



Badania nad otrzymywaniem kompozytowego biopaliwa energetycznego z udziałem pofermentacyjnej biomasy ściekowej

*Jan Hehlmann, Wiesław Szeja,
Maciej Jodkowski, Piotr Benducki
Politechnika Śląska, Gliwice*

1. Wprowadzenie

W związku z wprowadzeniem „Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych”, którego celem jest budowa lub modernizacja oczyszczalni ścieków, ilość powstających osadów ściekowych, zakwalifikowanych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska (Dz.U. 2001/112/1206) jako odpad, znacząco wzrasta. Obecnie znaczącym kierunkiem ich zagospodarowania jest składowanie, jednak zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki i Pracy (Dz.U. 2005/186/1553 z późn. zm.) od dnia 1 stycznia 2013 roku wprowadzony zostanie zakaz składowania między innymi osadów ściekowych o wartości opałowej co najmniej 6 MJ/kg s.m. Poszukiwanie nowych metod zagospodarowania osadów ściekowych staje się więc koniecznością.

Ze względu na znaczną zawartość związków organicznych wynoszącą 30÷85% s.m., zawartość substancji nawozowych oraz wartość opałową 10÷20 MJ/kg, dominuje tendencja przyrodniczego i energetycznego

wykorzystania osadów ściekowych [1]. Zagospodarowanie przyrodnicze wiąże się ze spełnieniem warunków zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska odnośnie zawartości metali ciężkich i występowania patogenów (DzU 2010/137/924). Przy wykorzystaniu energetycznym główną rolę odgrywają metody termiczne, których realizacja wymaga spełnienia wymagań zawartych w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki dotyczącym prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów (DzU 2002/37/339 z późn. zm).

Z analizy stosowanych obecnie metod przeróbki osadów ściekowych wynika, że najbardziej opłacalne ekonomicznie są procesy biologiczne, które ze względu na niecałkowitą higienizację przy skróconym czasie ich trwania, nie mogą stanowić ostatniego etapu przekształcania. Najlepszym sposobem utylizacji osadów ściekowych jest spalanie, jednak ich kwalifikacja jako odpadu stwarza bariery prawne ograniczające stosowanie tego procesu. Rozwiązaniem mogłoby być opracowanie technologii pozwalającej na przetworzenie osadów na komponenty biopaliwa spełniającego wymagania energetyki zawodowej, co jednocześnie przyczyniłoby się do spełnienia dyrektywy Unii Europejskiej w sprawie 20% aplikacji biopaliw w procesie wytwarzania energii elektrycznej.

2. Badania procesu biokonwersji biomasy pofermentacyjnej

Celem prezentowanego programu badawczego jest opracowanie substytutu paliwowego o dominującej zawartości biomasy, szczególnie biomasy resztkowej pochodzącej z procesu beztlenowej fermentacji ścieków. Biomasa po fermentacji metanowej zawiera chorobotwórcze patogeny i dotychczas jest higienizowana za pomocą wapna, niemniej obecność przetrwalników klasyfikuje ją nadal jako odpad niebezpieczny. Koncepcja prezentowanej metody, zmierza do uzyskania kwalifikowanego biopaliwa poprzez sekwencyjną konwersję biostruktury pofermentacyjnej biomasy i polega na:

- poddaniu pofermentacyjnej zawiesiny działaniu pola sił ścinających powodującego destrukcję błon komórkowych, co prowadzi do zaniku patogenów i zwiększenia ekspozycji cieczy, a w konsekwencji do wzrostu efektywności ich odwadniania w procesie filtracyjnym,
- formowaniu kompozytowego biosurogatu paliwowego zaszczepionego mikroorganizmami tlenowymi, które poprzez ekspresyjny rozwój

