

Marek SZYMCZAK<sup>1</sup>  
Andrzej TOMPOROWSKI<sup>2</sup>

## **WYSUSZONY OSAD ŚCIEKOWY I BIOMASA JAKO PALIWO ODNAWIALNE**

W artykule przedstawiono sposób termicznej utylizacji wysuszonego osadu ściekowego, w procesie zgazowania biomasy powstałej ze słomy oraz kory w postaci luźnej bądź sprasowanej, co stanowi mieszaninę paliwa odnawialnego o różnych udziałach masowych w celu podniesienia efektywności wykorzystania wysuszonego osadu ściekowego o zawartości 90% s.m. w gospodarce ciepłej i energetycznej. Stosowanie techniki zgazowywania i pirolizy w procesach termicznych konwersji energii chemicznej paliw odnawialnych w tym słomy i kory jest możliwe. Wytworzony gaz ulega spalaniu w komorze spalania kotła, a uzyskane ciepło w wyniku procesów termicznych, wykorzystywane może być do celów grzewczych. Stosowanie paliw odnawialnych w energetyce i ciepłownictwie może przyczynić się do wdrożenia recyklingu odpadów. Zastąpienie węgla kamiennego w ciepłownictwie zmniejszy emisję pyłów, szkodliwych związków do atmosfery przez zastosowanie bezodpadowego i nisko emisyjnego spalania biomasy z wykorzystaniem pirolizy i spalaniu wytworzonego gazu. Nowe technologie przetwarzania i spalania paliw odnawialnych, szczególnie technologia zgazowywania jest bezpieczna dla środowiska ze względu na niski stopień zanieczyszczenia spalin szkodliwymi związkami siarki i azotu. Wysoka sprawność konwersji energii zapewnia opłacalność inwestycji związanych z wytwarzaniem paliw z biomasy i spalania gazu generatorowego w celu wytworzenia energii ciepłej lub elektrycznej. Spalając paliwa odnawialne powstaje znikoma ilość popiołu, który może być wykorzystywany jako nawóz. Zastosowanie takiego rodzaju paliwa ma na celu zwiększenia możliwości uzyskania dodatkowych odnawialnych źródeł energii. Przedstawiono wyniki badań.

**Słowa kluczowe:** biomasa, wysuszony osad ściekowy, współspalanie, zgazowanie, procesy termiczne, ciepło

### **1. Wprowadzenie**

Podpisanie przez Polskę w 2002 roku Protokołu z Kyoto wprowadza obowiązek zredukowania emisji gazów cieplarnianych i pyłów. Zagadnienia te wspiera Unia Europejska poprzez wprowadzenie Dyrektywy 2001/77/WE

<sup>1</sup> Autor do korespondencji: Marek Szymczak, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, 85-793 Bydgoszcz, ul. Prof. S. Kaliskiego 7, 52 340 8258, marszym@utp.edu.pl

<sup>2</sup> Andrzej Tomporowski, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, 85-793 Bydgoszcz, ul. Prof. S. Kaliskiego 7, 52 340 8255, andrzej.tomporowski@utp.edu.pl

w sprawie produkcji energii elektrycznej wytworzonej z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 30 maja 2003 roku w sprawie szczegółowego obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła z odnawialnych źródeł energii oraz energii elektrycznej wytworzonej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła, co w efekcie daje możliwość współspalania paliw.

Na świecie zasoby biomasy kalkulowane są na poziomie 280 EJ/rok i są o około 6 razy wyższe od ich stopnia wykorzystania. Natomiast zwiększenie produkcji biomasy wiąże się z koniecznością przeznaczenia znacznych powierzchni ziemi pod uprawę roślin energetycznych. Światowe zasoby biomasy obecnie stanowią od 9 do 13% zapotrzebowania na energię. [9]

Wdrożenie technologii spalania niekonwencjonalnego paliwa odnawialnego, jakim jest biomasa, przyczyni się do ograniczenia zanieczyszczenia środowiska odpadami i szkodliwymi produktami spalania, zawierającymi szkodliwe związki azotu i siarki. Prowadzone badania zwiększają zasób wiedzy o przebiegu procesów termodynamicznych podczas spalania biomasy, prowadząc jednocześnie do udoskonalania urządzeń do spalania.

