



# Wpływ rodzaju czynnika zgazowującego na parametry gazu ze zgazowania osadów ściekowych

*Sebastian Werle*  
*Politechnika Śląska, Gliwice*

## 1. Wstęp

Według [12] osady ściekowe należą do grupy nr 19 jako odpady z instalacji i urządzeń służących zagospodarowaniu odpadów, z oczyszczalni ścieków oraz z uzdatniania wody pitnej i wody do celów przemysłowych. Osady ściekowe pochodzące z procesu oczyszczania ścieków są pozostałością po procesie mechanicznym, biologicznym bądź biologicznym zintegrowanym z usuwaniem tzw. biogenów. Tabela 1 przedstawia ilość wytwarzanych komunalnych osadów ściekowych w Polsce w latach 2005–2010 [11].

**Tabela 1.** Ilość produkowanych komunalnych osadów ściekowych w Polsce w latach 2005–2010, tyś ton suchej masy [11]

**Table 1.** The amount of municipal sewage sludge produced in Poland in the period 2005–2010, thousand tons dry basis [11]

2005	2006	2007	2008	2009	2010
486	501	535	567	573	600

Prognozy w zakresie wytwarzania osadów wskazują na dynamiczny ich [6]. W ciągu ostatnich dwudziestu lat nastąpiła zasadnicza zmiana w sposobie zagospodarowywania osadów ściekowych. Przed rokiem 2016 wprowadzony zostanie zakaz składowania osadów ściekowych, które charakteryzują się parametrami podanymi w tabeli 2 [13].

**Tabela 2.** Kryteria dopuszczenia składowania osadów ściekowych na składowisku [13]

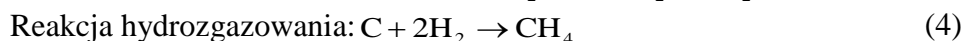
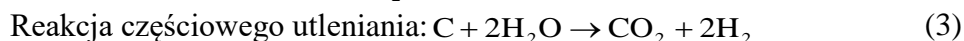
**Table 2.** Polish criteria for the storage of sewage sludge in a non-hazardous waste landfill [13]

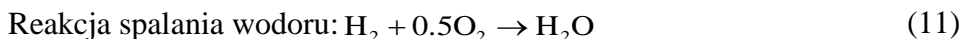
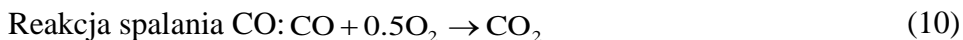
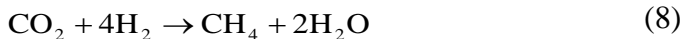
	Parametr	Wartość
1	Ogólny węgiel organiczny, % suchej masy	5,0
2	Strata przy prażeniu, % suchej masy	8,0
3	Ciepło spalania, MJ/kg suchej masy	6,0

Zgodnie z założeniami Krajowego Planu Gospodarki Odpadami 2014 [14] w najbliższym czasie termiczne metody wykorzystania osadów ściekowych będą dominującym sposobem ich wykorzystania. Zakłada się bowiem, iż ilość osadów przekształcanych termicznie w 2018 roku może wzrosnąć do 60% całkowitej masy odpadów [1].

Pod pojęciem termicznego przekształcania rozumie się: spalanie przez ich utlenienie oraz inne procesy termicznego przekształcania, w tym pirolizę, zgazowanie i proces plazmowy, o ile substancje powstające podczas tych procesów są następnie spalane [16]. Termiczne metody utylizacji odpadów [3, 10] w tym osadów ściekowych są ciągle procesem słabo rozpoznany i udokumentowany. W wielu przypadkach wciąż są na etapie badań wstępnych i opracowywania rozwiązań technologicznych [17]. Zgazowaniem paliwa nazywa się cykl przemian prowadzących do wytworzenia gazu [18]. Oprócz wytworzonego gazu palnego (CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) [15] powstają substancje ciekłe i smoliste oraz stałe (koksik, żużel).

