



## Air gasification testing of waste fraction from compost sieving

*Slawomir STELMACH<sup>1</sup>, Ryszard WASIELEWSKI<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, ul. Zamkowa 1, 41-803 Zabrze, tel.: 27-10-041, fax: 27-10-809, e-mail: [sstelmach@ichpw.zabrze.pl](mailto:ssstelmach@ichpw.zabrze.pl)

### Abstract

Publication presents the results of the gasification tests of waste from compost sieving. The aim of the study was to determine the suitability of this waste for gasification process and evaluation of the emission and energy-efficiency of the process. Gasification tests have been carried out in a 3MW countercurrent shaft reactor with moving bed. Tests have shown the usefulness of the waste (code 19 05 01) to the gasification process in reactor EKOD-1 type. As a result of gasification of the tested waste, low-calorific gas is produced. The level of emissions from the combustion of gas produced shows the necessity of additional flue-gas treatment or realization of the process as a co-incineration in the proper proportion of tested waste with another fuel.

**Keywords:** Air gasification, waste, compost

### Streszczenie

Badania powietrznego zgazowania frakcji odpadowej z przesiewania kompostu

Przedstawiono wyniki testów zgazowania odpadów pochodzących z przesiewania kompostu. Celem badań było określenie przydatności energetycznej odpadów do procesu zgazowania i ocena efektywności energetyczno-emisyjnej tego procesu. Testy zgazowania odpadów przeprowadzono w przeciwprądowym reaktorze szybowym ze złożem przesuwalnym o mocy 3MW. Testy wykazały przydatność odpadów o kodzie 19 05 01 do procesu zgazowania w reaktorze typu EKOD-1. W wyniku wysokosprawnego zgazowania tych odpadów otrzymuje się niskokaloryczny gaz. Poziom emisji zanieczyszczeń ze spalania wytworzonego gazu wskazuje na konieczność zastosowania dodatkowych urządzeń do oczyszczania spalin, lub realizację procesu jako współspalania w odpowiedniej proporcji z innym paliwem.

**Słowa kluczowe:** powietrzne zgazowanie, odpady, kompost

### 1. Wstęp

Zgazowanie paliw stałych jest zespołem złożonych przemian termicznych i chemicznych, jakie zachodzą w podwyższonej temperaturze (czasami również przy podwyższonym ciśnieniu), głównie pomiędzy częścią organiczną paliwa, a takimi czynnikami zgazowującymi jak powietrze (lub tlen), para wodna, wodór (hydrozgazowanie) oraz dwutlenek węgla. Przemiany te prowadzą do wytworzenia palnego gazu oraz pozostałości mineralnej w postaci popiołu/żuźła. Surowcami do procesu zgazowania mogą być w zasadzie wszystkie substancje noszące cechy naturalnych lub przetworzonych paliw. Mimo tej różnorodności, układ reakcyjny zawiera zawsze trzy główne składniki: węgiel, wodór i tlen. W odróżnieniu od spalania, gdzie reakcje bieżą przy nadmiarze tlenu [1,2], stosunek molowych zawartości tlenu do węgla w reaktorze zgazowania jest mniejszy od 1.

Interesującym zastosowaniem procesu zgazowania może być produkcja energii z biomasy lub odpadów (również biodegradowalnych). W takim przypadku proces wytwarzania ciepła odbywa się dwuetapowo – zgazowanie paliwa zachodzi w generatorze, a wytworzony gaz spalany jest w palniku kotła wodnego lub parowego [2,3].