W celu uzyskania wysokiej sprawności spalania, konieczna jest aglomeracja ciśnieniowa biomasy zwana potocznie brykietowaniem. Zabieg ten wprowadzie energochłonny, jednocześnie zwiększa efektywność energetyczną takiej postaci paliwa w wyniku zwiększenia gęstości, niższej wilgotności, przechowywania i możliwości spalania w konwencjonalnych paleniskach.

Biomasa w postaci brykiety jest jednorodna, ma ustabilizowane parametry cieplne, gęstość i wilgotność. Spalanie brykietów przebiega bez zakłóceń w ustalonych warunkach przy wysokiej sprawności cieplnej procesów termicznych i konwersji energii chemicznej paliwa na ciepło.

## 2. Osad ściekowy

Suszenie osadów ściekowych stanowi podstawowy warunek, umożliwiający ich ewentualne zagospodarowanie jako paliwa. Spalanie osadów odwodnionych po prasowaniu, o wilgotności 75 ÷ 84% jest praktycznie procesem niemożliwym technologicznie i nieefektywnym ekonomicznie.

Suszenie osadu jest niezwykle energochłonnym zabiegiem technologicznym. Ciepło do suszenia można pozyskać spalając biogaz z fermentacji ścieków. Traktując część osadu ściekowego jako biomasę i poddaniu jej termicznemu przekształceniu pozwoli uzyskać dodatkową energię. Z osadu ściekowego, który jest poddany w suszarniach procesowi odparowania wody, uzyskujemy nawóz organiczny w postaci granulowanej o zawartości 90% s.m. Wysuszony osad ściekowy można ponownie wykorzystać do współspalania jako mieszanki paliwa z odpadami drewna, słomy czy węgla kamiennego w różnych proporcjach masowych. Wartość opałowa wysuszonego osadu ściekowego użytego w badaniach wynosiła około 14 MJ/kg, przy zawartości 32% popiołu.

Współspalanie wysuszonego osadu ściekowego i biomasy może stanowić postać paliwa alternatywnego. Taka postać paliwa może być poddana procesowi zgazowania, co zwiększy efektywność spalania. [1, 5-8].

### 3. Kora

Nazwą kora określa się wszystkie tkanki pierwotne i wtórne znajdujące się na przekroju poprzecznym rośliny na zewnątrz od miazgi. Problem wykorzystania kory odpadowej powstał najpierw w Ameryce, następnie w Europie z chwilą wprowadzenia mechanizacji procesu korowania. Udział kory w stosunku do ogólnej masy pnia jest zróżnicowany w zależności od gatunku drzewa wynosi dla sosny od 10 do 17 %. Kora przewyższa drewno zawartością popiołu i jego zawartość w lustrzance młodych drzew wynosi około 3,5%, a w martwicy 1,7%. Kora nie jest wartościowym, pod względem energetycznym, odpadem przemysłu drzewnego, stanowiącym od 10 do 15% masy pozyskiwanego drewna. Jej wartość opałowa wynosi 18,5÷20 MJ/kg, wilgotność 55÷65%, a zawartość popiołu, który ma tendencję do żużlowania stanowi 1÷3% suchej masy [6].

Przez pirolizę kory (destylację rozkładową) należy rozumieć rozkład termiczny kory przy ograniczonym dostępie powietrza. Rozdrobniona kora, o małej wilgotności, łatwo stosunkowo ulega rozkładowi termicznemu w temperaturze od 270 do 400°C, przy użyciu techniki fluidyzacyjnej z azotem.