prowadzą do biokonwersji biomasy z eliminacją mikroorganizmów beztlenowych,

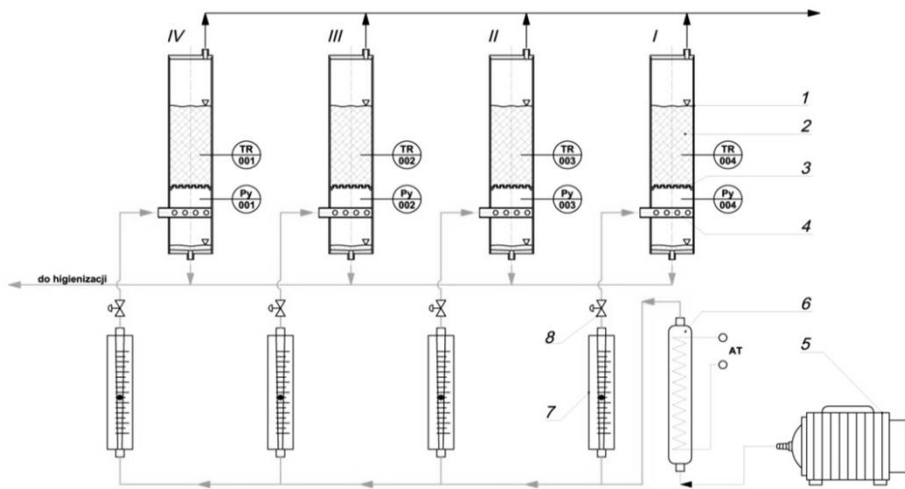
- zastosowaniu pola mikrofalowego powodującego silny wzrost temperatury w wodzie wolnej i płynach wewnątrz komórkowych, co prowadzi do destrukcji mikroorganizmów i zwiększenia efektywności procesu suszenia biomasy przy wspomagającym działaniu suszenia promiennikowego.

Wśród biologicznych procesów tlenowych, wykorzystywanych do przetwarzania odwodnionego osadu, największe znaczenie ma kompostowanie. Proces ten prowadzi do częściowej mineralizacji i humifikacji materii organicznej. W przemianach mikrobiologicznych biorą udział mikroorganizmy występujące w kompostowanej masie, wśród których główną rolę odgrywają bakterie termofilne, czego odzwierciedleniem jest wzrost temperatury złoża do około 70°C, powodujący niszczenie organizmów chorobotwórczych. Przy kompostowaniu osadów, poddanych wcześniej procesowi fermentacji metanowej, posiadających niższą zawartość substancji organicznych, niezbędny jest dodatek łatwo rozkładalnych związków, których źródłem jest przeważnie organiczna frakcja odpadów. Optymalny zakres wilgotności złoża w procesie wynosi 40÷50%, dlatego stosuje się dodatek materiału strukturotwórczego (kora drzewna, trociny) zapewniającego nie tylko obniżenie wilgotności, ale też utworzenie porowatej struktury złoża gwarantującej właściwe napowietrzenie [1, 2]. Prowadzono badania nad intensyfikacją procesu poprzez dodatek kultur startowych zawierających szczepy bakterii termofilnych [5, 6] lub grzybów [7], uzyskując podwyższenie temperatury i skrócenie czasu trwania procesu.

Kompostowanie, ze względu na towarzyszące mu odparowanie wody, wykorzystywane jest w procesie tak zwanego biosuszenia. Kluczowymi parametrami w tym przypadku są parametry powietrza na wlocie do reaktora (temperatura, wilgotność, natężenie przepływu) oraz temperatura złoża. Powietrze dostarcza tlen niezbędny w procesach biologicznych oraz odprowadza wilgoć ze złoża. Temperatura złoża wpływa na szybkość biodegradacji związków organicznych, więc w kontekście otrzymywania stałego biopaliwa korzystne jest jej utrzymanie na poziomie 45°C, co osiągnąć jest poprzez regulację natężenia przepływu powietrza [8]. Laboratoryjne badania procesu biosuszenia osadów ściekowych wraz z odpadami organicznymi przeprowadzano zarówno w reaktorach o okresowym [9] i ciągłym [10] trybie pracy.