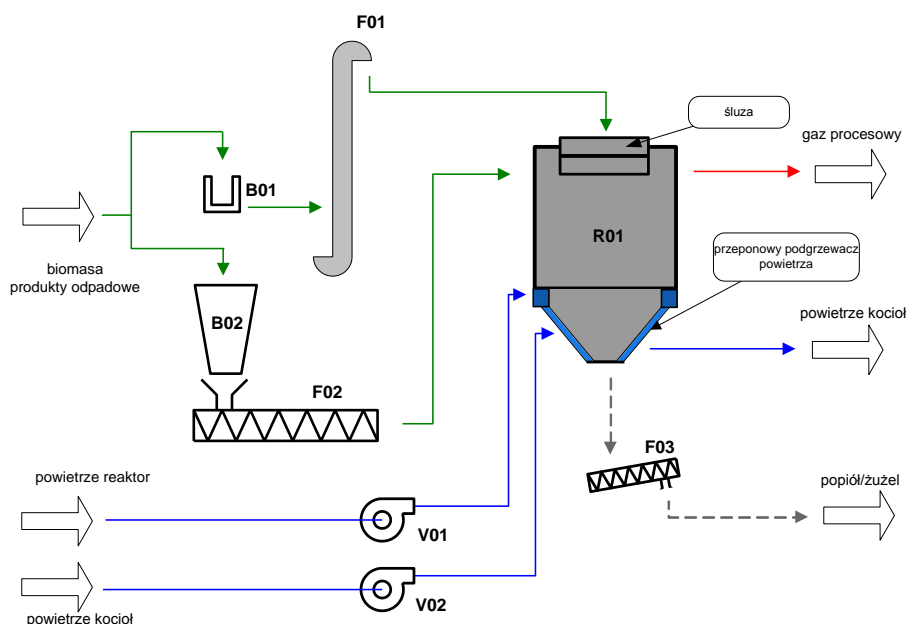
Zgazowanie odpadów jest jednym z istotnych kierunków badań prowadzonych od kilku lat w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu. W publikacji przedstawiono wybrane wyniki testów powietrznego zgazowania odpadów pochodzących z przesiewania kompostu prowadzonego w MPGK Sp. z o.o. Katowice [4].

Głównym celem tych badań było określenie przydatności frakcji odpadowej z przesiewania kompostu do procesu zgazowania i ocena efektywności energetyczno-emisyjnej tego procesu.

## 2. Opis instalacji doświadczalnej

Testy zgazowania frakcji odpadowej z przesiewania kompostu przeprowadzono w przeciwprądowym reaktorze szybowym ze złożem przesuwным typu EKOD-1, o mocy 3MW, produkowanym przez firmę ZAMER (Kraszewo). Czynnikiem zgazującym stosowanym w tym reaktorze jest powietrze. Proces przebiega pod ciśnieniem atmosferycznym w stosunkowo niskim zakresie temperatur -  $600\div 800^{\circ}\text{C}$ . Wytwarzany w reaktorze surowy gaz o temperaturze około  $600\div 700^{\circ}\text{C}$  jest spalany bezpośrednio w zmodernizowanym kotle typu ERm-125 produkcji SEFAKO Sędziszów, zaopatrzonego w dwa palniki gazowe. Spaliny z kotła po odpyleniu w cyklonie są kierowane do komina. W warunkach lokalnych (zakłady garbarskie) - gaz procesowy wytworzony ze zgazowania odpadów skórzanych jest używany do produkcji pary technologicznej. Kocioł zasilany gazem procesowym pracuje wspólnie z dwoma kotłami opalonymi węglem, przy czym powstające spaliny kierowane są odrębnymi rurociągami do wspólnego komina.

Podstawowymi elementami badanego układu są: reaktor zgazowania, system załadunku paliwa, zespół usuwania popiołu, przewód doprowadzający gaz do układu spalania, instalacje powietrza technologicznego oraz zespół palnika i komory spalania [4]. Schemat układu przedstawiono na rysunku 2.1.



Rys. 2.1. Schemat układu zgazowania z reaktorem typu EKOD-1.

## 3. Przebieg procesu zgazowania

Paliwo (odpady) dostarczane jest do instalacji w kontenerach (B01) i przy wykorzystaniu zespołu transportowo-załadunkowego (F01) dozowane jest do górnej części reaktora zgazowania (R01). Załadunek odbywa się poprzez zespół śluz umieszczonych w pokrywie aparatu. Zadaniem śluz jest eliminacja niekontrolowanego przepływu powietrza do reaktora i wydobywania się gazu z aparatu. Powietrze (czynnik zgazujący) o temperaturze otoczenia doprowadzane jest obwodowo do dolnej części reaktora (R01) poprzez wentylator (V01). Paliwo stałe w trakcie przesuwania w dół reaktora (R01) podlega sekwencyjnym procesom suszenia, pirolizy, zgazowania i spalania wytworzonego karbonizatu. Generowany w trakcie procesu gaz palny odprowadzany jest z górnej części reaktora (R01). Wytworzony popiół przechodzi do części stożkowej reaktora (R01) i poprzez zespół usuwania ubocznego produktu zgazowania, w którego skład wchodzi zamknięcie wodne i podajnik ślimakowy (F03), wyprowadzany jest na zewnątrz aparatu. Czas przebywania surowca energetycznego w komorze reaktora wynosi ok. 2÷3h.

Wytworzony w trakcie zgazowania biomasy/odpadów gaz palny, doprowadzany jest izolowanym przewodem do palników komory spalania kotła. Powietrze do spalania (układ kotła) transportowane jest wentylatorem (V02)

i wstępnie podgrzewane przeponowo w części stożkowej reaktora zgazowania. Spaliny powstające w procesie spalania gazu, po opuszczeniu kotła są odpylane i odprowadzane do instalacji kominowej.