Jako produkt pirolizy kory otrzymuje się gaz zawierający tlenek i dwutlenek węgla, metan, wodór, substancje ciekłe, składające się w 20% z metanolu i kwasu octowego i acetonu a także smoły i produktów rozkładu termicznego żywicy w przypadku kory sosnowej. Zamiast pirolizy możemy przeprowadzić zgazowanie kory, czyli termiczny rozkład przy dopływie powietrza z parą wodną. W wyniku takiego spalania tworzy się gaz oraz powstają substancje mineralne w postaci popiołu. Składnikami gazu są: wodór, tlenek węgla, metan, oraz składniki niepalne dwutlenek węgla i azot. Wartość opałowa uzyskanego gazu wzrasta wraz z udziałem gazów palnych. W przypadku zgazowania kory z domieszką odpadów drzewnych, z 1kg bezwzględnie suchej substancji można uzyskać około 4m<sup>3</sup> gazu, który może być używany do spalania również w stanie nieoczyszczonym.

### 4. Słoma

Produkcja rolnicza w Polsce przynosi zbiory słomy zbóż w ilości 25 mln ton rocznie, jednak spora jej część wykorzystywana jest jako ściółka, pasza lub komponent nawozu naturalnego. Gdyby z wymienionych wcześniej 25 mln ton słomy wykorzystać na cele energetyczne około 50% (12,5 mln ton), możliwe byłoby zaoszczędzenie około 5 mln ton węgla rocznie, przy założeniu wartości opałowej słomy na poziomie 16 MJ/kg. Należy także uwzględnić korzyści związane z mniejszą uciążliwością dla środowiska. Słoma charakteryzuje się również obojętnym bilansem emisji dwutlenku węgla, znacznie mniejsza jest emisja dwutlenku siarki niż w przypadku paliw kopalnych, a emisja tlenków azotu jest na porównywalnym poziomie.

Wartość opałowa słomy uzależniona jest między innymi od takich czynników jak zawartość wilgoci, rodzaj zboża, rodzaj gleby i sposób nawożenia. Przy wykorzystania słomy jako paliwa odnawialnego maksymalna zawartość wilgoci powinna wahać się w granicach 15% ÷ 22%. Energia chemiczna 1 kg słomy o wilgotności 15% wynosi 14,3 MJ, co odpowiada energii chemicznej zawartej w 0,81 kg drewna opałowego lub 0,41 m<sup>3</sup> gazu ziemnego wysokometanowego [1,5-8].

## 5. Badania nad wykorzystaniem biomasy i osadu ściekowego

Termiczną utylizację mieszaniny wysuszonego osadu ściekowego o zawartości 90% s.m. z biomasą w postaci kory i słomy przeprowadzono w kotle niskotemperaturowym z nagrzewnicą powietrza VIGAS-25N. Wnętrze kotła stanowi komora załadownicza, w której umieszcza się badany rodzaj biomasy. W komorze tej biomasa ulega spalaniu i zgazowaniu. Następnie powstały gaz przechodzi przez dyszę wykonaną z betonu ogniotrwałego do komory spalania, gdzie ulega spalaniu przy wykorzystaniu dodatkowego nadmuch powietrza, które przepływa przez wymiennik ciepła dwurzędowy płomieniówkowy o wymiarach 57 x 5 mm po 6 sztuk w każdym rzędzie. Wydmuchiwane powietrze może być odprowadzane do ogrzewanych pomieszczeń. Badania współspalania słomy, kory z wysuszonym osadem ściekowym o 90 % s.m. przeprowadzono dla różnych udziałów masowych paliwa. Przyjęto następujące procentowe proporcje wysuszonego osadu ściekowego: 20% i 40%. Do badań użyto zaproponowaną mieszaninę biomasy o łącznej masie 5 kg z uwzględnieniem procentowych udziałów dla poszczególnych biomas. Zakres badań obejmował następujące zagadnienia:

- analizę możliwości wykorzystania wysuszonego osadu ściekowego i biomasy w postaci kory i słomy w technice zgazowania,
- badania techniczne biomasy i wysuszonego osadu ściekowego dla wyznaczenia własności tych paliw,
- badania w skali półtechnicznej zgazowania paliwa i spalania wytworzonego gazu w nagrzewnicy powietrza VIGAS,
- analizę spalin i ciepło uzyskane w procesie.

