

Sebastian WERLE¹

BADANIA PROCESU ZGAZOWANIA ALG I INNEJ BIOMASY NIEKONWENCJONALNEJ

STUDY ON THE ALGAE AND OTHER TYPES OF UNCONVENTIONAL BIOMASS GASIFICATION PROCESS

Abstrakt: W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych procesu zgazowania glonów oraz osadów ściekowych w reaktorze ze złożem stałym. Określono własności palne glonów i osadów ściekowych. Podano wpływ parametrów procesowych (m.in. ilość czynnika zgazowującego, własności paliwa) na skład otrzymanego gazu palnego. Wyniki procesu zgazowania wskazują, że parametry procesowe istotnie wpływają na parametry otrzymanego gazu. Istnieje wartość optymalna ilości czynnika zgazowującego doprowadzanego do reaktora, przy której gaz osiąga najwyższą wartość opałową. Otrzymywany gaz jest gazem niskokalorycznym stanowiącym dobre źródło energii pierwotnej do wykorzystania w generacji finalnych postaci energii.

Słowa kluczowe: zgazowanie, glony, osady ściekowe, gaz ze zgazowania

Światowe zapotrzebowanie na energię ciągle rośnie. Żeby sprostać wyzwaniom stojącym przed polską energetyką oraz aby spełnić wymogi ochrony środowiska, niezbędny jest rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Wydaje się, że największe perspektywy rozwoju ma przed sobą produkcja energii z biomasy. Szacuje się, że zasoby tego źródła są największe a, co więcej, jego wykorzystanie jest stosunkowo niedrogie. Dominuje wykorzystanie biomasy tradycyjnej, ale coraz częściej poszukuje się niekonwencjonalnych źródeł. Przykładem mogą być osady ściekowe oraz algi. W 2009 roku wytworzono w Polsce niemal 600 tys. Mg suchej masy komunalnych osadów ściekowych. Wyprodukowane osady w głównej mierze są składowane, wykorzystywane do rekultywacji, przechowywane na oczyszczalni ścieków i wykorzystywane rolniczo. Szacuje się, iż w 2018 roku wyprodukowane zostanie w Polsce około 706,6 tys. Mg suchej masy. Oczyszczalnie ścieków komunalnych w Polsce obsługują 63,1% społeczeństwa. W krajach tzw. „starej” Unii Europejskiej wskaźnik ten wynosi 78%. Dominującym kierunkiem zagospodarowania osadów w Polsce jest ich unieszkodliwianie przez składowanie. Z punktu widzenia zobowiązań w dostosowywaniu polskiego prawa do wymogów Unii Europejskiej jest to wysoce niekorzystne. Głównym problemem jest brak instalacji do termicznego przekształcania osadów ściekowych [1-3]. Glony to proste, samożywne organizmy beztankowe (plechowce), jednokomórkowe (mikroalgi) lub wielokomórkowe (makroalgi). Jedną z głównych zalet glonów jest ich szybki rozwój. Glony potrafią podwoić swoją masę w ciągu 24 godzin (w sprzyjających warunkach nawet w ciągu 3,5 h) [4, 5]. W dobie poszukiwań alternatywnych paliw wykorzystanie odpadów oraz niekonwencjonalnej biomasy w postaci osadów ściekowych oraz glonów wydaje się być rozwiązaniem racjonalnym i mającym duże szanse na powodzenie. Innowacyjną metodą produkcji nisko- i średniokalorycznych paliw gazowych z substancji organicznej na drodze procesów termicznych jest zgazowanie.

¹ Instytut Techniki Ciepłej, Politechnika Śląska, ul. S. Konarskiego 22, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 29 83, fax 32 237 28 72, email: sebastian.werle@polsl.pl

* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'13, Jarnołtówek, 23-26.10.2013

Celem pracy jest przedstawienie wyników badań eksperymentalnych procesu zgazowania glonów oraz osadów ściekowych w reaktorze ze złożem stałym.

Zgazowanie

Zgazowanie to termiczno-chemiczny proces, podczas którego biomasa jest przekształcana w palną mieszaninę gazów przez częściowe utlenienie w wysokiej temperaturze pod wpływem czynnika zgazowującego (powietrza, tlenu, pary wodnej lub mieszanin tych składników). Proces ten ma na celu uzyskanie palnego gazu i zminimalizowanie wytwarzania pyłu i substancji smolistych [6].