Ubočnym produktem zgazowania biomasy/odpadów w testowanej instalacji jest popiół, który częściowo pozostaje w dolnej (stożkowej części reaktora), a częściowo unoszony jest wraz z wytwarzanym gazem do układu spalania. Po spalaniu gazu, pewna (niewielka) ilość popiołu osadza się w kotle, natomiast pozostała część odprowadzana jest wraz ze spalinami do instalacji odpylania.

Układ reaktora wraz z zintegrowanym kotłem stanowią instalację do termicznego przekształcania odpadów innych niż niebezpieczne, w której prowadzony jest proces zgazowania odpadów oraz spalania wytworzonego gazu z odzyskiem energii. Instalacja taka pod względem wymagań formalno-prawnych winna być traktowana jako spalarnia odpadów. W instalacji tej prowadzono również zgazowanie wielu innych typów odpadów stałych, między innymi takich jak: odpady garbarskie, zużyte opony, odpady komunalne, a także biomasy w postaci zrębków i trocin.

#### 4. Charakterystyka zgazowywanych odpadów

Testom zgazowania poddano około 6Mg odpadów pochodzących z kompostowni odpadów komunalnych MPGK Sp. z o.o. w Katowicach. Materiał ten pochodził z przesiewania kompostu i nosił oznaczenie kodowe 19 05 01 – nieprzekompostowane frakcje odpadów komunalnych i podobnych.

Badane odpady zawierały zanieczyszczone frakcje:

- opakowań z tworzyw sztucznych w postaci worków, toreb, folii i butelek,
- szmat i pozostałości ubrań,
- makulatury z papieru powlekanego i impregnowanego,
- niewielkie ilości izolacji budowlanej.

Podstawową charakterystykę fizykochemiczną odpadów przedstawiono w tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Właściwości fizykochemiczne badanego paliwa.

Parametr	Symbol	Jednostka	Wartość
<i>Analiza techniczna</i>			
Zawartość wilgoci (całkowita)	$W_t^r$	%	14,6
Zawartość wilgoci	$W^a$	%	4,7
Zawartość popiołu	$A^a$	%	26,8
Zawartość części lotnych	$V^{daf}$	%	94,38
Ciepło spalania	$Q_s^a$	kJ/kg	16794
Wartość opałowa	$Q_i^r$	kJ/kg	13719
<i>Analiza elementarna</i>			
Zawartość węgla	$C^a$	%	40,9
Zawartość wodoru	$H^a$	%	4,98
Zawartość siarki (całkowita)	$S_t^a$	%	0,16
Zawartość azotu	$N^a$	%	0,55
Zawartość chloru	$Cl^a$	%	0,308

Przeprowadzone analizy wykazały, że parametry energetyczne odpadów podawanych do reaktora są typowe dla odpadów pochodzących z sortowania kompostu z odpadów komunalnych.

#### 5. Przebieg testu i analiza wyników badań

Odpady ładowano do kontenerów za pomocą ładowarki i podawano poprzez służę do gorącego reaktora ze średnią wydajnością ok. 915kg/h, utrzymując na stałym poziomie parametry technologiczne procesu zgazowania w reaktorze.

Podczas testu pobrano z rurociągu gazu procesowego próbki do analiz chromatograficznych, wykonanych następnie w IChPW przy użyciu chromatografu gazowego GAS CHROMATOGRAPH 8600, firmy FISON. Monitorowano także w sposób ciągły stężenia zanieczyszczeń w spalinach opuszczających kocioł, limitowanych

dla procesu spalania odpadów. Jako miejsce pomiaru stężeń zanieczyszczeń wyznaczono rurociąg spalin przed kominem kotłów węglowych (traktując układ reaktor zgazowania-kocioł jako samodzielny i niezależny od pozostałych emitorów). Do pomiaru składu spalin ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) wykorzystano mobilny zestaw analizatorów składu spalin (SIEMENS). Część oznaczeń ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{PCDD/Fs}$ ) wykonała wyspecjalizowana firma EMIPRO Sp. z o.o. z Krakowa.

Podczas całego okresu przebiegu testu nie stwierdzono żadnych utrudnień technologicznych w pracy reaktora zgazowania. Nie stwierdzono także zaburzeń parametrów technologicznych kotła. Wszystkie mierzone parametry podczas prowadzonego testu były stabilne (tabela 5.1).

Tabela 5.1. Średnie parametry eksploatacyjne pracy układu reaktor zgazowania–kocioł.