Cykl pomiarowy prowadzony podczas procesu współspalania i zgazowania biomasy został podzielony na trzy etapy. Pierwszy etap obejmował proces rozpalania biomasy, drugi to właściwe współspalanie i zgazowanie, trzeci to proces końcowego dopalania biomasy.

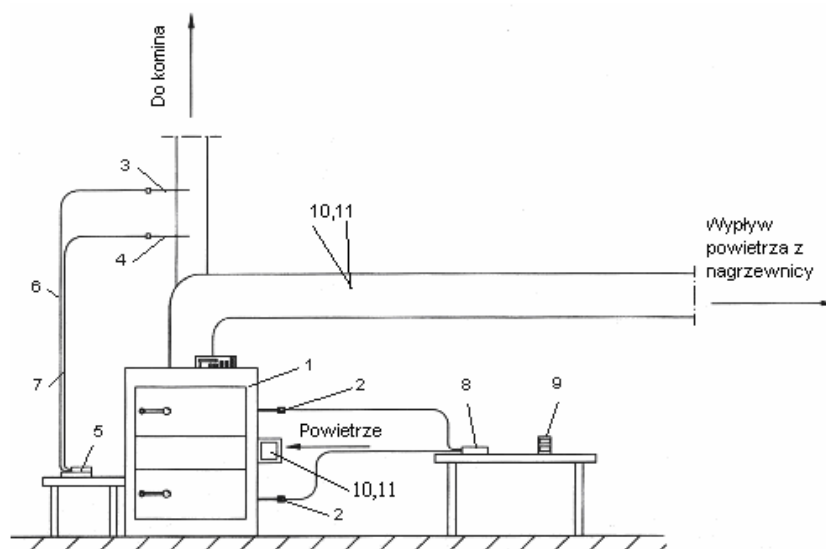
Dla proponowanych proporcji paliwa z biomasy wyznaczono: ciepło spalania, wartość opałową, zawartość popiołu, wilgotność, zawartość części lotnych. Analizę spalin wykonano analizatorem spalin TESTO 350M umieszczając sondy w przewodzie odprowadzającym spaliny.

Jednocześnie mierzono temperaturę w komorze załadowniczej jak i dopalania gazu, oraz parametry powietrza na doprowadzeniu do kotła. Dla określenia ilości powietrza na zasilaniu do kotła jak i na wylocie z nagrzewnicy powietrza zainstalowano kanały pomiarowe.

Pomiary strumieni objętości powietrza przepływającego przez przekroje kontrolne kanału wentylacyjnego wykonano zgodnie z obowiązującymi Polskimi Normami. Dokonano pomiarów prędkości miejscowych w kanałach przepływowych w określonych punktach, wyznaczano wartość średnią prędkości strumieni. Obliczano strumienie objętości powietrza przepływające przez kanały.

Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 1.

Wyniki pomiarów przedstawiono w tabelach 1 do 3 oraz przedstawiono graficznie na wykresie 1 [7,8].