2.1. Opis stanowiska badawczego

Badania biokonwersji surogatów paliwowych prowadzono na stanowisku badawczym, którego schemat przedstawiono na rys. 1. Stanowisko składa się z czterech zaizolowanych cieplnie bioreaktorów (1) o średnicy wewnętrznej 100 mm, sprężarki powietrza (5), podgrzewacza powietrza (6), czterech rotametrów (7) wyposażonych w zawory regulacyjne (8). Mieszanke osadu ściekowego wraz z dodatkami (2) umieszcza się na dnie sitowym (3). Powietrze do bioreaktora doprowadzane jest króćcem deflektorowym (4).



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego biokonwersji surogatów paliwowych, AT – autotransformator; TR – pomiar temperatury; Py – pomiar ciśnienia

Fig. 1. Scheme of installation for fuel surrogates bioconversion; AT – autotransformer; TR – temperature measurement; Py – pressure measurement

2.2. Metodyka i wyniki badań

Badania przeprowadzono z zastosowaniem przedmuchu powietrza o regulowanej temperaturze (w zakresie $20 \div 50^\circ\text{C}$) i regulowanym natężeniu przepływu w zakresie $0,1 \div 2,0 \text{ dm}^3/\text{min}$ na 1 kg mieszanki poddawanej biokonwersji. Składniki użyte do sporządzania mieszanek zestawiono w tabeli 1. Dodatek mułu węglowego ma na celu podwyższenie wartości opałowej surogatu celem zapewnienia autotermiczności jego spalania. Po-

zostałe składniki (oprócz osadu) stanowią czynnik strukturotwórczy i dodatkowe źródło biodegradowalnej materii. Wilgotność składników wyznaczano za pomocą wagosuszarki w temperaturze 105°C.

Tabela 1. Składniki mieszanek poddawanych biokonwersji

Table 1. Ingredients of mixtures for bioconversion process

Składnik	Wilgotność
pofermentacyjny osad ściekowy	80,2% mas.
muł węglowy	5,2% mas.
lignoceluloza	20,2% mas.
trociny	9,6% mas.
trawa	67,7% mas.

Ze względów utylitarnych złoża zaszczepiano dwoma rodzajami biopreparatów:

- immobilizowane mikroorganizmy saprofityczne przeznaczone do rozkładu odpadów i przyspieszenia procesów kompostowania,
- uniwersalny preparat do kompostowania.

Jako dodatki wysokowęglowodanowe zastosowano mieszanki następujących składników: sacharoza, mąka pszenna, olej rzepakowy, bio-faza glicerolowa, mieszanina bioalkoholi C₂...C₅.

Wstępne badania procesu biokonwersji pozwoliły sformułować następujące wnioski i spostrzeżenia:

- 1) Optymalne natężenie przepływu wynosi 0,2 dm³/min w przeliczeniu na 1 kg mieszanki. Zbyt duże natężenie przepływu powoduje obniżenie temperatury złoża hamujące rozwój mikroorganizmów.
- 2) Największą różnicę pomiędzy temperaturami złoża i powietrza (około 18 K) zaobserwowano stosując powietrze o temperaturze 25°C. Temperaturę tę potraktowano jako optymalną z punktu widzenia rozwiązania docelowego.
- 3) Czas osiągnięcia maksymalnej temperatury złoża (zbliżonej dla obu biopreparatów) jest o około 90 minut krótszy w przypadku zastosowania uniwersalnego preparatu do kompostowania.
- 4) Biokonwersja mieszanki składników wymienionych w tabeli 1 wymaga dodatku materiału wysokowęglowodanowego. W zależności od ilości i rodzaju zastosowanego dodatku osiągnięto temperatury

złoża w granicach 30÷45°C. Ze względu na koszt dodatku i osiąganą temperaturę mieszanki stwierdzono, że racjonalnym będzie zastosowanie biofazyglicerolowej i mieszaniny bioalkoholi (alkohole fu-zlowe).