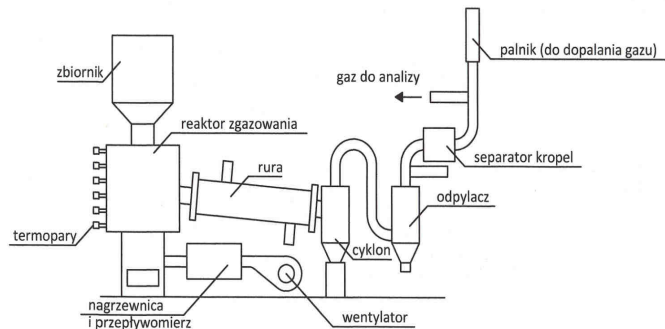
Zgazowaniu można poddawać biomasę klasyczną (np. drewno, torf, odpady produkcji rolnej), a także biomasę odpadową i niekonwencjonalną (np. osady, algi). Istota tego procesu sprawia, że można go wykorzystywać, gdy paliwo sprawia pewne trudności w trakcie spalania, związane z niejednorodnym składem i budową [7].

Reakcje występujące podczas zgazowania można podzielić na: reakcje pierwotne (fazy stałej z gazową), reakcje wtórne (pomiędzy fazą gazową) oraz reakcje spalania [8]. Rozwój technologii zgazowania związany jest z rozwojem reaktorów zgazowania. W nielicznych dotąd próbach zgazowania osadów ściekowych i innej biomasy niekonwencjonalnej stosuje się głównie reaktory ze złożem stałym i fluidalnym. Fluidalne reaktory zgazowania nadają się zwłaszcza do zgazowania wsadu o znacznej części składników mineralnych. Powszechnie uznaje się, iż technologie fluidalne przeznaczone są dla układów o stosunkowo dużych mocach (>10 MW) [9]. Z kolei wyniki badań pokazują [10, 11], iż zgazowanie materii organicznej w reaktorach ze złożem stałym dolnociągowym (współprądowym) charakteryzuje się stosunkowo niewielką zawartością smoły w wytwarzanym gazie. Jest to spowodowane tym, iż substancje smoliste, będące produktem procesu, przechodząc przez wysokotemperaturowe strefy spalania i zgazowania, ulegają w większości dekompozycji i utlenieniu. Kiedy jednak ilość smoły w wytwarzanym gazie nie jest czynnikiem najważniejszym, osady ściekowe mogą być zgazowywane w reaktorach przeciwprądowych.

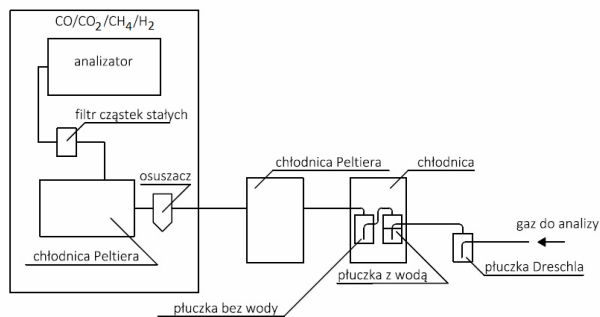
Eksperyment - stanowisko badawcze

Badania przeprowadzono w Instytucie Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej. Wykorzystano instalację zgazowania ze złożem stałym. Schemat stanowiska przedstawiono na rysunku 1 [12-14]. Głównym elementem instalacji jest reaktor górnciągowy o średnicy wewnętrznej 150 mm i całkowitej wysokości wynoszącej 250 mm. Maksymalna waga wsadu wynosi 5 kg. Paliwo dostarczane jest do reaktora z góry, podczas gdy czynnik zgazowujący (powietrze atmosferyczne) od dołu. Paliwo przemieszcza się w reaktorze „pod prąd”, przechodząc kolejno przez strefę suszenia, pirolizy, redukcji oraz spalania. Wilgoć jest odparowywana w strefie suszenia. W strefie pirolizy wsad poddawany jest termicznemu przekształceniu do części lotnych oraz postaci stałej. W strefie redukcji następuje przekształcenie węgla oraz produkcja CO i wodoru, będących głównymi składnikami palnymi powstałego gazu ze zgazowania. W strefie spalania pozostała część stała zostaje spalona, prowadząc do produkcji ciepła zużywanego następnie na endotermiczne reakcje w wyższych strefach.

