

DOŚWIADCZENIA Z ROZRUCHU DEMONSTRACYJNEJ INSTALACJI ZGAZOWANIA BIOMASY O MOCY 1,5 MW_t

Autorzy: Aleksander Sobolewski, Tomasz Iluk

("Rynek Energii" - luty 2014)

Słowa kluczowe: biomasa, zgazowanie, instalacja demonstracyjna, CHP

Streszczenie. W artykule przedstawiono jeden z podstawowych sposobów wykorzystania biomasy do produkcji energii elektrycznej oraz ciepła. Zaprezentowano opracowaną w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla technologię zgazowania biomasy dla układów kogeneracyjnych opartych na silnikach tłokowych. Omówiono podstawowe zalety zaproponowanej technologii zgazowania. Opisano wyniki prac badawczych realizowanych na pilotowej instalacji zgazowania o mocy cieplnej 60 kW. Scharakteryzowano założenia dla demonstracyjnej instalacji zgazowania o mocy cieplnej 1,5 MW, które zostały opracowane na podstawie rezultatów otrzymanych z testów doświadczalnych instalacji pilotowej. Przedstawiono schemat procesowy demonstracyjnej instalacji zgazowania, która została zlokalizowana w zakładzie przetwórstwa drzewnego, a jej zadaniem jest wytwarzanie energii elektrycznej oraz ciepła na potrzeby zakładu. Omówiono pierwsze wyniki z przeprowadzonego procesu rozruchu technologicznego. Scharakteryzowano główne problemy zaistniałe w trakcie rozruchu oraz kierunki niezbędnych modernizacji instalacji.

1. WSTĘP

W ostatnich latach w Polsce prowadzone są działania mające na celu zwiększenie efektywności technologii energetycznych bazujących na węglu kamiennym lub brunatnym [1,2,3,4], a także zwiększeniu udziału odnawialnych źródeł energii w ogólnym bilansie stosowanych paliw. Wykorzystanie biomasy jako OZE do produkcji energii elektrycznej oraz ciepła stanowi istotne zagadnienie dla polskiego systemu energetycznego [5,6,7]. Biomasa aktualnie w głównej mierze wykorzystywana jest w dużych blokach energetycznych w procesie współspalania z węglem [8,9]. Jednakże ze względu na liczne problemy związane z wykorzystaniem tak specyficznego paliwa (m.in. duża wilgotność, niejednorodność, mała gęstość nasypowa, wysokie koszty transportu, czy składowania, a także problem regularnego pozyskiwania w ciągu całego roku kalendarzowego) podejmowane są działania mające na celu poszukiwania nowych, efektywnych sposobów wykorzystania tego surowca.

Jednych z interesujących kierunków może być zastosowanie biomasy w rozproszonych układach kogeneracyjnych opartych na technologii zgazowania [10,11]. Proces konwersji energii chemicznej zawartej w biomasie stałej na gaz palny znacząco zwiększa obszar jej energetycznego wykorzystania. Wytworzony gaz procesowy w urządzeniu zwanym generatorem gazu, po wstępnym oczyszczeniu może być bezpośrednio spalany w kotle do produkcji ciepła. Szczególnie interesującym wydaje się być wykorzystanie gazu procesowego, po uprzednim oczyszczeniu jako paliwa w silniku tłokowym.

W wielu ośrodkach naukowych na całym świecie podejmowane są działania mające na celu rozwijanie technologii zgazowania biomasy dla celów energetycznych [12,13], a także w ostatnim czasie chemicznych [14].

Gaz palny może być efektywnie wykorzystany w układach kogeneracyjnych wytwarzających energię elektryczną oraz ciepło charakteryzujących się wysoką sprawnością. Układy te oparte są na turbinach gazowych lub silnikach tłokowych [15,16]. Dla małych i średnich mocy dedykowane są w głównej mierze silniki tłokowe, spośród których można wyróżnić:

- silniki gazowe z zapłonem iskrowym,
- silniki dwupaliwowe,
- silniki wysokoprężne.