Rys.1. Schemat stanowiska badawczego do zgazowywania biomasy i spalania wytworzonego gazu syntezowego: 1 - kocioł VIGAS V-25, 2 - termopary, 3 - sonda różnicy ciśnień, 4 - sonda spalin, 5 - analizator spalin TESTO 350 M, 6, 7 - przewody połączeniowe sond, 8 - termometr z datalogerem DO 9416, 9 - psychrometr elektroniczny THERM 2286-2, 10 - termoanemometr TESTO 491, 11 - termometr TESTO 720

Fig.1. The scheme of the test bench for biomass gasification and combustion of produced synthesis gas 1-boiler VIGAS V-25, 2-thermocouples, 3-differential pressure probe 4- exhaust gas probe, 5- gas analyzer TESTO 350 M, 6, 7-the connecting cables of probes, 8-thermometer datalogerem DO 9416, 9-electronic psychrometer THERM 2286-2, 10-Thermo-anemometer TESTO 491, 11-thermometer TESTO 720

Tabela 1. Ciepła ze zgazowania słomy rzepakowej, kory i wysuszonego osadu ściekowego o zawartości 90% s.m.

Table 1. Analysis of heat obtained from gasification of rapeseed straw, bark and dried sewer sediment containing 90% of s.m.

Rodzaj biomasy	Ciepło kJ	Strumień ciepła kJ/h
Słoma rzepakowa 100%	6943	1,51
Kora 100%	6287	1,66
Wysuszony osad ściekowy o zawartości 90% s.m.	5257	0,48
Słoma rzepakowa 80% udziału i wysuszony osad ściekowy 20% udziału	2275	0,26
Słoma rzepakowa 60% udziału i wysuszony osad ściekowy 40% udziału	1910	0,20
Kora 80% udziału i wysuszony osad ściekowy 20% udziału	2520	0,39
Kora 60% udziału i wysuszony osad ściekowy 40% udziału	1819	0,28

Tabela 2. Wyniki analizy spalin podczas spalania biomasy i wysuszonego osadu ściekowego - TESTO 350 M

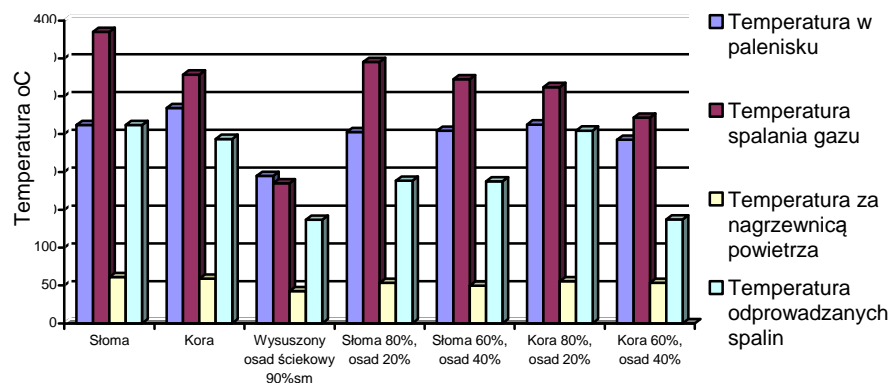
Table 2. Analysis of exhaust fumes obtained from combustion of biomass and dried sewer sediment- TESTO 350M

Parametr	Jednostka	Paliwo						
		słoma rzepakowa	kora	osad ściekowy	słoma 80% i osad 20%	słoma 60% i osad 40%	kora 80% i osad 20%	kora 60% i osad 40%
O <sub>2</sub>	%	10,7	16,8	15,9	16,8	15,1	13,0	17,4
CO	ppm	3654	1560	2776	3725	3509	3198	4037
NO	ppm	30	24	169	115	232	242	100
NO <sub>2</sub>	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NO <sub>x</sub>	ppm	27	27	169	113	230	241	98
SO <sub>2</sub>	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Strata kominowa	%	15,3	14,3	19,1	25,9	25,5	20,1	20,5
λ		6,7	6,32	4,11	4,95	3,55	2,63	5,85
CO <sub>2</sub>	%	1,4	3,1	3,3	2,8	3,9	5,2	2,3
H <sub>2</sub> S	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
H <sub>2</sub>	ppm	2850	3657	1369	3633	3638	2771	2908
E	%	77,6	80,9	80,9	74,1	74,5	79,9	79,5
Temp. pow. do spalania	°C	16,9	17,8	19,5	17,9	18,9	23,3	25,7
Temp. spalin	°C	231,1	243,6	169,6	189,0	241,6	254,60	137,30

Tabela 3. Analiza techniczna paliwa ze słomy rzepakowej, kory i wysuszonego osadu ściekowego o zawartości 90% s.m.

