

Arkadiusz JAMROZIK¹

Michał PYRC²

Maciej LIZIŃSKI³

Krzysztof MASAPUST⁴

MOŻLIWOŚCI POZYSKIWANIA PALIW GAZOWYCH W PROCESACH TERMICZNEGO PRZETWARZANIA ODPADÓW

Współczesne technologie termicznego przetwarzania odpadów są skutecznym sposobem neutralizacji różnego rodzaju odpadów, połączonym z wykorzystaniem ich do celów energetycznych. Spośród wielu metod termicznej neutralizacji odpadów najbardziej perspektywicznymi wydają się być piroliza i zgazowanie. Według niektórych właśnie proces zgazowania może być najlepszym rozwiązaniem spośród termicznych metod utylizacji osadu ściekowego. Zgazowanie jest procesem polegającym na termicznym rozkładzie materii organicznej przy niedoborze tlenu, w wyniku którego powstaje między innymi mieszanina gazów (H_2 , CO , CO_2 , CH_4) nazywana gazem generatorowym. Taki gaz, odpowiednio oczyszczony może być wykorzystany do zasilania silnika spalinowego napędzającego zespół prądotwórczy. W ramach pracy zaprezentowano prototypową instalację zgazowania osuszonego osadu ściekowego z systemem oczyszczania gazu, współpracującą z zespołem prądotwórczym 80 kW, napędzanym doładowanym silnikiem tłokowym, adaptowanym do zasilania dwupaliwowego gazem generatorowym i olejem napędowym. Wykorzystany w instalacji system oczyszczania gazu generatorowego zapewnił odseparowanie smół pogazowych uniemożliwiając ich kondensację układzie dolotowym silnika badawczego. W wyniku zgazowania z 1 tony osadu uzyskano około 1450 m^3 gazu generatorowego o wartości opałowej zawierającej się w granicach $2,5\text{-}3,5\text{ MJ/m}^3$. W warunkach ciągłej całodobowej eksploatacji instalacja zgazowująca współpracująca z silnikiem badawczym była w stanie w ciągu doby zgazować około 1,8 ton osadu i wytworzyć w tym czasie około 0,9 MWh energii elektrycznej zużywając do tego celu około 50 kg oleju napędowego.

Słowa kluczowe: zgazowanie, piroliza, odpady, osad ściekowy, gaz generatorowy

¹ Autor do korespondencji: Arkadiusz Jamrozik, Instytut Maszyn Ciepłych, Politechnika Częstochowska, Armii Krajowej 21, 42-201 Częstochowa, jamrozik@imc.pcz.czyst.pl

² Michał Pyrc, Instytut Maszyn Ciepłych, Politechnika Częstochowska, Armii Krajowej 21, 42-201 Częstochowa, pyrc@imc.pcz.czyst.pl

³ Maciej Liziński, Politechnika Częstochowska, mattias997@amorki.pl

⁴ Krzysztof Masapust, Politechnika Częstochowska, k.masapust@gmail.com

1. Wstęp

Wiele krajów boryka się z problemem składowania i zagospodarowania odpadów komunalnych, zużytych opon i osadów ściekowych. Ponadto w krajach, w których dobrze rozwinięte jest rolnictwo, wiele odpadów biomasy takich jak słoma czy obornik jest często niezagospodarowanych. Wysypiska śmieci, które z roku na rok się powiększają, przez to, że odpady nie są wykorzystywane, mogą stać się potencjalnym surowcem do produkcji energii cieplnej czy elektrycznej. Najprostszym sposobem wykorzystania tych surowców jest ich utylizacja w spalarniach. Dzięki temu rozwiązaniu możemy odzyskać ciepło, które będzie wykorzystane na wiele sposobów między innymi w ciepłowni bądź w elektrowni do wytworzenia czy przegrzania pary w celu produkcji energii elektrycznej. Wadą tego rozwiązania jest duża emisja zanieczyszczeń tym bardziej, że Unia Europejska zobowiązuje nas do ograniczenia emisji poprzez pakiet 3x20. Bardziej efektywna jest obróbka termiczna tych surowców, dzięki której otrzymujemy wiele produktów takich jak: gaz, koksik, metale, paliwo płynne, pył. Metody termicznej obróbki, choć kosztowne, nie powodują tak dużej emisji zanieczyszczeń. W większości oparte są na technologii BAT (Best Available Technology), czyli technologii gwarantującej najwyższy dostępny poziom techniczny. Każda metoda ma swoje wady i zalety, wybór odpowiedniej determinowany jest przez rodzaj zastosowanego surowca. Dzięki tym nowoczesnym rozwiązaniom można wykorzystać odpady, które kilka lat wcześniej były składowane ze względu na brak możliwości ich przetworzenia. Jest wiele sposobów na zagospodarowanie odpadów, zaczynając od recyklingu, poprzez spalanie, aż po pirolizę i zgazowanie. Ostatnio wdrażane na świecie nowoczesne metody termicznego przetwarzania odpadów są zaawansowanymi procesami technologicznymi i w stosunku do tradycyjnego spalania są bardziej tolerancyjne dla naszego środowiska.