Reakcje występujące podczas zgazowania można podzielić na: reakcje pierwotne (fazy stałej z gazową), reakcje wtórne (pomiędzy fazą gazową) oraz reakcje spalania [19]:





Zgazowanie odbywa się przez dodanie czynnika zgazowującego. Od rodzaju zastosowanego czynnika zależy w dużym stopniu skład i wartość opała otrzymanego gazu. Rozwój technologii zgazowania związany jest z rozwojem reaktorów. W nielicznych dotąd próbach zgazowania osadów ściekowych stosuje się głównie reaktory ze złożem stałym i fluidalnym. Fluidalne reaktory nadają się zwłaszcza do osadów o znacznej części składników mineralnych. Powszechnie uznaje się, iż technologie fluidalne przeznaczone są dla układów o stosunkowo dużych mocach (>10MW) [9]. Z kolei wyniki badań pokazują [4, 8] iż zgazowanie osadów ściekowych w reaktorach ze złożem stałym dolnociągowym (współprądowym) charakteryzują 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.

Osady ściekowe stanowią paliwo, które musi być odpowiednio przygotowane by proces ich zgazowania mógł być traktowany jako obiecująca metoda produkcji energii finalnej. Pomimo tego, że osady ściekowe zawierają spore ilości fosforu, azotu i siarki zgazowanie pozwala na przekształcenie siarki do siarkowodoru [7], azotu do amoniaku [2] a fosforu do stałych związków fosforanowych. Widać zatem, iż ogranicza się ilość produkowanych tlenków. Z tego względu zgazowanie wymaga mniejszych i mniej kosztownych instalacji do oczyszczania gazu [20].

Celem pracy jest określenie wpływu czynnika zagazowującego (powietrze, tlen, para wodna, mieszanina pary wodnej i powietrza, dwutlenek węgla i wodór) na parametry gazu ze zgazowania granulatów osadów ściekowych pochodzących z dwóch polskich oczyszczalni ścieków. Wyniki obliczeń równowagowych porównano z wynikami eksperymentalnymi przeprowadzonymi wykorzystując instalację ze złożem stałym.

## 2. Metodyka badawcza

Teoretyczna analiza procesu zgazowania osadów ściekowych może pomóc w znalezieniu parametrów prowadzenia procesu, przy których uzyskiwany gaz ze zgazowania charakteryzować się będzie względnie dużą wartością opałową. Obliczenia składu gazu uzyskanego ze zgazowania osadów ściekowych przeprowadzono opierając się na równowadze termodynamicznej [21, 22]. Wykonano sześć serii obliczeń. Każda seria uwzględniała zastosowanie innego czynnika zgazowującego:

- seria 1: powietrze,
- seria 2: tlen,
- seria 3: para wodna,
- seria 4: mieszanina pary wodnej i powietrza
- seria 5: dwutlenek węgla,
- seria 6: wodór.

Takie podejście wymusiło odejście od standardowych obliczeń zapotrzebowania tlenu do procesu zgazowania stosowanych w termodynamice technicznej, które polegały na obliczeniu rzeczywistej ilości powietrza. W pracy uwzględniono bowiem równania reakcji chemicznych (12) do (24) dominujące podczas zgazowania. Reakcje te przedstawiono w tabeli 3 [22].

Założono iż osady ściekowe zgazowywane są w reaktorze ze złożem stałym. Ilość smół powstających w tego typu reaktorach jest niewielka [8]. Przyjęto zatem iż jedynymi substancjami, jakie powstają podczas zgazowania są:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2$  i  $\text{CH}_4$  i  $\text{N}_2$ . Właściwości osadów ściekowych przyjętych do analizy przedstawiono w tabeli 4.

Zakładając równowagę stężeń przy temperaturze zgazowania wynoszącej  $700^\circ\text{C}$  oraz ciśnieniu wynoszącym 1 bar oraz dysponując współczynnikami stechiometrycznymi reakcji (12) do (24) obliczono skład gazu dla wszystkich serii. Do tego celu wykorzystano program Gasseq [5].