Przeprowadzono badania z uwzględnieniem zmienności składu i wytypowano eksperymentalny skład surogatów poddawanych biokonwersji (tabela 2).

Tabela 2. Skład surogatów paliwowych poddawanych procesowi biokonwersji
Table 2. Composition of fuel surrogates for bioconversion process

Składnik	Zawartość
biomasa pofermentacyjna [*]	70% mas.
muł węglowy	(10...20)% mas.
lignoceluloza	(0...10)% mas.
trociny	(0...5)% mas.
biofaza glicerolowa	(4...5)% mas.
mieszanina bioalkoholi	1% mas.

^{*})biomasę w stanie zawiesiny przed filtracją poddano działaniu pola sił ścinających wytworzonego przez przepływowy dissolver

Zaszczepione mieszanki formowano, uzyskując sferyczne kształtki o średnicy 20 mm w osnowie lignocelulozy, które następnie umieszczano w bioreaktorach. Proces biokonwersji przeprowadzono z przedmuchem powietrza o temperaturze 25°C i natężeniu przepływu 0,2 dm³/min na 1 kg suchej masy.

Skład poszczególnych mieszanek oraz ubytek wody po procesie biokonwersji w przeliczeniu na jedną kształtkę zestawiono w tabeli 3. Przebieg zmian temperatury złoża podczas biokonwersji przedstawiono na rys. 2. Był on zbliżony dla wszystkich mieszanek. Analizując wyniki badań (tabela 3) można zauważyć, iż w trakcie 24 h procesu biokonwersji uzyskuje się średnio 60% redukcję zawartości wody w surogacie paliwowym, co przekłada się na jego wilgotność końcową około 38%. Suszenie kształtek intensyfikują przemiany mikrobiologiczne powodujące wzrost temperatury złoża do wartości 43°C i utrzymywanie się temperatury powyżej 40°C przez ponad 10 godzin (rys. 2). Stosunkowo niedługi

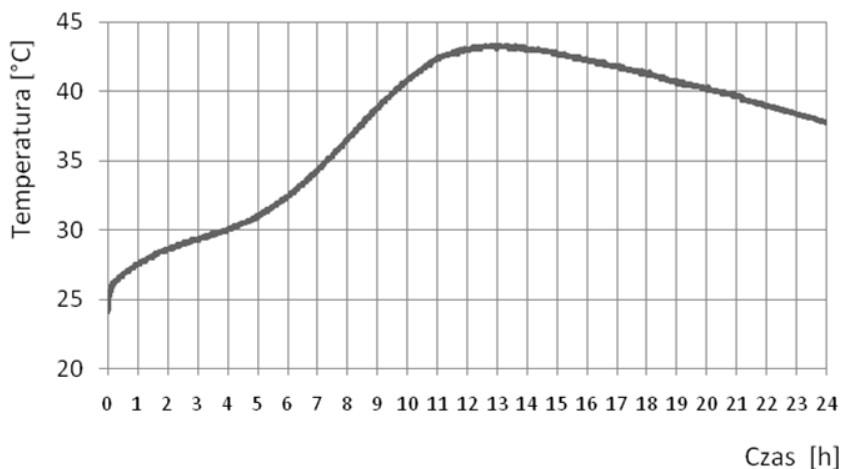
czas osiągnięcia temperatury maksymalnej (około 13 godzin) pozwala na zakończenie procesu biokonwersji już po 24 h. Dalsze prowadzenie procesu jest; – z jednej strony nierealne ze względu na spadek temperatury związany z zahamowaniem przemian mikrobiologicznych, czego przyczyną jest wyczerpanie składników odżywczych i spadek zawartości wody, niezbędnej dla funkcjonalizacji procesów mikrobiologicznych, – zaś z drugiej strony, wynika z założeń projektowych instalacji produkcyjnej, która będzie pracowała okresowo – w cyklu dobowego dostarczania biomasy do przerobu, przy czym uzyskiwany surogat ma właściwości spełniające kryteria biopaliwa energetycznego.

