

SEBASTIAN WERLE***WPLYW WŁAŚCIWOŚCI OSADÓW ŚCIEKOWYCH NA
MOŻLIWOŚĆ ICH TERMICZNEGO UNIESZKODLIWIANIA***Streszczenie*

W pracy przedstawiono analizę porównawczą podstawowych właściwości osadów ściekowych i biomasy tradycyjnej: trocin sosnowych, dębowych i z wierzy oraz słomy rzepakowej i pszenicznej. Osady ściekowe mogą być unieszkodliwiane w procesach termicznych. Do tych metod zaliczyć należy głównie spalanie (współspalanie), zgazowanie i pirolizę.

Słowa kluczowe: osady ściekowe, spalanie, zgazowanie, piroliza

WPROWADZENIE

Na podstawie prognoz demograficznych szacuje się, że ilość osadów ściekowych, która będzie produkowana w Polsce wzrośnie w 2018 r. do 706 tysięcy ton suchej masy [GUS 2012]. W ciągu ostatnich dwudziestu lat nastąpiła zasadnicza zmiana w sposobie zagospodarowywania osadów ściekowych. Wystąpiły ograniczenia w składowaniu oraz rolniczym wykorzystaniu osadów ściekowych [Sadecka i in. 2011]. Z tego względu pojawiła się silna potrzeba rozwoju metod termicznych [Werle i Wilk 2010]. Do głównych metod utylizacji palnych substancji organicznych zalicza się: spalanie (i współspalanie), zgazowanie i pirolizę [Werle 2012].

Według Rozporządzenia Ministra Gospodarki [Dz.U. z 2012 r. poz. 1229] biomasa to stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, a także przemysłu przetwarzającego ich produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji. Ze względu na znaczną zawartość substancji organicznych w osadach ściekowych, a tym samym na ich podatność na procesy rozkładu, osady ściekowe uznaje się za ulegające biodegradacji, czyli są biomasą. Należy jednocześnie zaznaczyć, iż chcąc wykorzystywać osady ściekowe w procesach termicznych i dla celów ustalenia,

* Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Instytut Techniki Ciepłej

jakie obowiązki wynikają z przepisów ochrony środowiska, korzystać należy z definicji Ministra Środowiska podanej w Rozporządzeniu w sprawie standardów emisyjnych z instalacji [Dz.U. 2011 nr 95 poz. 558].

Wykorzystanie osadów ściekowych jako paliwa wymaga określenia podstawowych właściwości palnych. Parametry te powinny odpowiadać wymaganiom jakie są stawiane paliwom w celu ich energetycznego wykorzystania. Skład elementarny osadów ściekowych, zawartość pierwiastków śladowych oraz związków nieorganicznych zależne są od wielu czynników, przy czym główną rolę może odgrywać region kraju lub świata.

W pracy przedstawiono wyniki szczegółowej analizy fizyko-chemicznej suszonych osadów ściekowych wytworzonych w dwóch polskich oczyszczalniach ścieków. Wyniki zostały porównane z pięcioma paliwami biomasowymi: słomą pszenniczną, rzepakową, wierzbą energetyczną, trocinami sosnowymi i dębowymi. Analiza obejmowała skład elementarny paliw, analizę techniczną oraz szczegółową analizę popiołu.

TERMICZNE METODY UTYLIZACJI OSADÓW ŚCIEKOWYCH

Termiczne metody utylizacji osadów ściekowych nie są jak dotąd szeroko stosowane w skali przemysłowej, gdyż są ciągle procesem słabo rozpoznany i udokumentowany. Spełnienie wymagań Unii Europejskiej odnośnie strumienia energii generowanej z odnawialnych źródeł energii, nie jest możliwe do zrealizowania bez wprowadzenia technologii termicznej utylizacji odpadów. Podstawowym procesem termicznej utylizacji jest proces spalania. Wiąże się on jednak ze sporymi nakładami finansowymi na budowę nowych instalacji i systemów oczyszczania spalin. Ponadto bardzo często wprowadzenie procesu spalania w danym rejonie wiąże się ze sprzeciwem mieszkańców, którzy obawiają się negatywnego wpływu instalacji na środowisko.