**Tabela 3.** Reakcje dominujące podczas zgazowania przy użyciu różnych czynników zgazowujących

**Table 3.** Main gasification reactions using various gasification agents

Seria	Reakcja	
1	$C + 0,5 \cdot O_2 + 1,88 \cdot N_2 \rightarrow CO + 1,88 \cdot N_2$	(12)
	$0,03495 \cdot C + 0,017475 \cdot O_2 + 0,065706 \cdot N_2 \rightarrow 0,03495 \cdot CO + 0,065706 \cdot N_2$	(13)
2	$C + 0,5 \cdot O_2 \rightarrow CO$	(14)
	$0,03495 \cdot C + 0,017475 \cdot O_2 \rightarrow 0,03495 \cdot CO$	(15)
3	$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$	(16)
	$0,03495 \cdot C + 0,03495 \cdot H_2O \rightarrow 0,03495 \cdot CO + 0,03495 \cdot H_2$	(17)
4	$C + a \cdot (O_2 + 3,76 \cdot N_2) + b \cdot H_2O \rightarrow CO + a \cdot 3,76 \cdot N_2 + b \cdot H_2$	(18)
	$C + 0,25 \cdot (O_2 + 3,76 \cdot N_2) + 0,5 \cdot H_2O \rightarrow CO + 0,94 \cdot N_2 + 0,5 \cdot H_2$	(19)
	$0,03495 \cdot C + 0,008738 \cdot O_2 + 0,032853 \cdot N_2 + 0,017475 \cdot H_2O \rightarrow 0,03495 \cdot CO + 0,032853 \cdot N_2 + 0,017475 \cdot H_2$	(20)
5	$C + CO_2 \rightarrow 2 \cdot CO$	(21)
	$0,03495 \cdot C + 0,03495 \cdot CO_2 \rightarrow 0,0699 \cdot CO$	(22)
6	$C + 2 \cdot H_2 \rightarrow CH_4$	(23)
	$0,03495 \cdot C + 0,0699 \cdot H_2 \rightarrow 0,03495 \cdot CH_4$	(24)

**Tabela 4.** Właściwości analizowanych osadów**Table 4.** Properties of analyzed sludge

Parametr	Osad ściekowy 1	Osad ściekowy 2
C, %	27,72	31,79
H, %	3,81	4,36
N, %	3,59	4,88
O, %	13,53	15,27
S, %	1,81	1,67
F, %	0,003	0,013
Cl, %	00033	0,022
Wilgoć, %	5,30	5,30
Popiół, %	44,20	36,50
Wartość opałowa, kJ/kg	10747	12962
Części lotne	49,00	51,50

### 3. Rezultaty

Skład gazu ze zgazowania osadów ściekowych przedstawiono w tabeli 5. Analizując otrzymane wyniki można wyraźnie stwierdzić, iż wpływ rodzaju zgazowywanego osadu na skład powstałego gazu jest niewielki. Objawia się on jedynie tym, iż im mniejszy udział pierwiastka węgla, wodoru i tlenu w zgazowywanym osadzie tym niższa zawartość palnych składników w gazie.