Tłokowe silniki spalinowe charakteryzują się m.in. wysoką sprawnością w zakresie małych mocy, a także niskimi wskaźnikami jednostkowych nakładów inwestycyjnych [16]. Właściwości te są szczególnie istotne dla technologii zgazowania biomasy, która dedykowana jest dla małych oraz średnich układów rozproszonych.

W Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla opracowano innowacyjną konstrukcję generatora gazu ze złożem stałym o nazwie GazEla [17], która badana oraz rozwijana była w pilotowej instalacji o mocy ok. 60 kW_t. Instalacja badawcza wyposażona jest ponadto w układ suchego oczyszczania gazu, a także zespół prądotwórczy.

2. PILOTOWA INSTALACJA ZGAZOWANIA BIOMASY

Proces rozwoju koncepcji instalacji wytwarzania energii elektrycznej oraz ciepła, na bazie wieloletnich doświadczeń Instytutu postanowiono podzielić na trzy zasadnicze etapy:

- etap I - sprawdzenie opracowanej koncepcji generatora gazu, układu suchego oczyszczania, a także możliwości spalania gazu procesowego w dwupaliwowym silniku tłokowym, które będzie realizowane na pilotowej instalacji o mocy cieplnej 60 kW,
- etap II - powiększenie skali instalacji zgazowania do mocy cieplnej 1,5 MW na bazie wyników prac badawczych zrealizowanych na instalacji pilotowej,
- etap III - opracowanie komercyjnej instalacji zgazowania o mocy cieplnej ok. 2,5 MW.

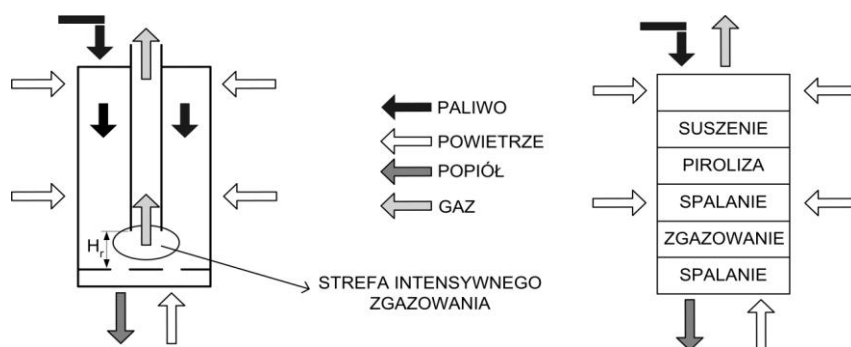
W pierwszym etapie prac nad technologią przeprowadzono proces związany z uruchomieniem pilotowej instalacji, opracowaniem parametrów procesowych układu, sprawdzeniem poprawności działania poszczególnych węzłów technologicznych. Istotnym punktem tego zadania były przeprowadzone modernizacje m.in. układu podawania biomasy do generatora w celu uzyskania wysokiego stopnia niezawodności dostarczania paliwa do zgazowarki. Ciągłość podawania odpowiednich porcji surowca do reaktora miała istotny wpływ na stabilne wytwarzanie strumienia gazu procesowego, a także uzyskanie jednorodnych przebiegów poszczególnych składników gazu. Uzyskanie stałych parametrów gazu na wyjściu ze zgazowarki pozwoliło przeprowadzić cykl badań nad skutecznością usuwania zanieczyszczeń pyłowych oraz organicznych w układzie suchego

oczyszczania. W następnym etapie wykonano prace eksperymentalne nad wykorzystaniem gazu w dwupaliwowym silniku tłokowym.

Pilotowa instalacja zgazowania składała się z następujących węzłów technologicznych:

- układu podawania oraz dozowania paliwa,
- generatora gazu,
- układu suchego oczyszczania gazu,
- komory spalania gazu procesowego,
- zespołu prądotwórczego opartego na dwupaliwowym silniku tłokowym, a także wymienniku ciepła (odbiór ciepła ze spalin silnika).

Na rys. 1 przedstawiono schemat ideowy generatora gazu wraz z występującymi strefami procesowymi.



