



# Zgazowanie odpadów. Stan obecny, trendy przyszłościowe.

## Gasification of waste. Current state, future trends.

\* Dr hab. inż. Tomasz J. Jaworski

\*- Politechnika Śląska,  
Katedra Technologii i  
Urządzeń Zagospodarowania  
Odpadów, Tel. +48  
32 2372122, mail: tomasz.  
jaworski@polsl.pl



### W KILKU SŁOWACH

Obecnie budowane instalacje wielkoskalowe zgazowania odpadów wykazują tendencję do korzystania z klasycznych, sprawdzonych przez lata technologii, takich jak gazogeneratory ze złożem stałym, gazogeneratory strumieniowe czy też gazogeneratory ze złożem fluidalnym. Równocześnie jednak sukcesywnie budowane są instalacje demonstracyjne wykorzystujące coraz bardziej zaawansowane technologie takie jak zgazowanie w stopionych metalach/solach czy też zgazowanie plazmowe. Technologie te umożliwiają uzyskiwanie praktycznie czystego gazu syntezowego, pozbawionego większości zanieczyszczeń, co znacząco obniża koszty budowy i utrzymania węzła doczyszczania gazu. Prognozy, zarówno te z lat ubiegłych jak i te najnowsze przewidują ciągły wzrost produkcji gazu syntezowego a więc i tym samym ciągłą budowę nowych instalacji w tym i również tych zasilanych odpadami (w przeciwieństwie do trendu z lat wcześniejszych). Wpływa to na coraz większą atrakcyjność tych technologii, które stają się interesującą alternatywą dla klasycznych układów spalania paliw kopalnych czy też odpadów..



### SUMMARY

Currently building large scale installations for gasification of waste tend to use classic, proven for years technology such as gas generators with fixed bed, gas flow generators, gas generators with fluidized bed. Simultaneously demonstration plants are being developed successively, using increasingly advanced technologies such as gasification in molten metals/salts or plasma gasification. These technologies make it possible to obtain practically pure synthesis gas, deprived of most of the impurities, which significantly reduces the cost of construction and maintenance of the flue gas cleaning system. Prognosis, both from previous years and the latest ones, predict a steady increase in synthesis gas production, and consequently the construction of new installations including those also powered with waste (in contrast to the trend of earlier years). It influences to increase of attractiveness of these technologies, which are becoming an interesting alternative to conventional systems of fossil fuel or waste incineration.

## 1. Wstęp

Początki technologii zgazowania paliw stałych sięgają już XIX wieku i mają dość długą historię. Pierwsze zastosowanie tego procesu

rozpoczęło się przed okresem intensywnego wydobycia ropy naftowej, a jego rozwój był i w dalszym ciągu jest uwarunkowany ceną oraz dostępnością innych, tańszych surowców energetycznych [1]. Historia pokazuje, że wykorzysta-

nie procesów zgazowania pozwoliło nie tylko na uzyskanie energii czy też wytworzenie półproduktów w przemyśle chemicznym, ale również na produkcję paliw napędowych, w które zresztą zaopatrywała się niemiecka armia podczas drugiej wojny światowej [1]. W oparciu o to rozwiązanie powstał także obecny do dziś koncern Sasol, który w tamtych czasach dzięki zastosowaniu procesu zgazowania węgla kamiennego umożliwił zaspokojenie potrzeb paliwowych Republiki Południowej Afryki [1].

W ostatnich czasach można dostrzec kolejny wzrost zainteresowania procesem zgazowania – nie tylko w Europie, ale również w Polsce. Mówi się nawet, że jego rozkwit ma dopiero nastąpić, bowiem zaczęto zdawać sobie sprawę, jak ważnym aspektem stała się energia i gaz. Motywacją okazała się być chęć uniezależnienia się od importu paliw z innych obszarów świata. Powrót do zgazowania byłby także olbrzymią szansą dla polskiego górnictwa węglowego. Z węgla, którego największym producentem w UE jest właśnie Polska, możliwe jest uzyskanie podczas zgazowania nie tylko produktów w postaci energii elektrycznej czy cieplnej, ale również paliw płynnych i surowców chemicznych m.in. w postaci metanolu, wodoru czy syntetycznego gazu [9]. Dodatkowym i równie ważnym mechanizmem, który mobilizuje do rozwoju technologii zgazowania, jest konieczność obniżenia ilości CO<sub>2</sub> jaka emitowana jest przy procesach spalania paliw [2].