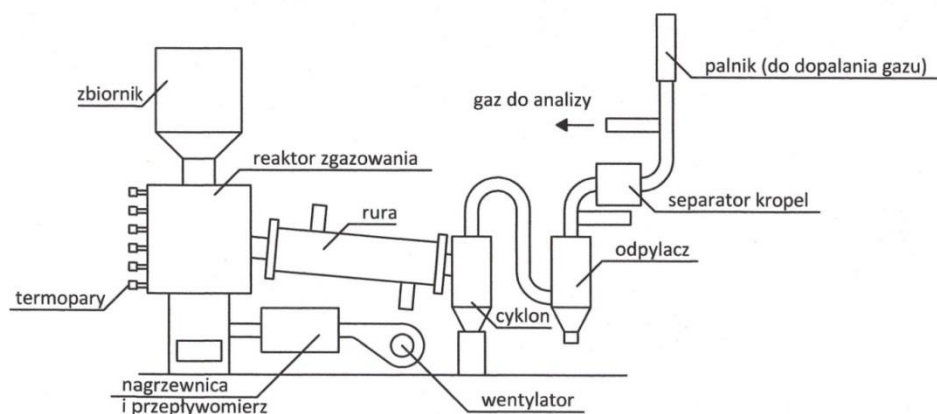
Zastosowany czynnik zgazowujący wpływa w istotny sposób na skład otrzymanego gazu. Z punktu widzenia wykorzystania energetycznego gazu ze zgazowania najważniejszymi składnikami w gazie są składniki palne – CO, H<sub>2</sub> oraz CH<sub>4</sub>. Analizując wyniki przedstawione w tabeli 5 widać, iż wodór, para wodna a także – w mniejszym stopniu – tlen oraz mieszanina pary wodnej i powietrza gwarantują uzyskanie gazu charakteryzującego się najwyższym udziałem objętościowym pożądanych składników. Nie mniej jednak należy mieć na względzie fakt, iż niska dostępność tych czynników oraz ich cena często uniemożliwia ich stosowanie. W tym kontekście należy uznać powietrze atmosferyczne za czynnik posiadający najwięcej zalet. Jest to czynnik powszechnie występujący i łatwo dostępny. Z tego względu wyniki badań modelowych porównano z wynikami eksperymentu przeprowadzonymi z wykorzysta-

niem instalacji zgazowania osadów ściekowych ze złożem stałym, która pozostaje w dyspozycji Instytutu Techniki Ciepłej. Schemat stanowiska przedstawiono na rysunku 1.

**Tabela 5.** Wyniki obliczeń składu gazu dla poszczególnych wariantów i analizowanych osadów

**Table 5.** Results of the gas composition for the analyzed cases and sewage sludge feedstock

Seria	Składnik, udział molowy					
	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
1						
Osad 1	0,000004	0,15862	0,08887	0,16176	0,47603	0,11472
Osad 2	0,000007	0,21389	0,06554	0,13389	0,53475	0,05193
2						
Osad 1	0,00003	0,29661	0,16622	0,30247	0,02010	0,21456
Osad 2	0,00007	0,45059	0,13808	0,28201	0,01987	0,10939
3						
Osad1	0,00010	0,24244	0,07392	0,48328	0,01374	0,18651
Osad 2	0,00029	0,31897	0,05150	0,51209	0,01251	0,10465
4						
Osad1	0,00003	0,19902	0,07870	0,29930	0,27315	0,14981
Osad 2	0,00006	0,26295	0,05562	0,29272	0,31027	0,07838
5						
Osad 1	0,00005	0,47628	0,15653	0,24958	0,01374	0,10382
Osad 2	0,00008	0,63014	0,11097	0,20140	0,01251	0,04490
6						
Osad 1	0,04822	0,21503	0,00028	0,72383	0,01145	0,00119
Osad 2	0,22844	0,16543	0,00002	0,59271	0,01329	0,00011



**Rys. 1.** Schemat instalacji do zgazowania osadów ściekowych

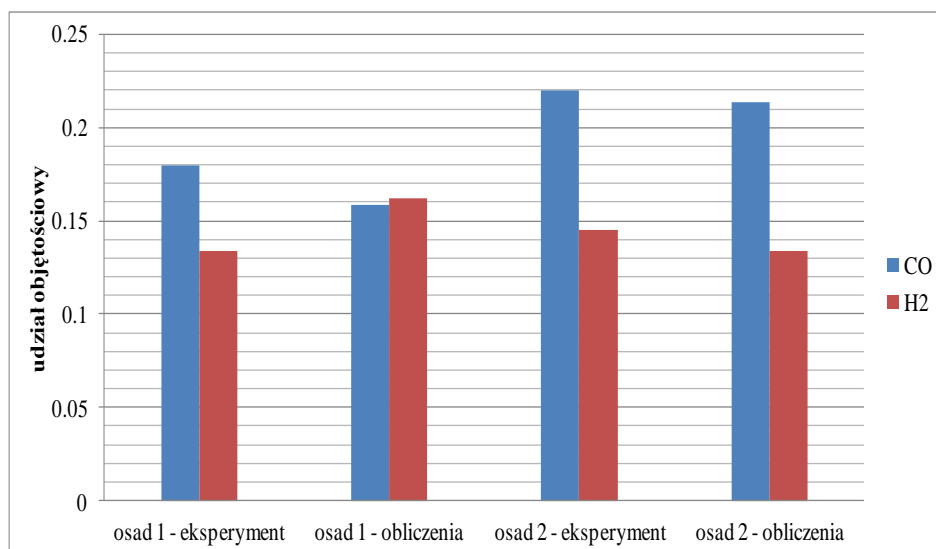
**Fig. 1.** Scheme installation of sewage sludge gasification