Parametr	Symbol	Jednostka	Wartość
<i>Reaktor zgazowania</i>			
Strumień odpadów	$m_o$	kg/h	915
Temperatura gazu na wylocie z reaktora	$T_g$	$^{\circ}\text{C}$	510
Temperatura w strefie zgazowania	$T_{zg}$	$^{\circ}\text{C}$	692
Temperatura w zsypie reaktora	$T_{zs}$	$^{\circ}\text{C}$	121
<i>Kocioł</i>			
Strumień pary	$M_p$	kg/h	2874
Ciśnienie pary	$P_p$	MPa	0,782
Temperatura pary	$T_p$	$^{\circ}\text{C}$	170
Temperatura wody	$T_w$	$^{\circ}\text{C}$	94
Temperatura spalin	$T_{sp}$	$^{\circ}\text{C}$	242

Podczas testu wytworzono  $2600\text{m}^3_n$  gazu z 1Mg odpadów, co jest wartością podobną jak dla biomasy. Wcześniejsze badania wykazały, że kaloryczność gazu generowanego w reaktorze EKOD-1 ma ścisły związek z wartością opałową podawanego paliwa [5]. Z badanych odpadów uzyskano gaz o niskiej kaloryczności (około  $3,3\text{MJ}/\text{m}^3_n$  – tabela 5.2), niższej niż gaz uzyskany z biomasy.

Tabela 5.2. Parametry gazu procesowego.

Parametr	Symbol	Jednostka	Wartość
Wartość opałowa	$Q_w^d$	kJ/kmol	73356
	$Q^d$	kJ/ $\text{m}^3_n$	3272
Masa molowa	$M_g$	kg/kmol	28,73
Strumień gazu	$m_g$	kmol/h	106,9
	$v_{gn}$	$\text{m}^3_n/\text{h}$	2396,9
Temperatura gazu	$T_g$	$^{\circ}\text{C}$	510
Wskaźnik uzysku gazu z odpadów	$U_g$	$\text{m}^3_n/\text{kg}$	2,6

Na niską wartość opałową gazu wpływa niewątpliwie zastosowanie powietrza jako czynnika zgazowującego. Wytwarzany gaz jest rozcieńczony azotem, nie biorącym udziału w zachodzących reakcjach (tabela 5.3).

Tabela 5.3. Skład gazu procesowego ze zgazowania odpadów z MPGK Sp z o.o. Katowice.

Składnik	Jednostka	Wartość
$\text{CO}$	% $_{v/v}$	6,50
$\text{H}_2$	% $_{v/v}$	3,97
$\text{CH}_4$	% $_{v/v}$	2,10
$\text{C}_2\text{H}_4$	% $_{v/v}$	1,94
$\text{C}_2\text{H}_6$	% $_{v/v}$	0,09
$\text{C}_3\text{H}_6$	% $_{v/v}$	0,08
$\text{O}_2$	% $_{v/v}$	5,38
$\text{CO}_2$	% $_{v/v}$	11,06
$\text{N}_2$	% $_{v/v}$	68,88

Uzyskaną sprawność energetyczną procesu zgazowania na poziomie 82%, można uznać za wysoką (tabela 5.4). Surowy gaz spalał się samodzielnie i stabilnie w palnikach kotła zespolonego z reaktorem. Parametry technologiczne kotła nie odbiegały od uzyskiwanych dotychczas z wykorzystaniem innego typu odpadów, np. odpadów garbarskich. Z tego punktu widzenia można stwierdzić, że badane odpady posiadają właściwości energetyczne umożliwiające ich efektywną konwersję energetyczną w procesie zgazowania.

Tabela 5.4. Uproszczony bilans energetyczny procesu zgazowania odpadów i spalania wytworzonego gazu.

Parametr	Symbol	Jednostka	Wartość
<i>Reaktor zgazowania</i>			
Energia doprowadzona z odpadów	$E_{odp}$	kW	3484,6
Energia wyprowadzona z gazem procesowym (fizyczna i chemiczna)	$E_g$	kW	2748,3
Energia wyprowadzona z ogrzany powietrzem do kotła	$E_{pow}$	kW	115,4
Sprawność energetyczna reaktora zgazowania	$\eta_{zg}$	%	82,1
<i>Kocioł</i>			
Energia doprowadzona z powietrzem	$E_{pow}$	kW	115,4
Energia doprowadzona z wodą	$E_w$	kW	331,2
Energia doprowadzona z gazem procesowym	$E_g$	kW	2748,3
Energia wyprowadzona z parą	$E_p$	kW	2211,4
Energia wyprowadzona ze spalinami	$E_{sp}$	kW	621,6
Sprawność kotła	$\eta_k$	%	65,6
Sprawność energetyczna układu	$\eta_{układu}$	%	54,0