Rys. 1. Schemat ideowy generatora gazu wraz z występującymi strefami procesowymi

Na rys. 2 zaprezentowano widok generatora gazu oraz części pilotowej instalacji o mocy 60 kW_t.



Rys. 2. Widok generatora gazu oraz części pilotowej instalacji zgazowania o mocy 60 kW_t [19]

Na podstawie wielogodzinnych testów uzyskano powtarzalne parametry procesowe instalacji. Nominalny strumień paliwa określono na poziomie ok. 14÷15 kg/h. Wartość opałowa uzyskiwanego suchego gazu dla zrębki drzewnej równa była ok. 4,7 MJ/m³_n. Średnie wartości poszczególnych

składników gazu wynosiły: $\text{CO}=25,0\%$, $\text{H}_2=7,5\%$, $\text{CH}_4=2,1\%$, $\text{CO}_2=9,5\%$, $\text{O}_2=0,0\%$, $\text{N}_2=55,9\%$. Moc eksperymentalnego generatora w trakcie testów badawczych równa była ok. 62 kW_t .

W przypadku układu suchego oczyszczania, dla jej końcowej konfiguracji uzyskano sprawność usuwania zanieczyszczeń pyłowych na poziomie ok. 95% , a zanieczyszczeń organicznych ok. 47% . Ilość zanieczyszczeń pyłowych na wylocie z ostatniego elementu układu wynosiła ok. 70 mg/m^3_n , natomiast organicznych równa była ok. 1900 mg/m^3_n .

Oczyszczony gaz poddano procesowi spalania w dwupaliwowym silniku tłokowym, który wchodził w skład zespołu prądotwórczego firmy Andoria z Andrychowa. Maksymalna uzyskana sprawność wytwarzania energii elektrycznej (tj. dla mocy elektrycznej zespołu $15,5 \text{ kW}_{el}$) wynosiła ok. $24,6\%$. Gaz procesowy stanowił ok. 62% energii chemicznej kierowanej do silnika, a olej napędowy ok. 38% [20,21,22].

3. DEMONSTRACYJNA INSTALACJA ZGAZOWANIA BIOMASY

Uzyskane wyniki badań z instalacji pilotowej pozwoliły opracować projekt procesowy instalacji demonstracyjnej o mocy $1,5 \text{ MW}_t$, a następnie projekt wykonawczy poszczególnych aparatów i urządzeń. Przeprowadzony proces badawczy instalacji póltechnicznej miał istotny wpływ na rozwiązania oraz konstrukcję wielu elementów wchodzących w skład układu demonstracyjnego.

Demonstracyjna instalacja zgazowania zlokalizowana została w zakładzie przetwórstwa drzewnego (województwo opolskie), który dla celów energetycznych wytwarza pelety oraz brykiety m.in. z trocin drzewnych i słomy. Ważnym aspektem podczas wyboru lokalizacji było to, że zakład posiada duże zapotrzebowanie na energię elektryczną oraz ciepło, które potrzebne jest na cele technologiczne (tj. suszenie trocin i słomy).

Inwestorem instalacji jest firma Syngaz Sp. z o.o., procesem rozruchu technologicznego zajął się IChPW.

Na rys. 3 przedstawiono widok instalacji demonstracyjnej oraz generatora gazu.



Rys. 3. Widok demonstracyjnej instalacji zgazowania o mocy $1,5 \text{ MW}_t$ oraz generatora gazu