Głównym elementem instalacji jest reaktor o średnicy wewnętrznej 150 mm i całkowitej wysokości wynoszącej 250 mm. Maksymalna waga wsadu złożonego z granulowanych osadów ściekowych wynosi 5 kg. Osad ściekowy dostarczany jest do reaktora z góry, podczas gdy czynnik zgazowujący (powietrze atmosferyczne) od dołu. Paliwo przemieszcza się w reaktorze „po prąd” przechodząc kolejno przez strefę suszenia, pirolizy, redukcji oraz spalania. Wilgoć jest odparowywana w strefie suszenia. W strefie pirolizy osad ściekowy poddawany jest termicznemu przekształceniu do części lotnych oraz postaci stałej. W strefie redukcji, następuje przekształcenie węgla oraz produkcja CO oraz wodoru, będące 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. Temperatura w reaktorze jest mierzona dzięki umieszczonym sześciu termoparom typu N ulokowanym wzdłuż wysokości reaktora. Strumień masy powietrza doprowadzanego do reaktora jest mierzony za pomocą przepływomierza. Gaz ze zgazowania jest transportowany rurą gazową poprzez cyklon, odpylacz oraz separator



kropel. Udział molowy poszczególnych składników w gazie jest mierzony w systemie „on-line” za pomocą analizatorów.

Badania przeprowadzono w funkcji zmiennej ilości powietrza dostarczanego do reaktora. Założono, iż podczas eksperymentu stan równowagi zostaje osiągnięty, kiedy udział objętościowy wodoru w gazie osiąga wartość maksymalną. Prezentowane wyniki badań eksperymentalnych odpowiadają właśnie takiemu stanowi. Wyniki analizy porównawczej badań teoretycznych (seria 1) oraz wyników badań eksperymentalnych przedstawiono na rysunku 2. Analizując wykres należy podkreślić dużą zgodność wyników otrzymanych na drodze obliczeń równowagowych z wynikami uzyskanymi podczas badań eksperymentalnych.



**Rys. 2.** Porównanie wyników obliczeń równowagowych (seria 1) oraz badań eksperymentalnych

**Fig. 2.** Comparison of the equilibrium calculation results (series 1) and experimental studies

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Zgazowanie jest procesem umożliwiającym właściwe zagospodarowanie osadów ściekowych. Jest to zgodne z aktualnymi trendami dotyczącymi ich zagospodarowania, które zmierzają do zwiększenia ilości

osadów poddanych termicznej utylizacji. Uznając za nadrzędną potrzebę rozwoju termicznych metod unieszkodliwiania osadów ściekowych, a szczególnie niepoznanego dotąd w dostatecznie dobrym stopniu zgazowania, należy dokonywać teoretycznych analiz tego procesu. Wnioski z tych analiz są podstawą do znalezienia parametrów prowadzenia procesu, przy których uzyskiwany gaz ze zgazowania charakteryzuje się dużą kalorycznością. W pracy przedstawiono wyniki badań teoretycznych i eksperymentalnych procesu zgazowania granulowanych osadów ściekowych. Analiza teoretyczna obejmowała obliczenia równowagowe procesu zgazowania i weryfikację który z czynników zgazowujących daje możliwość na uzyskanie gazu o zadawalającej zawartości składników palnych. Do badań eksperymentalnych wykorzystano autorskie stanowisko badawcze z reaktorem ze złożem stałym.