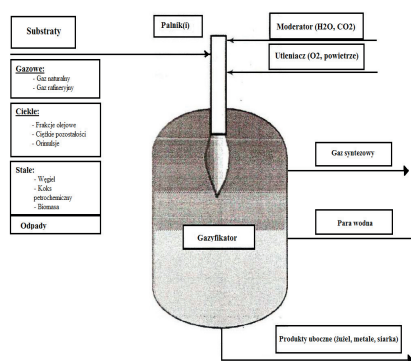
Obecne pokolenie zaczęło także intensywnie poszukiwać zaplecza surowcowego, które będzie mogło w przyszłości zastąpić paliwa nieodnawialne. Szczególną uwagę zwrócono na nagromadzające się wokół nas odpady. Problem związany ze zwiększającą się ich ilością, a tym samym z ich zagospodarowaniem można rozwiązać w znaczący sposób poprzez ich przeróbkę na paliwo. Tak więc odpady zarówno w postaci stałej jak i ciekłej, zawierające węgiel organiczny, mogą stanowić idealny wsad dla procesów zgazowania i być doskonałą alternatywą dla paliw kopalnych. Na składowisku można doszukać się wielu odpadów, które wyróżniają się cennymi walorami energetycznymi np. odpady z tworzyw sztucznych czy też odpady gumowe. Niektóre z nich mogą być wykorzystane jako surowce wtórne, ale są też takie, które ze

względu na utracone własności użytkowe mogą być poddawane jedynie termicznej obróbce np. spalaniu. W dzisiejszych czasach można zaobserwować, że zdecydowanie dominuje koncepcja budowania spalarni odpadów. Jednocześnie jednak zauważalny jest też rozwój technologii alternatywnych do spalania, wśród których wyróżnić można właśnie zgazowanie. Świadczy to o niewątpliwym odnowieniu zainteresowania tym procesem. Należy także podkreślić, że technologia zgazowania odznacza się zdecydowanie większą akceptacją społeczeństwa w stosunku do spalarni odpadów [11].

## 2. Charakterystyka procesu zgazowania

Zgazowanie można zdefiniować jako termiczny proces obróbki paliw stałych lub ciekłych, w których obecny jest pierwiastek węgiel, prowadzący do wytworzenia paliwa gazowego w postaci gazu generatorowego lub syntezowego, składającego się przede wszystkim z wodoru [H<sub>2</sub>] i tlenku węgla [CO] [3]. Przebieg procesu odbywa przy odpowiednio wysokich temperaturach oraz przy udziale czynnika konwertującego, pełniącego funkcję utleniacza [4]. Na ogół jest on doprowadzany w postaci powietrza (suchego, wilgotnego, wzbogaconego tlenem), czystego tlenu, pary wodnej, dwutlenku węgla lub jako mieszanina tych substancji [6].

Na poniższym rysunku (rys.1) zobrazowano sposób prowadzenia procesu zgazowania różnych paliw, w tym odpadów [1].



Rysunek 1. Schemat zgazowania różnych surowców [1].

Całemu procesowi zgazowania towarzyszy szereg endo-termicznych i egzotermicznych reakcji chemicznych. Najważniejsze z nich przedstawiono na poniższym rysunku (rys.2). Oprócz



nież wymienionych reakcji występują również takie, które mogą zachodzić podczas zgazowania odpadów i są one związane z ich składem.

Najważniejsze reakcje procesu zgazowania:		
1. Reakcje utleniania:	$C + O_2 = CO_2$	(2.1)
	$C + \frac{1}{2} O_2 = CO$	(2.2)
2. Reakcja Boudouarda:	$C + CO_2 = 2 CO$	(2.3)
3. Reakcja tworzenia gazu wodnego:	$C + H_2O = CO + H_2$	(2.4)
4. Reakcje tworzenia metanu:	$C + 2H_2 = CH_4$	(2.5)
	$CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O$	(2.6)
	$CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O$	(2.7)
5. Reakcja półspalania:	$2C + O_2 = 2CO$	(2.8)
6. Konwersja CO parą wodną:	$CO + H_2O = CO_2 + H_2$	(2.9)

Rysunek 2. Podstawowe reakcje procesu zgazowania [7, 8].