Table 3. Technical analysis of fuel obtained from rapeseed straw, bark and dried sewer sediment containing 90% of s.m.

Rodzaj biomasy	Wilgotność	Zawartość popiołu	Zawartość części lotnych	Ciepło spalania	Wartość opałowa
	%	%	%	kJ/kg	kJ/kg
Słoma rzepakowa	15,05	1,97	69,71	15880	14495
Kora	7,95	5,40	67,79	19122	17877
Wysuszony osad ściekowy 90% s.m.	10,90	32,80	53,29	13350	12401
Słoma rzepakowa 80% udziału i wysuszony osad ściekowy 20% udziału	7,12	10,64	73,63	14422	13251
Słoma rzepakowa 60% udziału i wysuszony osad ściekowy 40% udziału	6,50	16,54	68,85	13656	12564
Kora 80% udziału i wysuszony osad ściekowy 20% udziału	7,60	8,40	64,85	17756	16552
Kora 60% udziału i wysuszony osad ściekowy 40% udziału	7,20	14,90	61,36	16574	15453



Wykres 1. Zależność temperatury od zawartości procentowej słomy rzepakowej, kory i wysuszonego osadu ściekowego o zawartości 90% s.m.

Fig. 1. Temperature dependency of percentage of rapeseed straw, bark and dried sewer sediment containing 90% of s.m.

## 6. Podsumowanie

Nadwyżki biomasy i osadu ściekowego będą zmuszały do poszukiwań nowych rozwiązań w celu ich właściwego zagospodarowania i wykorzystania. Przyjęta przez Unie Europejską dyrektywa mówiąca o udziale energii odnawialnej w ogólnej produkcji energii, dla Polski będzie wymuszała działania związane z efektywniejszym wykorzystaniem potencjału energetycznego słomy jak i wysuszonego osadu ściekowego.

Przedstawione badania wykazują możliwość wykorzystania słomy oraz kory i wysuszonego osadu ściekowego do współspalania w proporcji 20% do 40%. Przy większych proporcjach współspalanie jest niekorzystne z uwagi na niską wartość opałową. Współspalanie takiego rodzaju paliw jest korzystne przy zachowaniu, że wilgotność słomy i kory jest poniżej 15%, a wysuszonego osadu ściekowego wynosi 10%.

Zaproponowany sposób termicznej utylizacji mieszaniny wysuszonego osadu ściekowego o zawartości 90% s.m. z biomasa w postaci słomy lub kory, który został przeprowadzony w kotle niskotemperaturowym wykazuje możliwości wykorzystania jako paliwa odnawialnego.

Należy jednak pamiętać, że proces suszenia osadu do otrzymania takich parametrów jest procesem energochłonnym. Słoma czy kora po aglomeracji ciśnieniowej jest pełnowartościowym i ekologicznym paliwem możliwym do stosowania w ciepłownictwie i ogrzewnictwie z wykorzystaniem wysuszonego osadu ściekowego o zawartości 90% s.m.

Zaproponowane rozwiązanie współspalania i zgazowywania jest bezpieczne dla środowiska ze względu na niski stopień zanieczyszczenia spalin szkodliwymi związkami siarki i azotu. Przetwarzanie biomasy z wysuszonym osadem ściekowym i jej stosowanie jako paliwa odnawialnego w postaci pelletów lub brykietów jest racjonalne gdyż paliwa takie są jednorodne, mają zbliżone wymiary, stabilne własności energetyczne.