2. Procesy termicznego przekształcania odpadów na gaz

2.1. Proces pirolizy

Piroliza to proces transformacji termicznej bogatych w węgiel substancji organicznych, który odbywa się w podwyższonych temperaturach, w środowisku całkowicie pozbawionym tlenu bądź przy jego pomijalnie małej obecności. Proces ten jest z natury endotermiczny (wymaga dostarczenia ciepła z zewnątrz) i przebiega w temperaturach od 300 do 800°C. Skład i ilość produktów pirolizy zależy od rodzaju odpadów, ich właściwości fizykochemicznych oraz od temperatury procesu. Podczas procesu pirolizy masa odpadów zostaje przekształcona w gaz pirolityczny zawierający głównie wodór, metan, etan i ich homologi, tlenek i dwutlenek węgla, koks pirolityczny oraz fazę ciekłą zawierającą mieszaninę olejów, smół oraz wody. W przypadku termicznego przekształcania odpadów komunalnych wartość opała otrzymanego gazu pirolitycznego

wynosi od 5 do 15 MJ/m³. Gaz ten może być spalany w kotle bez poddania go schładzaniu i oczyszczaniu. Z powodu dużego zanieczyszczenia gazu pirolitycznego olejami i smołami, konieczne jest poddanie go kondensacji w celu wytrącenia zanieczyszczeń i oczyszczeniu, aby mógł być wykorzystany do spalania poza instalacją. Oczyszczony gaz może być wykorzystywany w turbinie gazowej lub spalany silniku tłokowym zespołu CHP.

2.2. Proces zgazowania

Proces zgazowania polega na termicznym rozkładzie materii organicznej przy niedoborze tlenu. W procesie zgazowania temperatury reakcji są znacznie wyższe niż w pirolizie i wynoszą od 500 nawet do 1600°C, pozwalając na zgazowanie mineralnego węgla znajdującego się w odpadach. Nowoczesne metody zgazowania pozwalają na otrzymanie praktycznie dwóch produktów, jakimi jest mieszanina gazów (H₂, CO, CO₂, CH₄) nazywana gazem generatorowym o wartości opałowej od 8 do 14 MJ/m³ i pozostałość mineralna w postaci popiołu. Powstają również produkty uboczne takie jak kondensujące się lotne i ciekłe substancje smoliste [1]. Odpowiednio oczyszczony gaz może być wykorzystany bezpośrednio w silniku spalinowym zespołu prądotwórczego.

2.2.1. Zgazowanie biomasy odpadowej

Przebieg zgazowania biomasy składa się z kilku części. Pierwszy etap to suszenie substancji w temperaturze 100-200°C. W kolejnej fazie następuje piroliza. Z biomasy uwalniają się gazowe części lotne w podwyższonej temperaturze (ok 200-600°C) w atmosferze beztlenowej. Produktami pirolizy są frakcje stałe, produkty ciekłe oraz gaz palny: CO, CH₄, H₂, H₂O, węglowodory aromatyczne. Faza pozostała po pirolizie podlega procesowi zgazowania, który składa się z endotermicznych i egzotermicznych reakcji chemicznych, których temperatura dochodzi do 800°C. W procesach tych dochodzi do wymiany masy i ciepła, dzięki czemu powstają gazowe składniki palne: CO, H₂, CH₄, ciekłe, smoliste oraz stałe: koksik, żużel [1].