a)



b)



Rys. 1. Schemat instalacji do zgazowania osadów ściekowych i glonów (a) oraz schemat układu oczyszczania i chłodzenia gazu ze zgazowania (b) [12-15]

Fig. 1. Scheme of the algae and sewage sludge gasification installation (a) and scheme of the gasification gas cleaning and cooling system (b) [12-15]

Pomiar rozkładu temperatury w reaktorze, wzdłuż jego osi, jest dokonywany za pomocą sześciu termopar typu N, umiejscowionych w równych odstępach na całej wysokości kolumny reaktora. Dodatkowo, mierzona jest temperatura gazu ze zgazowania na wyjściu z instalacji. Strumień masy powietrza doprowadzanego do reaktora jest mierzony za pomocą rotametu typu ROL o klasie dokładności 2,5. Powstający gaz przechodzi kolejno przez: cyklon, odpylacz, separator kropel, płuczkę Dreschla, dwie płuczki (z wodą i bez wody) umieszczone w chłodnicy, chłodnicę Peltiera, kolejną chłodnicę Peltiera, filtr cząstek stałych, by w końcu trafić do analizatora (rys. 2). Udział molowy poszczególnych składników w gazie jest mierzony w systemie „on-line” za pomocą analizatorów. Dodatkowo, próbka gazu zostaje pobierana do worka pobierczego w celu wykonania analizy chromatograficznej.

Właściwości zgazowywanych paliw




Do badań wykorzystano dwa rodzaje granulowanych osadów ściekowych (nr 1 i nr 2) oraz pelety z glonów należących do gromady brunatnic. Zestawienie właściwości wszystkich paliw przedstawiono w tabeli 1. Zawartość głównych pierwiastków w prezentowanych przykładach osadów ściekowych i glonu określono, stosując pomiar automatyczny z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego. Zawartość metali ciężkich w badanych próbkach została określona z wykorzystaniem spektrometrii absorpcyjnej. Zawartość wilgoci uzyskano, stosując procedurę opisaną w normie 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.

Zestawienie właściwości zgazowywanych paliw

Tabela 1

Table 1

Properties of the gasified fuels

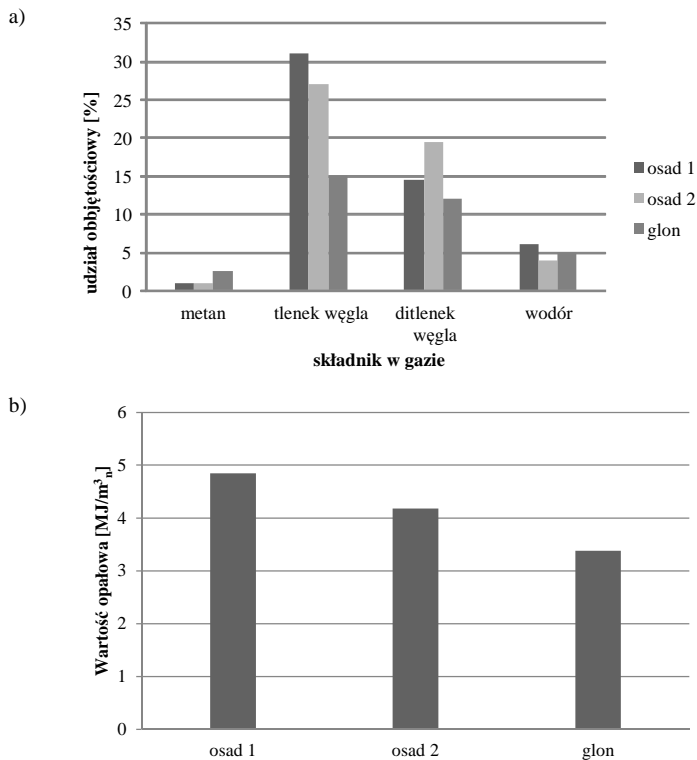
	Osad nr 1 	Osad nr 2 	Glon 
<i>Analiza techniczna (stan roboczy) [%]</i>			
Wilgoć	5,30	5,30	5,00
Części lotne	51,00	49,00	47,00
Popiół	36,50	44,20	24,70
<i>Analiza elementarna (stan suchy) [%]</i>			
C	31,79	27,72	31,83
H	4,36	3,81	4,82
N	4,88	3,59	2,58
O (jako różnica)	20,57	18,84	34,19
S	1,67	1,81	1,65
F	0,013	0,003	0,012
Cl	0,22	0,03	0,22
<i>Kaloryczność</i>			
Wartość opałowa (suchej masy) [MJ/kg]	12,96	10,75	12,64