Tabela 3. Skład oraz ubytek masy wody mieszanek poddawanych biokonwersji
Table 3. Composition and water losses of mixtures subjected to bioconversion process

skład	nr bio- reakt.	masa [g]		wilgotność [%]		sucha masa [g]	masa pocz. wody [g]	ubytek wody		
		0 h	24 h	pocz.	końc.			[g]	[%]	
1	O-70 M-20	1	13,82	8,81	60,0	37,2	5,53	8,29	5,01	60,4
	T-5	2	13,90	8,83	60,0	37,0	5,56	8,34	5,07	60,8
	G-4	3	13,73	8,42	60,0	34,8	5,49	8,24	5,31	64,5
	F-1	4	13,77	8,52	60,0	35,3	5,51	8,26	5,25	63,6
2	O-70, M-20,	1	13,23	8,34	62,2	40,0	5,00	8,23	4,89	59,4
	L-5,	2	13,84	8,75	62,2	40,2	5,23	8,61	5,09	59,1
	G-4,	3	13,57	8,57	62,2	40,1	5,13	8,44	5,00	59,2
	F-1	4	14,04	8,69	62,2	38,9	5,31	8,73	5,35	61,3
3	O-70, M-10,	1	13,99	8,77	61,1	37,9	5,45	8,54	5,22	61,1
	L-10,	2	14,54	9,27	61,1	38,9	5,66	8,88	5,27	59,3
	T-4, G-5,	3	14,02	8,82	61,1	38,1	5,46	8,56	5,20	60,7
	F-1	4	13,99	8,69	61,1	37,3	5,45	8,54	5,30	62,0

O – biomasa pofermentacyjna, M – muł węglowy, L – lignoceluloza, T – trociny, G – glicerol, F – bioalkohole

Temperatura osiągnięta w procesie biokonwersji surogatów paliwowych nie jest dostatecznie wysoka by zapewnić właściwą higienizację mieszanki, dlatego konieczne jest zastosowanie kolejnego etapu przetwarzania surogatów, którego celem jest zniszczenie patogenów.



Rys. 2. Zmiany temperatury złoża podczas procesu biokonwersji

Fig. 2. Temperatures change during bioconversion process

3. Badania procesu biokonwersji z użyciem energii mikrofal

Mikrofałe w technologii osadów ściekowych wykorzystywane są głównie do ich kondycjonowania przed procesem odwadniania [11]. Prowadzone są również badania nad zastosowaniem mikrofal do higienizacji osadów ściekowych [12, 13]. Ze względu na znaczne uwodnienie osadów ściekowych, cechują się one polaryzacją dipolową, dzięki czemu mają zdolność konwersji mikrofal na energię cieplną. W wyniku wzrostu ciśnienia wewnątrzkomórkowego następuje rozerwanie błon komórkowych. Przyczyną dezaktywacji mikroorganizmów jest także termiczna denaturacja białek.

3.1. Metodyka i wyniki badań

Kształtki surogatu paliwowego, po zakończonym procesie biokonwersji, poddawane były działaniu mikrofal. Na podstawie przeprowadzonych badań dobrano moc mikrofal wynoszącą 300 W oraz czas trwania ekspozycji wynoszący 3 minuty. Zmierzono ubytek masy wody bezpośrednio po zastosowaniu mikrofal oraz po upływie 24 h. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Zestawienie wyników badań procesu konwersji mikrofalowej
Table 4. Research results of microwave conversion process