Jedną z racjonalnych, niskonakładowych alternatyw wykorzystania komunalnych osadów ściekowych jest odzysk energii na drodze ich współspalania z węglem w istniejących obiektach energetycznych [Werle 2011]. Współspalanie osadów ściekowych prowadzone jest w krajach Europy Zachodniej w wielu elektrowniach. W Polsce jak dotychczas nie współspala się osadów ściekowych w kotłach energetycznych, chociaż podejmowane są wstępne próby mające pozwolić na dokonanie technicznej oceny takiego rozwiązania. Za zastosowaniem kotłów energetycznych jako instalacji współspalania odpadów przemawiają przede wszystkim względy techniczne: wykorzystanie istniejącej infrastruktury obiektów energetyki zawodowej, jak również uwarunkowania prawne. Obok pieców cementowych, to właśnie kotły energetyczne są instalacjami, które mogłyby potencjalnie najłatwiej, co nie znaczy, że bezpośrednio, spełnić

wymagania dotyczące standardów emisyjnych i zachowania określonych warunków procesowych.

Zgazowanie posiada w stosunku do wymienionych wyżej metod najwięcej zalet [Werle i Wilk 2011]. Zaliczyć do nich należy przede wszystkim mniejszą ilość powstałych tlenków (jako skutek niedomiaru tlenu w trakcie procesu) oraz mniej rozbudowaną (a zatem tańszą) instalację do oczyszczania powstałego gazu procesowego (syngazu), a także wielokierunkowość zastosowania wytworzonego gazu. Może być on spalany w kotłach energetycznych, piecach przemysłowych, turbinach gazowych i silnikach spalinowych.

Piroliza to proces degradacji (rozkładu) cząsteczki związku chemicznego pod wpływem dostatecznie wysokiej temperatury w środowisku beztlenowym. Najpopularniejsza jest technologia Oil From Sludge [Basu 2010] prowadząca do uzyskania paliwa ciekłego.

O możliwości termicznego przekształcania osadów ściekowych decydują takie parametry jak: wilgotność, kaloryczność, zachowywanie się podczas termicznej obróbki, ale również emisja zanieczyszczeń i powstające odpady. Niektóre z nich, takie jak: wysoka wilgotność czy też duży udział części lotnych oraz niska gęstość i topliwość popiołów utrudniają ich energetyczne wykorzystanie. Istotne jest również to, że parametry wyjściowe dostarczanych osadów będą się różnić w zależności od dostawcy oraz pory roku. Będą to głównie różnice wynikające z pochodzenia osadów z terenów uprzemysłowionych czy też terenów o charakterze rolniczym. Wymaga to na eksploatatorze instalacji zagwarantowania prawidłowej pracy układu niezależnie od jakości dostarczanego paliwa.

METODYKA I ZAKRES BADAŃ

Do badań porównawczych podstawowych właściwości paliw oraz popiołu po ich spopieleniu wybrano: słomę pszeniczną, rzepakową, trociny wierzby energetycznej, sosny i dębu. Z kolei jako przykład biomasy niekonwencjonalnej zastosowano dwa różne suszone osady ściekowe oznaczone jako nr 1 i 2. Osad nr 1 pochodził z mechaniczno – biologicznej oczyszczalni ścieków, a osad nr 2 z oczyszczalni mechaniczno-biologiczno-chemicznej z symultanicznym strącaniem fosforu. W obu przypadkach część biologiczna oczyszczalni pracowała w układzie niskoobciążonego osadu czynnego, co pozwala na skuteczne usuwanie ze ścieków azotu. Powstające w oczyszczalniach osady poddawane są procesowi fermentacji, a następnie po odwodnieniu są suszone w suszarce cylindrycznej na półkach podgrzanych do 260°C (osad nr 1) i przy użyciu gorącego powietrza o temperaturze 150°C w suszarce taśmowej (osad nr 2). Osad nr 1 ma formę granulatu, a osad nr 2 nieregularnie ciętych „makaroników”. Analizę elementarną biomasy tradycyjnej i osadów ściekowych wykonano stosując po-

miar automatyczny z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego. Zawartość metali ciężkich w badanych próbkach została określona z wykorzystaniem spektrometrii absorpcyjnej. Zawartość wilgoci oznaczono zgodnie z procedurą PN-EN 14774-3:2010. Udział części lotnych w materiałach przyjętych do badań został określony na podstawie standardów umieszczonych w PN-EN 15402:2011. Zawartość substancji mineralnej (popiołu) w badanych paliwach uzyskano dokonując pomiaru zgodnie z wytycznymi z PN-EN 15403:2011. Wartość opałowa została obliczona z wykorzystaniem udziałów masowych głównych pierwiastków w paliwach [Werle i Wilk 2012].

WYNIKI BADAŃ

Skład osadów ściekowych i substratów zaliczonych do biomasy „tradycyjnej” przedstawiono w tabeli 1, a skład chemiczny popiołów w tabeli 2.