### 3. Rodzaje procesów zgazowania. Reaktory do zgazowania.

Procesy zgazowania można podzielić ze względu na [8]:

A. sposób dostarczania energii cieplnej do reaktora:

- zgazowanie autotermiczne - zachodzi, gdy reakcje egzotermiczne zapewniają wystarczającą ilość energii dla reakcji endotermicznych. Tego typu zgazowanie można prowadzić:

- parą wodną i tlenem na gaz średniokaloryczny,
- parą wodną i powietrzem na gaz niskokaloryczny,
- wodorem – hydrozgazowanie;

- zgazowanie allotermiczne – polega na dostarczeniu ciepła z zewnątrz, aby mogły zajść reakcje endotermiczne. Ciepło może być doprowadzone do reaktora przepływem lub za pomocą stałego nośnika.

B. wysokość temperatury, jaka występuje w strefie spalania [5]:

- zgazowanie średnotemperaturowe – proces zachodzący przy temperaturze 1000 - 1200°C, w wyniku którego powstają stałe produkty w postaci popiołu, mające zastosowanie w jednostkach o mniejszej skali;

- zgazowanie wysokotemperaturowe – proces zachodzący przy temperaturze 1400 - 1650°C, w wyniku którego powstają stałe produkty w postaci granulatu stopionego żużla nie zawierającego pozostałości węglowej, co wpływa na lepszą jakość uzyskanego gazu, lepszą wydajność oraz lepszy stopień rozłożenia paliwa.

C. rodzaj złoża przetwarzanego materiału

[10]:

- zgazowanie prowadzone w złożach stałych (nieruchomych lub przesuwnych) – proces, podczas którego zachodzi konwersja paliwa o uziarnieniu 5 – 80 mm.

W reaktorach ze złożem stałym przy przeciwnieprądowej realizacji procesu doprowadza się pod ruszt (na którym znajduje się dane paliwo) utleniacz w postaci powietrza i/lub pary wodnej. Powstający gaz odbierany jest u góry i chłodzony jest przez doprowadzane paliwo. Jego temperatura na wyjściu jest stosunkowo niska i ma wartość ok. 400-600°C [10].

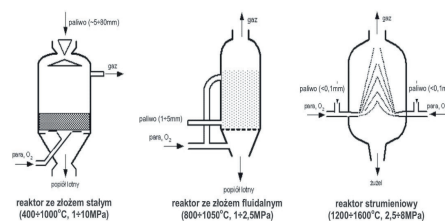
Współprądowa realizacja procesu polega na doprowadzaniu paliwa wraz z powietrzem lub parą wodną od góry oraz na wyprowadzeniu z reaktora (od dołu) gazów reakcyjnych, które mają wyższą temperaturę i tym samym niższą zawartość zanieczyszczeń [10].

- zgazowanie prowadzone w złożach fluidalnych – proces polegający na doprowadzaniu pod ciśnieniem czynnika zgazowującego w postaci powietrza i/lub pary wodnej od dołu rusztu, w wyniku czego cząstki paliwa utrzymują się nad rusztem w stanie zawieszonym. Powstające podczas zgazowania produkty gazowe są schładzane i oczyszczane w różnych instalacjach np.

odpylanie gazu odbywa się za pomocą elektrofiltrów, natomiast do oczyszczania stosuje się wodę lub rozpuszczalniki organiczne [10].

- zgazowanie prowadzone w złożach dyspersyjnych (strumieniowych) – proces, podczas którego paliwo o uziarnieniu poniżej 0,1 mm wprowadzane jest do strefy reakcyjnej łącznie z mieszaniną tlenu i pary wodnej. Reaktory strumieniowe pozwalają na uzyskanie wysokiego stopnia konwersji paliwa, natomiast wytworzony gaz zawiera mniej smolistych zanieczyszczeń [10].

Na poniższym rysunku (rys.3) przedstawiono podstawowe typy reaktorów, które stosowane są w procesach zgazowania.



Rysunek 3. Schematy podstawowych reaktorów zgazowania wraz z możliwymi zakresami temperatur oraz ciśnień [10].

#### 4. Stan i istniejący i rozwój techniki zgazowania

Współczesne, stosowane najbardziej znane technologie zgazowania w skali przemysłowej wg [ 13 ] przedstawiają się następująco:

Gazogeneratory ze złożem stałym

-Gazogenerator Lurgi

Gazogeneratory strumieniowe

-Gazogenerator GE

-Gazogenerator E-Gas™

-Gazogenerator Shell

Gazogeneratory ze złożem fluidalnym

-Gazogenerator High Temperature Winkler

-Gazogenerator transportowy KBR

-Gazogenerator U-GAS®

Inne technologie zgazowania

-Zgazowanie z łuku plazmowym

-Zgazowanie katalityczne

-Zgazowanie w stopionych solach/metalach

wchodzi 412 gazogeneratorów, w budowie znajduje się kolejnych 11 instalacji (17 gazogeneratorów) a planowanych jest jeszcze 37 instalacji (76 gazogeneratorów). Instalacje te znajdują się w 29 krajach z czego około 37% (w przeliczeniu na moc) znajduje się w Azji i Australii. Na drugim miejscu znajduje się rejon Afryki i Bliskiego Wschodu gdzie znaczący udział mają instalacje wybudowane w Katarze. Na kolejnych miejscach plasują się Europa i następnie Ameryka Północna. Większość instalacji będących w budowie (65%) znajduje się w rejonie Azji i Australii, pozostałe w Europie (18%)i w Ameryce Północnej (17%). Jeżeli chodzi o planowane instalacje to głównie mają się one znajdować w Ameryce Północnej (63%). Z pozostałych 37% aż 34% planowane jest do budowy w Azji i Australii z czego większość w Chinach. Szczegółowe dane przedstawione są w Tabeli 1 oraz na Rysunkach 4 i 5.

Większość spośród budowanych instalacji będzie zasilana węglem jednakże w przeciwieństwie do danych z roku 2007 planowana jest budowa nowych instalacji w których surowcem są biomasa i/lub odpady.

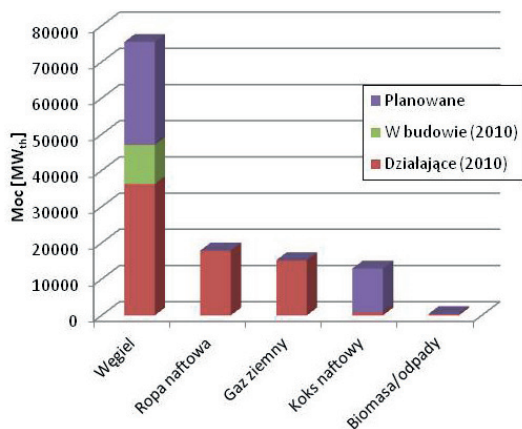
#### 5. Instalacje zgazowania na świecie.

Obecnie na całym świecie działają 144 przemysłowe instalacje zgazowania w skład których

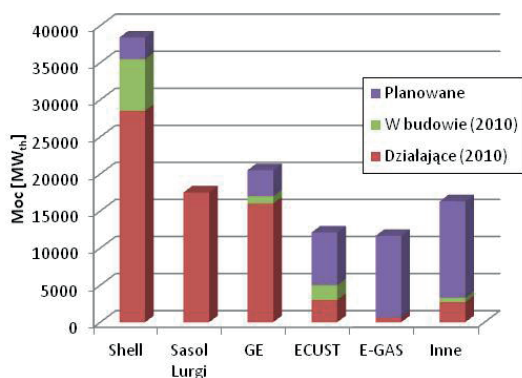
Surowiec		Działające (2010)	W budowie (2010)	Planowane (2011-2016)	Razem
Węgiel	Moc [MWth]	36315	10857	28376	75548
	Ilość gazogeneratorów	201	17	58	276
	Ilość instalacji	53	11	29	93
Ropa naftowa	Moc [MWth]	17938	-	-	17938
	Ilość gazogeneratorów	138	-	-	138
	Ilość instalacji	56	-	-	56
Gaz ziemny	Moc [MWth]	15281	-	-	15281
	Ilość gazogeneratorów	59	-	-	59
	Ilość instalacji	23	-	-	23
Koks naftowy	Moc [MWth]	911	-	12027	12938
	Ilość gazogeneratorów	5	-	16	21
	Ilość instalacji	3	-	6	9
Biomasa/odpady	Moc [MWth]	373	-	29	402
	Ilość gazogeneratorów	9	-	2	11
	Ilość instalacji	9	-	2	11
Sumaryczna moc [MWth]		70817	10857	40432	122106
Łączna ilość gazogeneratorów		412	17	76	505
Łączna ilość instalacji		144	11	37	192

Tabela 1 Zestawienie działających, w budowie i planowanych instalacji do zgazowania paliw i surowców [12]





Rysunek 4. Podsumowanie przemysłowych instalacji zgazowania pod kątem stosowanego surowca.[12]



Rysunek 5. Podsumowanie przemysłowych instalacji zgazowania pod kątem zastosowanych technologii [12]

### 6. Zgazowanie jako odzysk materiałowy w gospodarce odpadami

Ustawa „o odpadach” określa proces zgazowania jako jeden z procesów termicznego przekształcania odpadów z zastrzeżeniem, że produkty tego procesu powinny być utlenione (spalone). Zasady postępowania z odpadami tzw. hierarchia sposobów postępowania z odpadami również zapisana w tej samej ustawie określa natomiast postępujące po sobie kolejne etapy zagospodarowania odpadów są nimi:

- zapobieganie powstawaniu odpadów;
- przygotowywanie do ponownego użycia;
- recykling;
- inne procesy odzysku w tym odzysk energetyczny/materiałowy oraz unieszkodliwianie – np. składowanie, spalanie itd.