2.2.2. Zgazowanie osadu ściekowego

Osady ściekowe klasyfikowane, jako biomasa odpadowa, o zerowym współczynniku CO₂, pochodzą z procesu oczyszczania ścieków. W obecnym czasie możliwości przetwarzania tego odpadu są niewielkie przez to duża ilość zalega w magazynach oczyszczalni. Rysunek 1 przedstawia ilość produkowanych osadów ściekowych w Polsce w latach 2005-2010. Prognoza wzrostu ilości wytwarzanych osadów ściekowych powinna być zachętą do udoskonalania znanych i poszukiwania nowych technologii przetwarzania tego odpadu. Wg [2] proces zgazowania może być najlepszym rozwiązaniem spośród termicznych metod utylizacji osadu ściekowego.



Rys. 1. Ilość produkowanych komunalnych osadów ściekowych w Polsce w latach 2005-2010, tys ton suchej masy, na podstawie [2]

Fig. 1. The amount of municipal sewage sludge produced in Poland in 2005-2010, thousand tonnes of dry matter, based on [2]

3. Instalacja zgazowująca osuszony osad ściekowy

Komunalny osad ściekowy jest odpadem powstającym w wyniku mechaniczno – biologicznego oczyszczania ścieków. Stosując się do obecnie obowiązujących przepisów dotyczących ograniczeń w składowaniu odpadów biodegradowalnych [3-5], w Instytucie Maszyn Ciepłych Politechniki Częstochowskiej opracowano technologię termicznego przetwarzania przefermentowanych, osuszonych, organicznych osadów ściekowych, będących ubocznym produktem procesu oczyszczania ścieków komunalnych w oczyszczalni, na energię elektryczną i ciepło. Zastosowany do badań osad ściekowy był już wysuszonym surowcem gotowym do zgazowania. Należy przy tym podkreślić, że termiczne suszenie osadów jest kosztowne i energochłonne - wymaga dostarczenia znacznej ilości energii. Energochłonność procesu zależy w największym stopniu od uwodnienia osadów. W przypadku prezentowanej technologii, pożądana wilgotność wysuszonego osadu ściekowego musiała być stosunkowo niska i nie mogła przekroczyć 10 %.

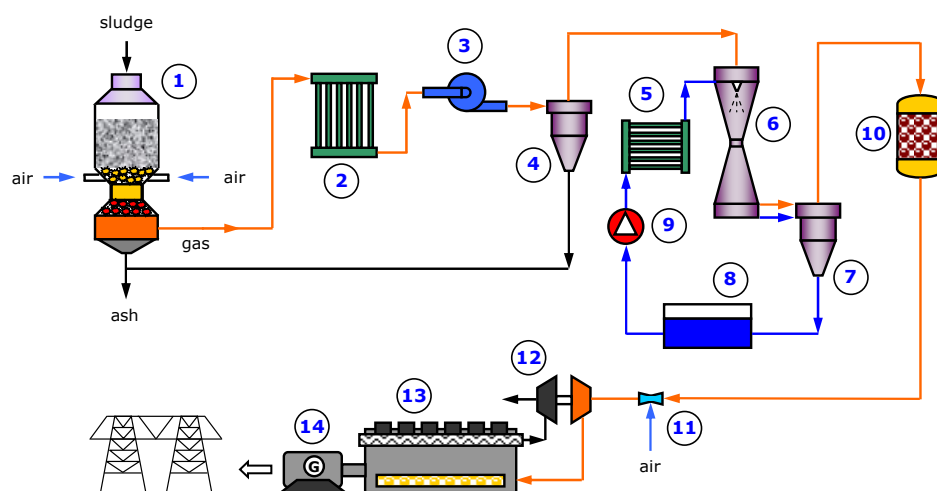
W obecnie dostępnych na rynku instalacjach przeznaczonych do zgazowania substancji organicznych, głównie drewna, dostarczających pozyskany gaz generatorowy do zasilania zespołów prądotwórczych, dominują instalacje wykorzystujące gazogeneratory współprądowe ze złożem stałym z czystym powietrzem, jako medium utleniającym. Osiągają one stosunkowo wysoką sprawność energetyczną przekraczającą 80% i wytwarzają bogaty w wodór gaz generatorowy o wartości opałowej od 4,0 do 5,5 MJ/m³ [6]. Gaz generatorowy ze zgazowania odpadów organicznych jest paliwem silnie zanieczyszczonym, wyma-