skład	nr bioreakt.	masa [g]			wilgotność [%]			temp. wewnątrz kształtki *) [°C]
		po biokonwersji	po mikro-falach	po 24 h	po biokonwersji	po mikro-falach	po 24 h	
1	1	8,81	7,77	7,53	37,2	28,8	26,5	93,5
	2	8,83	7,79	7,55	37,0	28,6	26,3	94,2
	3	8,42	7,43	7,20	34,8	26,1	23,8	93,6
	4	8,52	7,52	7,28	35,3	26,7	24,3	93,3
2	1	8,34	7,18	6,89	40,0	30,3	27,4	92,4
	2	8,75	7,53	7,23	40,2	30,5	27,6	93,1
	3	8,57	7,38	7,08	40,1	30,4	27,5	92,4
	4	8,69	7,48	7,18	38,9	29,0	26,1	93,5
3	1	8,77	7,36	7,07	37,9	26,0	23,0	95,3
	2	9,27	7,78	7,47	38,9	27,2	24,2	94,1
	3	8,82	7,40	7,10	38,1	26,2	23,1	95,2
	4	8,69	7,29	7,00	37,3	25,3	22,2	95,2

*) temperatura wewnątrz kształtki po ekspozycji w polu mikrofalowym

Dzięki zastosowaniu mikrofal uzyskano obniżenie wilgotności kształtki biopaliwa na poziomie do ok. 28%, która po 24 godzinnej stabilizacji spada do około 26%. Następnie kształtki powierzchniowo posypywano wapnem (CaCO_3) co zapewnia ich efektywną higienizację a jednocześnie wprowadza element pierwotnego odsiarczania energetycznej mieszanki paliwowej. Dodatkowo uzyskano stabilizację mechaniczną na całej powierzchni kształtki do wartości zapewniającej jej bezpieczne konfekcjonowanie i transport. Wzrost temperatury wewnątrz kształtek wpływa na zwiększenie efektu higienizacyjnego. Dalsze obniżenie wilgotności biopaliwa przebiega w czasie jego kondycjonowania i mielenia wraz z węglem energetycznym do kotłów pyłowych. Należy jednak zwrócić uwagę na korzystną obecność wody w procesie spalania, powoduje ona bowiem przyspieszenie dopalania CO do CO_2 [14].

4. Badania ciepła spalania otrzymanych surogatów paliwowych

Badania ciepła spalania otrzymanego biopaliwa przeprowadzono zgodnie z Polską Normą PN-81/G-04513 kalorymetrem statycznym KL-12Mn. Wyniki zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Wyniki badań ciepła spalania otrzymanego biopaliwa
Table 5. Research results of obtained biofuel combustion heat

Skład (wg tab. 4)	wilgotność [%]	ciepło spalania [MJ/kg]	zawartość popiołu [%]
1	25,23	18,919	16,9
2	27,15	18,567	16,9
3	23,13	16,619	16,7

5. Koncepcja instalacji do wytwarzania kompozytowego biopaliwa na bazie osadów ściekowych

Wyniki badań modelowych pozwoliły na opracowanie koncepcji instalacji, której schemat przedstawiono na rys. 3. Sposób i układ do wytwarzania biomasy energetycznej z biokomponentów, a w szczególności z biomasy pofermentacyjnej, jest przedmiotem zgłoszenia patentowego [15]. Celem zaprezentowanej metody jest produkcja stałego kompozytowego biopaliwa, w skład którego oprócz biomasy ściekowej (około 70% mas.) wchodzi takie komponenty jak: frakcja węglowa (muł węglowy, pył węglowy, szlam poflotacyjny, sedyment), lignoceluloza, drobnocząsteczkowa frakcja drewna i/lub łodyg roślinnych, biofaza glicerolowa oraz mieszanina bioalkoholi.