W tej hierarchii proces zgazowania może występować jako unieszkodliwianie (z zastrzeżeniem konieczności utleniania jego produktów) a także odzysku energetycznego, kiedy wykorzystane zostanie ciepło spalania jego produktów.

Natomiast hierarchia odzysku materiałowego procesów termicznego przekształcania odpadów w tym zgazowania wygląda następująco, tabela 2:

WEJŚCIE	PROCES	WYJŚCIE
Powietrze, dodatkowo może być en. elektryczna do palnika plazmowego, $I > 1,0$	SPALANIE	Spaliny, $CO_2$ , $H_2O$ , $N_2$ i zanieczyszczenia gazowe.
Powietrze, tlen, para wodna dodatkowo może być en. elektryczna do palnika plazmowego, $0,3 < I < 0,45$	ZGAZOWANIE	Gaz palny – $CO$ , $H_2$ , $CH_4$ , w przypadku powietrza $N_2$ . Zanieczyszczenia gazowe i smoliste.
Ciepło	PIROLIZA	Gaz palny, karbonizat i smoła

Tabela 1 Zestawienie działających, w budowie i planowanych instalacji do zgazowania paliw i surowców [12]

Odzysk materiałowy jest największy w przypadku pirolizy. Produktem materiałowym zgazowania jest gaz tzw. syngaz a także produkowane chemikalia np. metanol..., zatem proces ten otwiera nowe możliwości produktowe zyskując lepszą pozycję w hierarchii postępowania z odpadami, co przyczyni się przyszłościowo do jego rozwoju i doskonalenia technologii, szczególnie technologii zgazowania plazmowego.

### 7. Podsumowanie.

Technologie zgazowania są od wielu lat szeroko stosowane w procesach wytwarzania energii elektrycznej, pary wodnej czy też różnego rodzaju surowców chemicznych, z paliw takich jak węgiel kamienny lub brunatny, gaz ziemny, koks naftowy czy biomasa. W ostatnich latach proces zgazowania zaczyna nabierać coraz większego znaczenia jako metody zagospodarowywania/ utylizacji szerokiej gamy odpadów – czy to przemysłowych czy komunalnych. Instalacje zgazowania wykazują szereg zalet nad konwencjonalnymi metodami zagospodarowania odpadów. Większość technologii zgazowania, w przeciwieństwie do procesów spalania, wytwarza jako produkt uboczny, nie popiół lecz dużo bardziej obojętny dla środowiska żużel, czy też nawet wityrykat-szczególnie technologie plazmowe. Materiały te są wysoce odporne na procesy wy-



mywania, w związku z tym trwale immobilizują większość szkodliwych substancji, takich jak np. metale ciężkie, w związku z czym nie ma problemów z ich składowaniem, a nawet mogą znaleźć zastosowanie w przemyśle jako komponent materiałów budowlanych. Starsze technologie zgazowania, takie jak zgazowanie w złożu stałym na obrotowym ruszcie, są obecnie sukcesywnie zastępowane nowszymi. Kolejną zaletą technologii zgazowania jest znikoma ilość szkodliwych substancji takich jak dioksyny czy furany w gazach wylotowych. Przyczynia się do tego szereg czynników, takich jak wysoka temperatura procesu czy też niedomiar tlenu.

Proces zgazowania cechuje się również wysokim stopniem konwersji stosowanego paliwa – większość substancji organicznej paliwa – większość substancji organicznej paliwa przekształcana jest do palnego gazu. Dodatkowo zgazowanie umożliwia zagospodarowanie praktycznie każdego rodzaju odpadów zawierających substancję organiczną. Gazogeneratory są elastyczne jeżeli chodzi o stosowane paliwo, w związku z czym nie ma znaczenia fakt znacznych wahań w jakości czy ilości odpadów (wilgość, skład pierwiastkowy, wartość opałowa). Ewentualne braki można zastąpić np. węglem bądź innym typem odpadów. Dodatkową korzyścią jest fakt, iż z niskokalorycznych odpadów jesteśmy w stanie uzyskać średnio- bądź nawet wysokokaloryczny gaz. W przeciwieństwie do procesu spalania – gdzie jedynym produktem jest energia cieplna i elektryczna, w procesie zgazowania możemy wykorzystać uzyskany gaz nie tylko to generacji energii, lecz również do produkcji SNG, paliw płynnych, wodoru itp.