gającym oczyszczania. W przypadku wykorzystania gazu generatorowego do zasilania silnika tłokowego należy mieć na uwadze stosunkowo ostre wymagania w zakresie jego czystości. Poza cząstkami stałymi i smołą, producenci silników określają dopuszczalne poziomy takich zanieczyszczeń jak: związki siarki, amoniak, związki krzemu, związki chloru i fluoru.

W ramach opracowanej w IMC technologii, wykonano, uruchomiono i zbadano prototypową instalację zgazowania osuszonego osadu ściekowego, instalację oczyszczalni pozyskiwanego gazu generatorowego i zespół prądotwórczy o nominalnej wartości czynnej mocy elektrycznej 80 kW napędzany doładowanym silnikiem tłokowym adaptowanym do zasilania dwupaliwowego tym gazem i paliwem płynnym [7,8].

Proces zgazowania paliwa stałego lub biomasy realizuje się w gazogeneratorze nazywanym także zgazowarką. Koncepcję projektowanej instalacji zgazowującej oparto na zgazowarce współprądowej ze złożem stałym, w której jako medium zgazowujące wykorzystuje się czyste powietrze [9,10].

Podstawowym problemem, występującym w układach zgazowania są substancje smoliste, których głównym składnikiem są to wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, należące do grupy najpowszechniej występujących, trwałych zanieczyszczeń organicznych. Ilość i skład substancji smolistych zależy



Rys. 2. Schemat instalacji zgazowującej osuszony osad ściekowy z systemem oczyszczania gazu generatorowego, współpracującej z zespołem prądotwórczym (silnik spalinowy i generator):
1-generator gazu, 2-chłodnica gazu, 3-wentylator, 4-wstępny cyklon, 5-chłodnica wody, 6-pluczki Venturiego, 7-cyklon, 8-zbiornik na wodę, 9-pompa wody, 10-filtr, 11-mikser gazu, 12-turbosprężarka, 13-silnik spalinowy, 14-generator

Fig. 2. Diagram of the installation dried sewage sludge gasifying and generator gas cleaning cooperating with generating set (combustion engine and generator):
1-gasifier, 2-gas cooler, 3-blower, 4-preliminary cyclone, 5-water cooler, 6-Venturi scrubber, 7-cyclone, 8-water tank, 9-water pump, 10-filter, 11-gas mixer, 12-turbocharger, 13-combustion engine, 14-generator

od typu reaktora, parametrów procesu (ciśnienie, temperatura, czas), właściwości wsadu (rodzaj, wilgotność, rozdrobnienie wsadu). W przypadku wykorzystania gazu generatorowego do zasilania silnika tłokowego należy mieć na uwadze stosunkowo ostre wymagania w zakresie czystości gazu [8,11,12].

Zgodnie z założeniami projektu instalacji zgazowania osadu ściekowego do układu oczyszczania gazu użyto filtrów cyklonowych wraz z odpylaczami mokrymi nazywanymi skruberami Venturiego [8]. Instalacja oczyszczająca umożliwiła oddzielenie smół pogazowych zawartych w osadzie w stopniu eliminującym kondensację tych smół w układzie dolotowym doładowanego silnika tłokowego. Na rysunku 2 przedstawiono schemat zaprojektowanej i uruchomionej instalacji zgazowania osadu ściekowego wyposażonej w układ oczyszczania i spalania gazu generatorowego.