gdzie:

$$\eta_{zg} = (E_g + E_{pow})/E_{odp} \quad (1)$$

$$\eta_k = (E_p - E_w)/(E_g + E_{pow}) \quad (2)$$

$$\eta_{układu} = (E_p - E_w)/E_{odp} \quad (3)$$

Odrębnym zagadnieniem jest energetyczne wykorzystanie wytworzonego gazu. Niezależnie od konstrukcji kotła, która ma duży wpływ na sprawność odzysku energii – należy rozpatrywać zagadnienia emisji zanieczyszczeń powstających w wyniku spalania gazu w kotle i obowiązujących standardów emisyjnych. Proces spalania gazu wytworzonego z odpadów realizowany samodzielnie, bez udziału innych paliw, tworzy sytuację, w której instalacja taka jest traktowana jako spalarnia odpadów, ze wszystkimi konsekwencjami dotyczącymi wymagań technologicznych i formalno-prawnych. Instalacja, w której przeprowadzono testy, posiada jedynie zestaw urządzeń odpylających spaliny oraz monitoring parametrów technologicznych. Z tego powodu, praktycznie wszystkie zmierzone wartości emisji zanieczyszczeń występujących w spalinach (oprócz CO), znacznie przekraczają wartości limitowane dla spalarni odpadów (zał. nr 5 do rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 22 kwietnia 2011r w sprawie standardów emisyjnych - Dz. U. Nr 95, poz. 558). Zestawienie wyników pomiarów emisji poszczególnych zanieczyszczeń przedstawiono w tabeli 5.5.

Tabela 5.5. Wyniki pomiarów emisji zanieczyszczeń w spalinach za kotłem.

Składnik	Jednostka	Wartość przeliczona na 11% O <sub>2</sub>	Limit* (wartości średniodobowe)
O <sub>2</sub>	% v/v	11	-
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	782,5	400
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	216,09	50
CO	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	48,80	50
Pył	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	36,0	20
HCl	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	566,4	10
HF	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	1,95	1
(TOC)	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	27,2	10
PCDDs/Fs	ngTEQ/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	2,83	0,1

\*) zał. nr 5 do rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 22 kwietnia 2011r. w sprawie standardów emisyjnych (Dz. U. Nr 95, poz. 558)

Z przedstawionych wyników badań wyraźnie wynika, że przy rozpatrywaniu możliwości samodzielnej pracy instalacji (układ reaktor zgazowania-kocioł) niezbędne jest wyposażenie jej w dodatkowe układy oczyszczania spalin.

## 6. Podsumowanie

Przeprowadzone w warunkach przemysłowych testy powietrznego zgazowania frakcji z przesiewania kompostu wykazały przydatność tych odpadów do procesu zgazowania w reaktorze typu EKOD-1. W wyniku wysokosprawnego zgazowania badanych odpadów otrzymuje się niskokaloryczny gaz, który można samodzielnie spalać w kotle i odzyskiwać w ten sposób część energii zawartej w odpadach.

Poziom emisji zanieczyszczeń ze spalania wytworzonego gazu wskazuje na konieczność zastosowania dodatkowych urządzeń do oczyszczania spalin, lub realizację procesu w układzie współspalania w odpowiedniej proporcji z innym paliwem.

W IChPW trwają obecnie prace nad opracowaniem nowej konstrukcji reaktora zgazowania umożliwiającego skuteczną konwersję termiczną różnego rodzaju odpadów (w tym odpadów biodegradowalnych). W reaktorze tym możliwe będzie wytwarzanie gazu palnego o wysokiej czystości, którego spalanie pozwoli na spełnienie rygorystycznych wymogów emisyjnych.

## Literatura

1. Stassen H.E.M., Knoef H.A.M.: *Small scale gasification systems*, Biomass Technology Group BV, The Netherlands. 2001,
2. Bridgewater A.V., Toft A.J., Brammer J.G.: *A techno-economic comparison of power production by biomass fast pyrolysis with gasification and combustion*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6, 2002, s.181-248,
3. Chmielniak T., Żuromski Z.: *Zgazowanie biomasy w układach małej mocy na przykładzie gazogenerators firmy ZAMER*, Czysta Energia, 4, 2003,
4. Wasielewski R., Hrycko P., Raińczak J.: *Badania zgazowania odpadów z przesiewania kompostu*, Środowisko i Rozwój, 14, 2007, s.110-119.