Tab. 1. Skład elementarny oraz właściwości biomasy tradycyjnej i osadów ściekowych [Werle 2013]

Tab. 1. Ultimate and proximate analysis results and the lower heating value of traditional biomass and sewage sludge [Werle 2013]

Parametr Parameter	trociny sawdust			słoma straw		osady ściekowe sewage sludge		
	sosna pine	wierzba willow	dąb oak	rzepak rape	pszenica wheat	1	2	
Udział masowy, mass fraction	C	0,46	0,44	0,47	0,43	0,42	0,28	0,32
	H	0,058	0,054	0,0563	0,0547	0,0526	0,0381	0,0436
	N	0,0001	0,0031	0,0004	0,006	0,0095	0,0359	0,0488
	O	0,39	0,37	0,41	0,37	0,37	0,14	0,15
	S	0,0002	0,0004	0,0003	0,0015	0,0013	0,0181	0,0167
	F	0,00001	0,00001	0,00004	0,00003	0,00004	0,00003	0,00013
	Cl	0,00003	0,00004	0,00004	0,00042	0,00124	0,00033	0,00217
	Wilgość, Moisture	0,09	0,111	0,059	0,106	0,09	0,053	0,053
	Popiół, Ash	0,004	0,021	0,002	0,037	0,055	0,442	0,365
	Zawartość części lotnych, Volatile matter content	0,77	0,71	0,77	0,70	0,68	0,49	0,51
Wartość opałowa, Lower heating value, MJ/kg	16,8	15,8	17,1	15,4	15,5	10,7	13,0	

Tab. 2. Skład chemiczny popiołów [Werle 2013]

Tab. 2. Chemical analysis of ash [Werle 2013]

%	trocinny sawdust			słoma straw		osady ściekowe sewage sludge	
	sosna pine	wierzba willow	dąb oak	rzepak rape	pszenica wheat	1	2
SiO ₂	24,5	2,14	6,64	5,32	29,9	25,2	27,7
Fe ₂ O ₃	2,47	0,4	0,63	0,37	0,32	12,4	15,8
Al ₂ O ₃	6,01	0,52	1,4	0,66	0,62	6,91	5,98
Mn ₃ O ₄	2,23	0,05	2,3	0,13	0,36	0,34	0,17
TiO ₂	0,34	0,05	0,11	0,07	0,04	0,66	1,00
CaO	23,5	39,4	17,3	34,3	9,32	22,4	15,2
MgO	5,9	3,45	3,12	3,06	3,95	2,28	3,49
SO ₃	3,67	2,53	3,82	6,74	4,8	5,94	4,64
P ₂ O ₅	3,15	6,12	3,97	6,48	7,55	14,2	20,8
Na ₂ O	0,84	0,21	0,31	0,19	0,13	0,99	0,75
K ₂ O	11,6	14,1	34,4	17,6	33	0,93	1,61
BaO	0,1	0,14	0,43	0,13	0,07	0,09	0,12
SrO	0,07	0,13	0,09	0,25	0,02	0,08	0,05
Cl	0,78	0,42	1,12	0,93	2,15	0,08	0,16
CO ₂	13,9	29,4	23,5	23,5	6,84	6,57	1,51
AI	0,58	45,44	1,39	34,35	8,42	53,68	39,93
R _{b/a}	1,44	21,24	6,84	9,18	1,53	1,19	1,06
BAI	0,199	0,0280	0,0182	0,0208	0,0097	6,46	6,70

Analiza uzyskanych wyników wskazuje na niższą zawartość węgla i tlenu, a także zawartość części lotnych w osadach ściekowych oraz wyższą zawartość siarki i zawartość popiołu, niż w przypadku biomasy tradycyjnej. Mniejsza była również wartość opałowa osadów. Analizując skład chemiczny popiołu można stwierdzić, że osady ściekowe charakteryzują się zdecydowanie wyższą zawartością związków żelaza, tytanu, fosforu a niższą zawartością związków potasu. Różnice w składzie chemicznym popiołu mają wyraźny wpływ na wartości wskaźników charakterystycznych popiołu: AI (wskaźnik opisujący skłonność do żużlowania), R_{b/a} (wskaźnik opisujący skłonność do obrastania powierzchni ogrzewalnych) oraz BAI (wskaźnik opisujący skłonność do tworzenia aglomeratów popiołu). Wskaźniki te są istotne, jeśli rozpatruje się procesy termicznej utylizacji osadów ściekowych. Widać również, że osady ściekowe charakteryzują się znacznie niższą skłonnością do foulingu (obrastania) powierzchni,