Wyniki badań teoretycznych pokazały, iż wpływ rodzaju zgazowywanego osadu na skład powstałego gazu jest niewielki. Objawia się głównie tym, iż mniejszy udział pierwiastka węgla, wodoru i tlenu w zgazowywanym osadzie wpływa na niższą zawartość palnych składników w gazie i wzrostem udziału gazów inertnych, np. azotu. Zastosowany czynnik zgazowujący wpływa w istotny sposób na skład otrzymanego gazu. Wodór, para wodna a także – w mniejszym stopniu – tlen oraz mieszanina pary wodnej i powietrza gwarantuje uzyskanie gazu charakteryzującego się najwyższym udziałem objętościowym składników palnych. Nie mniej jednak z uwagi na niską dostępność tych czynników ich użycie jest często niemożliwe. Powietrze atmosferyczne w tym kontekście należy uznać za czynnik zgazowujący posiadający wiele zalet. Idea zgazowania osadów wiąże się ze stosowaniem reaktora bezpośrednio na miejscu wytworzenia osadów ściekowych wydaje się więc optymalne stosowanie jako czynnika zgazowującego powietrza atmosferycznego. Wyniki badań eksperymentalnych wykazują dużą zgodność z wynikami badań równowagowych.

## Literatura

1. **Białowiec A., Janczukowicz W., Krzemieniewski M.,** *Możliwości zagospodarowania popiołów po termicznym unieszkodliwianiu osadów ściekowych w aspekcie regulacji prawnych.* Rocznik Ochrony Środowiska (Annual Set of Environmental Protection), 11, 959–971 (2009).

2. **Buckley J.C., Schwarz P.M.:** *Renewable energy from gasification of manure: An innovative technology in search of fertile policy.* Environmental Modeling Assessment, 84, 111–127 (2003).
3. **Dąbrowski J., Piecuch T.:** *Mathematical description of combustion process of selected groups of waste.* Rocznik Ochrony Środowiska (Annual Set of Environmental Protection), 13, 253–268 (2011).
4. **Dogru M., Midilli A., Howarth C.R.:** *Gasification of sewage sludge using a throated downdraft gasifier and uncertainty analysis.* Fuel Processing Technology, 75, 55–82 (2002).
5. <http://www.c.morley.dsl.pipex.com/>
6. **Kitczak T., Czyż H., Kiepas-Kokot A.:** *Wpływ sposobu i terminu stosowania osadów komunalnych na skład chemiczny gleby i runi trawników.* Rocznik Ochrony Środowiska (Annual Set of Environmental Protection), 12, 207–218 (2010).
7. **Meng X., de Jong W., Pal R., Verkooijen A.H.M.:** *In bed and downstream hot gas desulphurization during solid fuel gasification: A review.* Fuel Processing and Technology, 91, 964–981 (2010).
8. **Midilli A., Dogru M., Howarth C.R., Ling M.J., Ayhan T.:** *Combustible gas production from sewage sludge with a downdraft gasifier.* Energy Conversion and management, 42, 155–172 (2001).
9. **Nadziakiewicz J., Waclawiak K., Stelmach S.:** *Procesy termiczne utylizacji odpadów.* Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
10. **Piecuch T., Dąbrowski J., Dąbrowski T.:** *A laboratory investigations on possibility of thermal utilization of post-production Waste polyester.* Rocznik Ochrony Środowiska (Annual Set of Environmental Protection), 11, 87–101 (2009).
11. **Rocznik statystyczny GUS,** Warszawa 2010.
12. **Rozporządzenie Ministra Środowiska** z dnia 27 września 2001 w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. nr 112 poz. 1206).
13. **Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy** z dnia 8 stycznia 2013r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczenia odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu (Dz. U. 2013 nr 0 poz. 38).
14. **Uchwała Rady Ministrów** nr 217 z dnia 24 grudnia 2010 w sprawie "Krajowego planu gospodarki odpadami 2014" (M.P. nr 101/2010 poz. 11183)
15. **Werle S., Wilk R.K.:** *Ignition of methane and propane in high-temperature oxidizers with various oxygen concentrations,* Fuel, 89, 1833–1839 (2010).
16. **Werle S., Wilk R.K.:** *Experimental investigation of the sewage sludge gasification process in the fixed bed gasifier,* Chemical Engineering Transactions, 29, 715–720 (2012).