Koncepcja instalacji (rys. 3) zakłada, że po zakończonej fermentacji metanowej, zawiesina przepływa z zamkniętej wydzielonej komory fermentacji WKFz (1) przez mechaniczny (2) i ultradźwiękowy (3) dezintegrator komórkowy do filtra ramowego (4). W filtrze (4) następuje odfiltrowanie biomasy pofermentacyjnej, którą kieruje się do węzła mieszania (5), natomiast filtrat kierowany jest z powrotem na wlot oczyszczalni ścieków. W węzle mieszania następuje zmieszanie osadu pofermentacyjnego z pozostałymi komponentami i wyselekcjonowanymi kulturami bakterii aerobowych. Z węzła mieszania (5) surogat paliwowy

W trakcie całego procesu biokonwersji, biokonwerter napowietrzany jest termostatowanym w węźle (11) powietrzem. Węzeł (11) stanowi piec opalany biogazem lub gazem ziemnym. Następnie surogat paliwowy kierowany jest do węzła stabilizacji (9), gdzie poddawany jest krótkotrwałemu działaniu mikrofal a następnie relaksacji. Stabilizator przedmuchiwany jest termostatowanym powietrzem. Po zakończeniu procesu stabilizacji (po 24 h) kompozytowe biopaliwo jest powierzchniowo higienizowane węglanem wapnia a następnie kierowane do węzła pakowania. Węzły biokonwersji (8) i stabilizacji (9) stanowią układ hermetyczny a odciągane powietrze jest odpylane w węźle (12) i kondycjonowane w węźle (13) roztworem NaOH. Odprowadzana ciecz nadmiarowa z węzła kondycjonowania (13) rozcieńczana jest ściekami w węźle mieszania (14) a następnie kierowana na wlot oczyszczalni ścieków.

6. Podsumowanie

Przeprowadzone badania biokonwersji resztkowej biomasy ściekowej pozwoliły na otrzymanie energetycznego biopaliwa oraz wytypowanie racjonalnych warunków prowadzenia złożonego procesu i opracowanie zalecanego składu surogatu paliwowego. W skład surogatu wchodzi pofermentacyjne osady ściekowe (70% mas.), muł węglowy, lignoceluloza, trociny, biofaza glicerolowa i mieszanina bioalkoholi. Temperatura złoża uzyskana podczas biokonwersji (około 40°C) intensyfikuje odparowanie wody, dzięki czemu wilgotność mieszanki po procesie wynosi średnio 38%. Maksymalna temperatura złoża poddawanego biokonwersji (43°C) nie eliminuje organizmów chorobotwórczych, w związku z czym przeprowadzono badania procesu higienizacji surogatów paliwowych z użyciem energii mikrofal. Na podstawie badań mikrobiologicznych dobrano moc mikrofal (300 W) oraz czas trwania ekspozycji wynoszący 3 minuty, co przekłada się na wzrost temperatury wewnątrz kształtek surogatu do 93°C i zapewnia ich higienizację. Dodatkowo uzyskano spadek wilgotności mieszanek do 28% bezpośrednio po zastosowaniu mikrofal i do 26% po 24-godzinnej relaksacji.

Otrzymany surogat paliwowy w postaci sferycznych kształtek o średnicy 20 mm posiada dobre własności mechaniczne pozwalające na jego bezpieczne konfekcjonowanie i transport. Ciepło spalania kompozytowego biopaliwa wynoszące około 18,5 MJ/kg (przewyższające ciepło spalania drewna) wskazuje, że może ono być z powodzeniem stosowane w energetyce jako biokomponent.

Na podstawie przeprowadzonych badań opracowano projekt instalacji pilotowej o wydajności 10 Mg biopaliwa/dzień, której uruchomienie nastąpi w II kwartale 2011 roku.