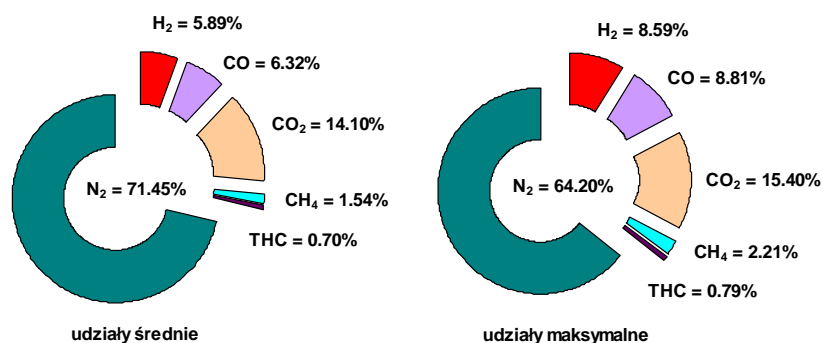
Badania działania i funkcjonalności instalacji zgazowującej oraz instalacji oczyszczającej gaz generatorowy obejmowały m.in.: analizę składu uzyskiwanego gazu generatorowego, szczelności zgazowarki, jakości oczyszczania gazu z substancji smolistych, zawartości popiołu. Stabilność procesu zgazowania uzyskiwano po czasie ok. 3h od chwili uruchomienia zgazowarki. W wyniku zgazowania z 1 tony osadu uzyskano 1450 m³ gazu generatorowego o wartości opałowej zawierającej się w granicach 2,5-3,5 MJ/m³. Gaz ten doprowadzano do badawczego silnika tłokowego zasilanego dwupaliwowo gazem generatorowym (udział energetyczny 75%) i olejem napędowym (udział energetyczny 25%). Silnik badawczy 6CT107 Andoria był doładowaną jednostką, wysokoprężną zainstalowaną na agregacie prądotwórczym o mocy 100kVA/80kW, adaptowaną do pracy dwupaliwowej na paliwie płynnym i gazowym.



Rys. 3. Widok układu zgazowującego wraz z agregatem prądotwórczym

Fig. 3. View of the gasifier and generating set

Na rysunku 4 przedstawiono między innymi średnie i maksymalne udziały składników palnych wchodzących w skład gazu generatorowego (H_2 , CO , CH_4 , THC) uzyskane w czasie serii pomiarów przeprowadzonych po ostatecznych modernizacjach instalacji zgazowującej osad ściekowy. Na podstawie składu gazu wyznaczono jego wartość opałową (W_g) oraz teoretyczne zapotrzebowanie powietrza (L_t). Średnie wartości tych wielkości wyniosły $W_g = 2,62 \text{ MJ/m}^3$ i $L_t = 0,67 \text{ m}^3/\text{m}^3$ a maksymalne $W_g = 3,51 \text{ MJ/m}^3$ i $L_t = 0,81 \text{ m}^3/\text{m}^3$.



Rys. 4. Skład gazu generatorowego uzyskany w próbie zgazowania osadu ściekowego

Fig. 4. The composition of generator gas obtained by gasification of sewage sludge

W warunkach ciągłej całodobowej eksploatacji instalacja zgazowująca współpracująca z silnikiem badawczym była w stanie w ciągu doby zgazować ok. 1,8 ton osadu i wytworzyć w tym czasie około 0,9 MWh energii elektrycznej zużywając do tego celu ok. 50 kg oleju napędowego.

4. Podsumowanie

Jedną z technologii umożliwiających termiczną neutralizację odpadów ściekowych połączoną z wykorzystaniem ich do celów energetycznych jest zgazowanie i wykorzystanie pozyskanego gazu generatorowego do zasilania silników tłokowych napędzających stacjonarne zespoły prądotwórcze. Badania instalacji zgazowującej osad ściekowy i oczyszczającej gaz generatorowy przeprowadzone w IMC PCz, wykazały, że w wyniku zgazowania z 1 tony osadu można otrzymać około 1450 m^3 gazu generatorowego o wartości opałowej zawierającej się w granicach $2,5\text{-}3,5 \text{ MJ/m}^3$. Zaprojektowana instalacja oczyszczająca zapewniła oddzielenie smół pogazowych zawartych w osadzie w stopniu eliminującym kondensację tych smół w układzie dolotowym badawczego silnika spalinowego. Badania pokazały, że technologia zgazowania osuszonych osadów ściekowych realizowana w instalacji wyposażonej w silnik dwupaliwowy o zmniejszonym udziale energetycznym paliwa płynnego może być uzasadniona technicznie i opłacalna ekonomicznie.