Wyniki badań

Każda seria pomiarowa zrealizowana na stanowisku badawczym poprzedzona była procedurą rozpalania i wygrzewania reaktora zgazowania. Opracowanie tej procedury powstało na bazie doświadczenia eksploatacyjnego zdobytego w trakcie prac.

Przy zapewnionym swobodnym dopływie powietrza zewnętrznego na ruszt reaktora dostarczano niewielką ilość materiału zgazowywanego (osady, glony), a następnie podpalano. Uruchamiana była również aparatura rejestrująca temperatury wewnątrz zgazowarki. Uruchamiany był wentylator powietrza tłoczący powietrze pod ruszt. Strumień powietrza był regulowany w sposób powodujący możliwie szybki wzrost temperatury

wnętrza reaktora, do którego w miarę wypalania paliwa doprowadzano z zasobnika świeżą porcję materiału zgazowywanego. Rozpalanie i wygrzewanie zgazowarki zakańczano, gdy pomiar temperatury wnętrza reaktora wskazywał na osiągnięcie około 500°C i zewnętrzna powierzchnia izolacji reaktora była wyczuwalnie ciepła. Cała procedura rozpalania i wygrzewania zgazowarki trwała około 30 minut. Granulat osadu ściekowego poddawany jest procesowi zgazowania przy użyciu powietrza atmosferycznego jako czynnika zgazowującego podawanego do komory zgazowania w ilości 2,5 kg/h, co odpowiada stosunkowi nadmiaru powietrza $\lambda = 0,18$. Przyjęta wartość stosunku nadmiaru powietrza została ustalona jako optymalna z punktu widzenia kaloryczności gazu ze zgazowania na podstawie wcześniejszych badań [16].



Rys. 2. Udział objętościowy głównych składników palnych (a) oraz wartość opałowa gazu ze zgazowania osadów ściekowych oraz glonu (b); $\lambda = 0,18$

Fig. 2. Volumetric fraction of the main combustible components (a) and lower heating value of the sewage sludge and algae gasification gas (b); $\lambda = 0.18$

Na rysunku 2a przedstawiono udział objętościowy głównych składników w gazie ze zgazowania, a na rysunku 2b wartość opałową tego gazu. Analizując przedstawione wyniki należy stwierdzić, iż gaz ze zgazowania osadu ściekowego nr 1 charakteryzuje się wyższą zawartością podstawowych składników palnych w gazie: tlenku węgla i wodoru. Jest to

spowodowane głównie składem osadu ściekowego nr 1 (por. tabela 1), charakteryzującym się wyższą zawartością węgla i wodoru. Porównując z kolei gaz ze zgazowania osadów z gazem z glonów, można zauważyć, iż paliwo gazowe z glonów zawiera znacznie więcej metanu, a także dużo mniej tlenu węgla i podobną ilość wodoru. Cechy te wpływają w sposób bezpośredni na wartość opałową paliwa gazowego. Otrzymane gazy cechują się pewną zmiennością wartości opałowej w zakresie od 4,88 do 3,34 MJ/m³.

Wnioski

Przeprowadzono badania procesu zgazowania osadów ściekowych oraz alg. Algi oraz osady ściekowe stanowią dogodnie źródło pozyskiwania biomasy do celów energetycznych. Zaletą użytkowania alg do produkcji biopaliw jest wysoki potencjał wiązania ditlenku węgla oraz szybkie tempo wzrostu. Nie bez znaczenia jest również to, iż te mikroorganizmy efektywnie absorbują i przetwarzają substancje emitowane do atmosfery, w tym azotany i fosforany niezbędne do ich rozwoju, co często przyczynia się do ochrony środowiska przed nadmierną ich ilością. Niezwykle istotne w aspekcie wykorzystania biomasy niekonwencjonalnej jest to, że ustawodawstwo europejskie zabrania składowania osadów ściekowych (dziś jest to dominujący sposób zagospodarowywania). W świetle przedstawionych informacji oraz uzyskanych wyników należy stwierdzić, iż istnieje silna potrzeba rozwoju termicznych metod. Proces zgazowania biomasy niekonwencjonalnej zyskuje na świecie coraz więcej zwolenników. Własności paliwowe tego typu paliw wskazują na duże podobieństwo do biomasy tradycyjnej. Uzyskany gaz stanowi doskonałą alternatywę dla klasycznych paliw gazowych. Z uwagi na swe własności może pełnić rolę paliwa dodatkowego do zasilania kotłów gazowych czy też układów CHP, które są bardzo popularnymi jednostkami w oczyszczalniach ścieków.