*Badania częściowo finansowane w ramach Programu Operacyjnego
Kapitał Ludzki Projekt Nr UDA-POKL.04.01.01-00-114/09-00.*

Literatura

1. **Podedworna J., Umiejewska K.:** *Technologia osadów ściekowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
2. **Bień J.B.:** *Osady ściekowe. Teoria i praktyka*. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2007.
3. **Gantzer C., Gaspard P., Galvez L., Huyard A., Dumouthier N., Schwartzbrot J.:** *Monitoring of bacterial and parasitological contamination during various treatment of sludge*. Water Research, 35(16), 3763÷3770. 2001.
4. **Bień J. B., Wystalska K.:** *Przekształcanie osadów ściekowych w procesach termicznych*. Wydawnictwo Seidel – Przywecki Sp. z o.o., Warszawa 2009.
5. **Wang J.-Y., Stabnikova O., Ivanov V., Tay S. T.-L., Tay J.-H.:** *Intensive aerobic bioconversion of sewage sludge and food waste by Bacillus thermoamylovorans*. World Journal of Microbiology & Biotechnology 19, 427÷432. 2003.
6. **Wieland E., Sawicka A.:** *Przemiany mikrobiologiczne w osadach ściekowych w Systemie SDE*. Przegląd Komunalny, 12(111). 2000.
7. **Molla A.H., Fakhru'l-Razi A., Hanafi M. M., Zahangir Alam M.:** *Optimization of process factors for solid-state bioconversion of domestic wastewater sludge*. International Biodeterioration & Biodegradation, 53, 49÷55. 2004.
8. **Velis C. A., Longhurst P. J., Drew G. H., Smith R., Pollard S. J. T.:** *Bio-drying for mechanical-biological treatment of wastes: A review of process science and engineering*. Bioresource Technology, 100, 2747÷2761. 2009.
9. **Zawadzka A., Krzystek L., Stolarek P., Ledakowicz S.:** *Biologiczne suszenie osadów ściekowych i odpadów stałych w reaktorze okresowym*. Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 3. 2010.
10. **Navaee-Ardeh S., Bertrand F., Stuart P. R.:** *Key variables analysis of a novel continuous biodrying process for drying mixed sludge*. Bioresource Technology, 101, 3379÷3387, 2010.
11. **Wojciechowska E.:** *Application of microwaves for sewage sludge conditioning*. Water Research 39, 4749÷4754, 2005.

12. **Radosz M.:** *Badania nad możliwością zastosowania mikrofal do higienizacji osadów ściekowych.* Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 2. 2004.
13. **Yu Y., Chan W.I., Liao P.H., Lo K.V.:** *Differential damage in bacterial cells by microwave radiation on the basis of cell wall structure.* Journal of Hazardous Materials, 181, 1143÷1147. 2010.
14. **Wójcicki S.:** *Spalanie.* WNT. Warszawa 1969.
15. **Hehlmann J., Szeja W., Jodkowski M., Karwot J.:** *Sposób i układ urządzeń do wytwarzania biomasy energetycznej zwłaszcza z biokomponentów depozytowych.* Zgłoszenie patentowe: P-392220 dn. 24.08.2010.

Research on Receiving Composite Energetic Biofuel Based on Biomass from Sewage Sludge Fermentation Process

Abstract

Poland in recent years has been building and modernizing sewage treatment plants. The effect of this is quickly growing sewage sludge production which has to be utilised. Conversion of residual sewage biomass after fermentation process to fuel component which meets requirements of power industry makes possible its utilization and allows to meet requirements statements of European Union of the 20% share of renewable sources in electricity production.

The paper discusses the method of composite biofuel production from residual sewage biomass (70%), coal mud, sawdust, lingocellulose, glycerol biophase and bioalcohols mixture. During research of bioconversion process obtained the bed temperature was about 40°C, which intensified water vaporization. The water content in fuel mixtures after bioconversion process was 38% on the average. The temperature of bed about 43°C (maximum) obtained during bioconversion process didn't eliminate pathogenic microorganisms therefore research on microwave hygienization was carried out. On the basis of microbiological research it was estimated that the value of microwave power about 300 W and 3 minutes of exposition time to microwave assures temperature increase to 93°C inside fuel surrogates and it's hygienization. Fuel with spherical shape of 20 mm diameter and good mechanical property sufficient for packing and transport was obtained during research on bioconversion process. Moreover the heat of combustion about 18,5 MJ/kg (higher then heat of combustion of wood) makes possible its application as bio compound in power industry.