Literatura

- [1] Głodek E., Trembacz J.: Efekty wykorzystania gazu uzyskanego ze zgazowania biomasy i odpadów do wypalania klinkieru, *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych*, nr 7, 2011, s. 97-107.
- [2] Werle S., Wilk R.: Otrzymywanie paliwa gazowego na drodze zgazowania osadów ściekowych, *Rynek Energii*, nr 4, 2012, s. 94-97.
- [3] Ustawa o odpadach. Dz. U nr 62 z 20.06.2001, poz. 629 i Dz. U. nr 7 2003, poz.78.
- [4] Krajowy plan gospodarki odpadami 2010. MP nr 90 z 29.12.2006, poz. 946.
- [5] Dyrektywa Rady 1999/31/WE z dnia 26 kwietnia 1999 w sprawie składowania odpadów Dz. Urz. WE L 182 z 16.07.1999.
- [6] Dalimier Frédéric: The NOTAR® reactor for biomass gasification CHP or fossil fuels replacement in industrial processes, Agoria Renewable Energy Club 03 May 2011 Bio Base Europe Pilot Plant. XYLOWATT SA 2011.
- [7] Tutak W., Jamrozik A.: Generator gas as a fuel to power a diesel engine, *Thermal Science*, Vol. 18, No. 1, 2014, s. 206-216.
- [8] Cupiał K., Pyrc M., Jamrozik A., Tutak W., Kociszewski A.: Problemy oczyszczania gazu generatorowego o dużej zawartości pyłów i smół pogazowych, *Silniki Gazowe 2010*, serie monografie nr 183, 2010, s. 189-198.
- [9] Reed B., Das A.: *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems*. SERI/SP-271-302., Solar Energy Research Institute, Golden Co. March 1988, s 1-140.
- [10] Bhavanam A., Sastry R.C.: Biomass Gasification Processes in Downdraft Fixed Bed Reactors: A Review, *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, Vol. 2, No. 6, 2011, s. 425-433.
- [11] <http://www.deutz.de/> {dostęp 10.10.2014 r.}.
- [12] <http://information.jenbacher.com/> {dostęp 10.10.2014 r.}.

THE POSSIBILITY OF OBTAINING GASEOUS FUELS BY THERMAL WASTE TREATMENT PROCESSES

Summary

Modern technologies of thermal processing of waste are an effective way to neutralize the different types of waste, combined with their use for energy purposes. Pyrolysis and gasification seem to be the most perspective of all methods of thermal neutralization of waste. According to some, just gasification process may be the best solution of thermal sludge disposal methods. Gasification is a process of thermal decomposition of organic matter using oxygen deficit, which arises as a result of, inter alia, a mixture of gases (H_2 , CO , CO_2 , CH_4) is called a gas generator. Such gas, properly cleaned can be used to power an internal combustion engine driving a generator. As part of the paper presents a prototype installation of gasification of dried sludge from the gas cleaning system, works with a team of 80 kW generator driven turbocharged piston engine, adapted to power the dual fuel gas and diesel generator. The generator gas cleaning system allowed the separation of gas pitch in the sludge and prevented the condensation of tars in the intake test supercharged piston engine. As a result of gasification of the precipitate, a one tone of about $1450 m^3$ of gas with a calorific value generator is in the range $2.5-3.5 MJ/m^3$. Under continuous operating hour installation gasifying cooperating with the test engine was able to gasify about 1.8 t of sludge per day and prepared at the time of about 0,9 MWh of electrical energy for this purpose while consuming about 50 kg of diesel fuel.

Keywords: gasification, pyrolysis, waste, sludge, gas generator

Przesłano do redakcji: 18.11.2014 r.

Przyjęto do druku: 22.06.2015 r.

DOI:10.7862/rb.2015.44