17. **Werle S.:** *Possibility of NO<sub>x</sub> emission reduction from combustion process using sewage sludge gasification gas as an additional fuel.* Archives of Environmental Protection, 3, 81–89 (2012).
18. **Werle S., Wilk R.K.:** *Analiza przydatności gazu ze zgazowania osadów ściekowych w gazownictwie,* Rynek energii, 5, 23–27 (2011).
19. **Werle S.:** *A reburning process using sewage sludge-derived syngas,* Chemical Papers, 2, 99–107 (2012).
20. **Werle S.:** *Modeling of the reburning process using sewage sludge-derived syngas.* Waste Management, 32, 753–758 (2012).
21. **Werle S.:** *Estimation of reburning potential of syngas from sewage sludge gasification process.* Chemical and Process Engineering, 4, 411–421 (2011).
22. **Zainal Z.A., Ali R., Lean C.H., Seetharamu K.N.:** *Prediction of performance of a downdraft gasifier using equilibrium modeling for different biomass materials.* Energy Conversion and Management, 42, 1499–1515 (2001).

## Acknowledgement

The paper has been prepared within the framework of the Ministry of Science and Higher Education Iuventus Plus Programme Project no. 0593/IP2/2011/71

## Influence of the Gasification Agent Type on Syngas Parameters

### Abstract

Today, there is a rising interest in many countries in biomass utilization (e.g. combustion, co-combustion, gasification and pyrolysis). This is a result of the limited reserves of fossil fuels (and because of security of energy supplies in a world) and environmental and climate regulations on CO<sub>2</sub> emissions. Sewage sludge is a solid, semisolid, or liquid residue that results after the treatment process of waste water. During the last twenty years, there has been a major change in the way that sludge is disposed. As a result, there is a large and pressing need for the development of thermal methods for the disposal of sewage sludge.

Gasification has several advantages over a traditional combustion process. It is the process of converting a solid fuel into a gaseous fuel using gasification agent (e.g. O<sub>2</sub>, atmospheric air, H<sub>2</sub>O (g) and others). This gaseous fuel can be used for the generation of useful form of final energy. It can be also used in such processes as the drying of sewage sludge directly on waste treatment plant. Volume of produced gas is lower in comparison of volume of flue gas

from combustion process. This is due to the fact that gasification is the process characterizing by low level gasification agent environment. Gasification agent strong influence on the gasification gas composition.

In order check the influence of the gasification agent on the gasification gas composition equilibrium calculation of sewage sludge gasification process have been done. It was assumed that the gasification process was carried out in a downdraft fixed bed gasifier. In that way, the amount of tar at the end of the process is very low because the most of it is combusted in the oxidation zone. For that reason tars are ignored in the model, and the only species created during the process are CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>. Two assumptions made during the calculations are important. Firstly, it was assumed that the residence time of the reactants in the reactor is long enough to achieve an equilibrium, which has also been confirmed by the authors and secondly, it was assumed that all of the carbon in the sewage sludge is gasified, so the formation of charcoal can be neglected. The calculation of the composition of the gasification gas was done for two types of sewage sludge analyzed. Gaseq software was used to calculation. Results shows that using hydrogen and water vapor as a gasification agent gives chance to produce gas with the highest lower calorific value. Nevertheless taking into consideration that those agents are expensive and not open for general use, atmospheric air seems to be better. It was the main reason that calculation results with the atmospheric air as a gasification agent was compared with experimental results. For the purpose of experimental investigations, a laboratory system was designed and built. Calculation and experimental results shows strong agreement.

**Słowa kluczowe:** osady ściekowe, zgazowanie, obliczenia równowagowe, badania eksperymentalne, reaktor ze złożem stałym

**Key words:** sewage sludge, gasification, equilibrium calculation, experimental study, fixed bed gasifier