Obecnie budowane instalacje wielkoskalowe zgazowania odpadów wykazują tendencję do korzystania z klasycznych, sprawdzonych przez lata technologii, takich jak gazogeneratory ze złożem stałym, gazogeneratory strumieniowe czy też gazogeneratory ze złożem fluidalnym. Równocześnie jednak sukcesywnie budowane są instalacje demonstracyjne wykorzystujące coraz bardziej zaawansowane technologie takie jak zgazowanie w stopionych metalach/solach czy też zgazowanie plazmowe. Technologie te umożliwiają uzyskiwanie praktycznie czystego gazu syntezowego, pozbawionego większości zanieczyszczeń, co znacząco obniża koszty budowy i utrzymania węzła doczyszczania gazu.

Prognozy, zarówno te z lat ubiegłych jak i te najnowsze przewidują ciągły wzrost produkcji gazu syntezowego a więc i tym samym ciągłą budowę nowych instalacji w tym i również tych zasilanych odpadami (w przeciwieństwie do trendu z lat wcześniejszych). Wpływa to na coraz większą atrakcyjność tych technologii, które stają się interesującą alternatywą dla klasycznych układów spalania paliw kopalnych czy też odpadów.

#### LITERATURA

- [1] Jasiński A. W., Zgazowanie jako czysta technologia wykorzystania surowców zawierających węgiel, czasopismo KARBO, nr 2, 2010, str. 67
- [2] Chmielniak T., Tomaszewicz G., Zgazowanie paliw stałych – stan obecny i przewidywane kierunki rozwoju, czasopismo KARBO, nr 3, 2012, str. 191- 199
- [3] Chmielniak T., Skorek J., Kalina J., Lepczyński S., Układy energetyczne zintegrowane ze zgazowaniem biomasy, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008
- [4] Głodek E., Zgazowanie biomasy. Przewodnik, Oddział Inżynierii Materiałowej, Procesowej i Środowiska, Opole, lipiec 2010, <http://www.oze.opole.pl/zalacznik.php?id=375&element=470>
- [5] Wandrasz J.W. i A.J., Paliwa formowane biopaliwa i paliwa z odpadów w procesach termicznych, Wydawnictwo „Seidel – Przyweciki” Sp. z o.o., Wydanie pierwsze, Warszawa, 2006
- [6] Kozaczka J., Procesy zgazowania. Inżynierskie metody obliczeń, Wydawnictwa AGH, Kraków, 1994
- [7] Efekty cieplne reakcji zgazowania, [http://fluid.wme.pwr.wroc.pl/~spalanie/dydaktyka/Zgazowanie/zgazowanie\\_cwicz\\_cw4.pdf](http://fluid.wme.pwr.wroc.pl/~spalanie/dydaktyka/Zgazowanie/zgazowanie_cwicz_cw4.pdf), (dostęp: 16.03.2014 r.)
- [8] Nadziakiewicz J., Waclawiak K., Stelmach S., Procesy termiczne utylizacji odpadów, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2007.
- [9] Balcewicz J., Szansa na przetrwanie polskiego górnictwa węglowego. Powrót do zgazowania, czasopismo Energia Gigawat, nr 6, czerwiec 2009, <http://www.gigawat.net.pl/archiwum/article/articleview/1466/1/97/index.html>, (dostęp: 30.03.2014 r.)
- [10] Chmielniak T., Stelmach S., Współczesne technologie zgazowania węgla, czasopismo Problemy Ekologii, vol.13, nr 2, marzec – kwiecień 2009, str. 69-70.
- [11] Wasilewski R., Tora B., Stałe paliwa wtórne, Górnictwo i Geoinżynieria, nr 33, zeszyt 4, 2009, str. 309 – 315.
- [12] "Gasification 2010 Worldwide Database", U. S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, 2010.
- [13] Gasification in Detail – Types of Gasifiers – Entrained Flow Gasifiers. [Online]. Np.: [http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/gasifpedia/4-gasifiers/4-1-2-1\\_ge.html](http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/gasifpedia/4-gasifiers/4-1-2-1_ge.html)