* 2010;30:1161-1164. DOI: 10.1016/j.wasman.2009.11.003.
- [12] Yasuhara A. Chemical consideration on spontaneous incineration accidents of refuse-derived fuels and exothermic reaction mechanism. *J Japan Soc Safety Eng.* 2006;45:117-124.
- [13] Gao L, Hirano T. Process of accidental explosions at a refuse derived fuel storage. *J Loss Prev Process Ind.* 2006;19:288-291. DOI: 10.1016/j.jlp.2005.05.016.
- [14] Hogland W, Marques M. Physical, biological and chemical processes during storage and spontaneous combustion of waste fuel. *Resources Conserv Recyclng.* 2003;40:53-69. DOI: 10.1016/S0921-3449(03)00025-9.
- [15] KPGO 2014. Krajowy Plan Gospodarki Odpadami na lata 2010-2014. MP Nr 101, poz. 1183.
- [16] Jędrzak A. Skład sitowy i morfologiczny odpadów komunalnych na terenie powiatu zgorzeleckiego. Raport końcowy. Zielona Góra: Instytut Inżynierii Środowiska UZ; 2011.
- [17] PN-EN 15443-2011 Stałe paliwa wtórne - Metody przygotowania próbki laboratoryjnej.
- [18] PN-EN 15400-2011 Stałe paliwa wtórne - Oznaczanie wartości opałowej.
- [19] PN-EN 15403-2011 Stałe paliwa wtórne - Oznaczanie zawartości popiołu.
- [20] PN-EN 15414-3-2011 Stałe paliwa wtórne - Oznaczanie zawartości wilgoci metodą suszarkową. Część 3: Wilgoć w ogólnej próbie analitycznej.
- [21] Malinowski M, Sikora J. Wpływ zawartości odpadów ulegających biodegradacji na właściwości paliwa alternatywnego z odpadów. *Proc ECOpole.* 2014;8(1):223-230. DOI: 10.2429/proc.2014.8(1)029.
- [22] Jędrzak A, Haziak K. Określenie wymagań dla kompostowania i innych metod biologicznego przetwarzania odpadów. Zielona Góra; 2005.
- [23] Winkler MKH, Bennenbroek MH, Horstink FH, van Loosdrecht MCM, van de Pol GJ. The biodyring concept: An innovative technology creating energy from sewage sludge. *Bioresour Technol.* 2013;147:124-129. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.07.138.
- [24] Sugni M, Calcaterra E, Adani F. Biostabilization-biodyring of municipal solid waste by inverting air-flow. *Bioresour Technol.* 2005;96:1331-1337. DOI: 10.1016/j.biortech.2004.11.016.

- [25] Adani F, Baido D, Calcaterra E, Genevini P. The influence of biomass temperature on biostabilization-biodrying of municipal solid waste. *Bioresour Technol.* 2002;83:173-179. DOI: 10.1016/S0960-8524(01)00231-0.

## INVESTIGATION OF THE SELF-HEATING PROCESS OF AN ALTERNATIVE FUEL DERIVED FROM MUNICIPAL SOLID WASTE

<sup>1</sup> Institute of Agricultural Engineering and Computer Science, <sup>2</sup> Department of Microbiology  
University of Agriculture in Krakow

**Abstract:** Alternative fuel (RDF) has been known as a stable and safe solid-fuel (in terms of microbiological and sanitary) for cement and power plant. However, some spontaneous ignition incidents occurred during storage of RDF in certain facilities. As introductory research proves, the morphological composition of an alternative fuel manufactured from mixed municipal solid waste reveals such bio-degradable components as paper, organics, wood, etc. The share of those components in an alternative fuel (examined with the use of an 80 millimeter sifter) is in the range 11-29%. A significant share of biodegradable waste in the fuel and the high variety of microorganisms that colonize them are a major cause of self-heating is this energy source. The main aim of the study was to analyze the self-heating process in heap of alternative fuel since its manufacture until the temperature stabilizes. Analyses were carried out in the installation of mechanical - biological treatment of municipal solid waste in Krakow in the period from September 2013 to August 2014. To determine temperature changes during process, the thermographic technique was used, and the APAR measurement system consisting of three PT100 temperature sensors (placed at different depths of heap). The oxygen content inside the heap and the variety of microorganisms inhabiting RDF was analyzed too. Research has shown that the temperature distribution inside heap of stored fuel is not uniform. The presence of mold fungi, actinomycetes, as well as vegetative and spore-forming bacterial cells were found in the heap. Pathogenic microorganisms (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Enterococcus faecalis* and *Clostridium perfringens*), which pose threat to the health of people working with the installation for the production of alternative fuel, were also isolated.

**Keywords:** municipal solid waste, alternative fuel (RDF), microorganisms