## Literatura

- [1] Chalamoński M., Łukasiewicz J., Szymczak M.: Suszenie osadów ściekowych, Instytut Techniki Budowlanej, Ośrodek Informacji, Miesięcznik INSTAL Nr. 1, s. 48-52, 2008 r.
- [2] Hejft R.: Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych, Wydawnictwo Instytutu Technologii i Eksploatacji, Radom 2003r.
- [3] Kukliński M., Łukasiewicz J., Szymczak M.: Optymalizacja bilansu cieplnego suszarni osadów ściekowych. Termodynamika w nauce i gospodarce ton I s. 667 – 672. XX Jubileuszowy Zjazd Termodynamików, Wrocław 02.09.- 06.09.2008r. ISBN 978-83-7493-406-0.
- [4] Łukasiewicz J.: Spalanie biopaliw, IV Konferencja Naukowo-Techniczna, Krynica Zdrój 21-23 maj 2003r.
- [5] Szymczak M.: Badania wskaźników energetycznych słomy rzepakowej. Dwumiesięcznik Inżynieria i aparatura chemiczna, nr 1, s. 119-121, XII Konferencja Żywność człowieka - inżynieria maszyn, Bydgoszcz 23 luty 2007 r.
- [6] Szymczak M., Chalamoński M.: Spalanie wysuszonego osadu ściekowego wymieszanego z korą sosnową, Miesięcznik Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja nr 2/2011, str. 58-61. Warszawa 2011r.
- [7] Szymczak M.: Paliwa odnawialne w energetyce i ciepłownictwie, Międzynarodowa Konferencja Procesów Energii ECO – EURO – ENERGIA, 2 – 3 czerwca 2004 r. Bydgoszcz, s. 237 – 245.
- [8] Szymczak M., Łukasiewicz J.: Paliwa odnawialne źródłem energii, Miesięcznik INSTAL nr 7 – 8, s. 60 – 63, 2004 r.
- [9] Rocznik statystyczny GUS 2011 r.

## DRIED SEWAGE SEDIMENT AND BIOMASS AS A RENEWABLE FUEL

### S u m m a r y

This article presented the process and of thermal utilization of dried sewage sediment in the process of gasification it with biomass originated from straw, wood processing wastes and energetic plants in the of loose or pressed from which consists the mixture of renewable fuel with varying mass concentration so as to increase efficiency to use sewage sediment containing 90% of dry mass in thermal and energy management. It is possible to apply gassing and pyrolysis in thermal processes of renewable fuels' chemical energy conversion, including straw and bark. The produced gas will be combusted in the ventricle of the boiler and the obtained heat, resulting from some thermal processes, will be used for heating purposes. The usage of renewable fuels in power and heat engineering may contribute to the application of waste's recycling. The substitution of coal in heating will minimise the emission of dust as well as harmful compounds to the atmosphere, owing to the use of non-waste and low-emissive combustion of biomass with the application of pyrolysis and the combustion of the produced gas. New technologies of conversion and combustion of renewable fuel, especially the technology of gassing, are safe for the environment due to a low degree of fumes' pollution (dangerous compounds of sulphur and nitrogen). A high degree of energy conversion guarantees benefits of the investment being connected with producing fuel out of biomass and gas combustion generated for the purpose of producing either heat or electric energy. During the process of renewable fuel combustion, a minor degree of ash is produced which can be used for manuring purposes later on. The conversion of biomass into pellets or briquettes not only makes the transport and the distribution of such fuels much easier, but also stabilizes their quality. Converted fuels are homogenous, have similar measurements and stable features as: mass density, combustible value which facilitates the usage of boilers and automatic regulation of thermal processes. Use of such kind of fuel has on aim the enlargements the possibility of obtainment of additional renewable sources of energy. The results of investigations were introduced.

**Keywords:** biomass, dried sewage sediment, coburning/coincineration, gasifying, thermal process, heat

*Przesłano do redakcji: 13.01.2015 r.*

*Przyjęto do druku: 22.06.2015 r.*

DOI:10.7862/rb.2015.78