w których przeprowadza się termiczny proces utylizacji oraz – niestety – znacznie większą skłonnością do żużlowania i aglomeracji.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wzrost ilości komunalnych osadów ściekowych oraz zakaz ich składowania, a także możliwe w przyszłości ograniczenie ich rolniczego wykorzystania powodują, że zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych jest niezwykle ważnym zagadnieniem ekologicznym, technicznym i ekonomicznym. Rozwój termicznych metod unieszkodliwiania osadów wydaje się być najbardziej słuszny, gdyż pozwala na zmniejszenie ilości osadów z jednoczesnym procesem produkcji energii elektrycznej lub ciepła. Dodatkowo należy podkreślić, że produkcja tzw. zielonej energii z uwagi na zobowiązania prawne stała się koniecznością. Mając na uwadze dużą elastyczność paliwową układów produkujących zieloną energię w oparciu o procesy termiczne, wydaje się być oczywiste, że osady ściekowe stanowią konkurencyjny i bardzo atrakcyjny materiał do wykorzystania. Termiczne metody unieszkodliwiania osadów wiążą się z ich spalaniem (współspalaniem), zgazowaniem bądź pirolizą. Decyzja o wyborze metody termicznego unieszkodliwiania osadów ściekowych musi być poprzedzona określeniem właściwości palnych tej grupy paliw odpadowych.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na duże różnice w składzie pomiędzy osadami ściekowymi i biomasą tradycyjną. Szczególnie ważne wydaje się być połączenie niższej zawartości tlenu i wyższej zawartości części lotnych w osadach ściekowych, co skutkuje obniżeniem tendencji to generowania szkodliwych tlenków w procesach termicznej obróbki. Jednocześnie biorąc pod uwagę skład chemiczny popiołu na uwagę zasługuje fakt, że osady ściekowe charakteryzują się zdecydowanie wyższą zawartością związków żelaza, tytanu, fosforu oraz niższą zawartością związków potasu. Różnice w składzie chemicznym popiołu mają wpływ na wartości wskaźników charakterystycznych popiołu. Osady ściekowe charakteryzują się znacznie niższą skłonnością do foulingu (obrastania) powierzchni, w których przeprowadza się termiczny proces utylizacji. Jest to bardzo pozytywna cecha wskazująca na duży potencjał wykorzystania osadów w procesach termicznych.

LITERATURA

1. BASU P.; 2010. Biomass gasification and pyrolysis. Practical Design and Theroy. Elsevier. ss. 306.
2. Rocznik Statystyczny. Ochrona Środowiska. GUS Warszawa 2012

3. SADECKA Z.; MYSZOGRAJ S.; SUCHOWSKA-KISIELEWICZ M.; 2011. Aspekty prawne przyrodniczego wykorzystania osadów ściekowych. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego, Nr 144 (24), 5-16
4. WERLE S.; WILK R.K.; 2010. A Review Of Methods For The Thermal Utilization Of Sewage Sludge: The Polish Perspective. Renewable Energy, Nr 35, 1914-1919.
5. WERLE S.; 2012. Analysis of the possibility of the sewage sludge thermal treatment. Ecological Chemistry and Engineering A, Nr 19, 137-144.
6. WERLE S.; 2011. Wielowariantowa analiza możliwości współspalania osadów ściekowych w kotłach energetycznych opalanych węglem. Archives of Waste Management and Environmental Protection, Nr 13, 21-38.
7. WERLE S., WILK R.K.; 2011. Analiza przydatności gazu ze zgazowania osadów ściekowych w gazownictwie. Rynek energii, Nr 5, 23-27
8. WERLE S.; 2013. Potential and properties of the granular sewage sludge as a renewable energy source. Journal of Ecological Engineering, Nr 1, 17-21
9. WERLE S.; WILK R.K.; 2012. Experimental investigation of the sewage sludge gasification process in the fixed bed gasifier. Chemical Engineering Transactions, 29, 715-720.

INFLUENCE OF SEWAGE SLUDGE PROPERTIES ON THE THERMAL MANAGEMENT PROCESSES

S u m m a r y

The analysis of various biomass materials intended to be used as fuel thermal processes has shown that there is always a range of the results sometimes with a big gap between minimum and maximum. Most noticeable for the sewage sludge was the highest share of ash, nearly 50% of the dry substance, compared to all the other fuels. Additionally it should be emphasized that the combination of low oxygen content and low volatile matter in sewage sludge indicates a low potential for creating large amounts of inorganic vapors during combustion and another thermal processes. Moreover, sewage sludge is characterizing by lower fouling tendency in comparison to traditional biomass. It is positive aspect of using sewage sludge as a fuel.

Key words: sewage sludge, combustion, gasification, pyrolysis