Podziękowania

Praca powstała w ramach badań statutowych Instytutu Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej.

Literatura

- [1] Gromiec MJ, Gromiec TM. Podstawy strategii zagospodarowania komunalnych osadów ściekowych w Polsce. Praca zbiorowa Heinrich Z, redaktor. Warszawa: Wyd Seidel-Przywecki Sp. z o.o.; 2010.
- [2] Rocznik Statystyczny. Ochrona Środowiska. Warszawa: GUS; 2012.
- [3] Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2014, Uchwała nr 217 Rady Ministrów z dn. 24 grudnia 2010 r. w sprawie „Krajowego Planu Gospodarki Odpadami 2014” (M.P. nr 101, poz. 1183). www.dokumenty.rcl.gov.pl/M2010101118301.pdf.
- [4] Norman F, Andersson K, Leckner B, Johnsson F. Prog Energy Combust. 2009;35:385-397. DOI: 10.1016/j.pecs.2009.04.002.
- [5] Brennan L, Owende P. Renew Sustain Energy Rev. 2010;14:557-577. DOI: 10.1016/j.rser.2009.10.009.
- [6] Srirangan K, Akawi L, Moo-Young M, Perry Chou C. Appl Energy. 2012;100:172-186. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.05.12.
- [7] Spliethoff H, Greul U, Rüdiger H, Hein KRG. Fuel. 1996;75:560-564. DOI: 10.1016/0016-2361(95)00281-2.
- [8] Dudziak M. Environ Prot Eng. 2012;38:5-17. DOI: 10.5277/epe120201.
- [9] Adams BR, Harding NS. Fuel Process Technol. 1998;54:249-263. DOI:10.1016/S0378-3820(97)00072-6.
- [10] Dogru M, Midilli A, Howarth CR. Fuel Process Technol. 2002;75:55-82. DOI: S0378-3820 01 00234-X.
- [11] Midilli A, Dogru M, Howarth CR, Ling MJ, Ayhan T. Energ Conver Manage. 2001;42:155-172. DOI:

- S0196-8904(00)00053-4.
- [12] Werle S, Wilk RK. Patent nr P-397225 udzielony na podstawie zgłoszenia z dnia 2 grudnia 2011. www grab.uprp.pl/PrzedmiotyChronione/Strony%20witryny/Wyszukiwanie%20proste.aspx.
- [13] Maly PM, Zamansky VM, Ho L, Payne R. Fuel. 1999;78:327-334. DOI: S0016-2361(98)00161-6.
- [14] Shen B, Yao Q, Xu X. Fuel Process Technol. 2004;85:1301-1315. DOI: 10.1016/j.fuproc.2003.09.005.
- [15] Werle S, Wilk RK. Chem Eng Trans. 2012;29:715-720. DOI: 10.3303/CET1229120.
- [16] Werle S, Dudziak M. Energies. 2014;7:462-476. DOI: 10.3390/en7010462

STUDY ON THE ALGAE AND OTHER TYPES OF UNCONVENTIONAL BIOMASS GASIFICATION PROCESS

Institute of Thermal Technology, Silesian University of Technology, Gliwice

Abstract: In the work results of the algae and sewage sludge gasification process in fixed bed gasifier were presented. Combustible properties of algae and sewage sludge were determined. Influence of the gasification process parameters (*eg* amount of gasification agent and fuel properties) on gasification gas composition were determined. Results shows that process parameters strong influence on gasification gas parameters. There is optimal value of amount of the gasification agent when gasification gas achieve the highest calorific value. Gasification gas is low calorific value fuel which can be used as an primary energy source.

Keywords: algae, sewage sludge, gasification, gaseous fuel