Instalacja składa się z czterech podstawowych bloków. Pierwszy blok instalacji stanowi układ podawania paliwa do generatora gazu. Składa się on z kosza zasypowego zrębki drzewnej, podajnika taśmowego, podajnika kubelkowego, zbiornika pośredniego biomasy, a także głównego zbiornika paliwa z układem dwóch równoległych dozowników ślimakowych. Drugi element instalacji stanowi 3-strefowa zgazowarka ze złożem stałym, której konstrukcja została opracowana w IChPW. Kolejnym węzłem technologicznym związanym z dalszym wykorzystaniem gazu procesowego w silniku tłokowym jest jego oczyszczanie. Jako koncepcję wybrano układ suchego oczyszczania gazu, który charakteryzuje się brakiem powstawania dodatkowych zanieczyszczeń oraz niskimi kosztami eksploatacji. Wytworzony w reaktorze gaz procesowy w pierwszym etapie oczyszczania kierowany jest do rozprężacza inercyjnego mającego na celu odbiór większych frakcji zanieczyszczeń pyłowych porywanych wraz z gazem wytworzonym w zgazowarce. Wstępnie oczyszczony gaz transportowany jest do odpylacza cyklonowego w celu usunięcia drobnych frakcji zanieczyszczeń pyłowych. Następnie gaz kierowany jest do przeponowej chłodnicy gazu. W przeciwprądowym wymienniku ciepła następuje schłodzenie gazu do temperatury wynoszącej ok. $40\div 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ w celu kondensacji zawartych w gazie zanieczyszczeń organicznych oraz pary wodnej. W kolejnym etapie oczyszczania gaz przepływa do filtrów koksowych. Ostatni element układu suchego oczyszczania gazu stanowi odwadniacz. W czwartym bloku oczyszczony gaz, po przejściu przez końcowe filtry tkaninowe jest spalany w gazowym silniku tłokowym zintegrowanym z prądnicą prądu. Instalacja wyposażona jest w komorę spalania, która umożliwia utylizację gazu procesowego powstającego w fazie rozruchu instalacji lub przestojów związanych z serwisowaniem silnika tłokowego. Szczegółowy schemat instalacji został przedstawiony na rys. 4.

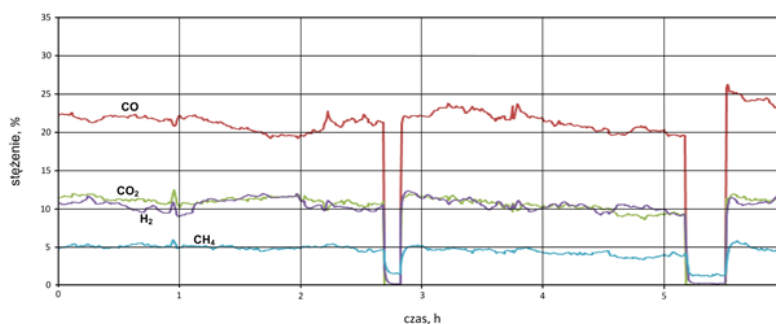
Podstawowe parametry pracy demonstracyjnej instalacji zgazowania (projektowe):

- strumień paliwa: 400 kg/h,
- strumień gazu: 1300 kg/h,
- wartość opałowa gazu: $4,5\div 5\text{ MJ/m}^3_n$,
- sprawność generatora gazu (na zimno): $60\div 65\%$.

Produktami instalacji będą energia elektryczna ok. 350 kW, a także ciepło ok. 800 kW.

Po zakończonej fazie budowy instalacji zgazowania przystąpiono do rozruchu technologicznego. Proces ten poprzedzony został testami na „zimno” poszczególnych węzłów technologicznych. W trakcie sprawdzania instalacji wystąpiły problemy m.in. związane z:

- zawieszaniem się zrębki drzewnej w układzie podawania paliwa,
- szczelnością śluzowego układu podawania paliwa,
- nieprawidłowym procesem kondensacji smół i innych lotnych produktów procesu w wymienniku ciepła.



Rys. 5. Zmiany udziałów w czasie głównych składników gazu procesowego dla zrębków drzewnych – test rozruchowy

Podjęto również badania nad zgazowaniem materiału charakteryzującego się wilgotnością (w stanie roboczym) przekraczającą 40%. Przeprowadzone prace eksperymentalne wykazały obniżenie wartości charakterystycznych temperatur występujących w generatorze gazu, a także pogorszenie wartości opałowej gazu procesowego. Na podstawie tych testów, dla właściwej pracy zgazowarki wilgotność paliwa powinna być na poziomie ok. 20%, co powinno gwarantować właściwą pracę generatora, odpowiednie parametry gazu, a także prawidłowe działanie układu podawania paliwa. Obniżona zawartość palnych składników gazu procesowego spowodowała trudności z zapłonem gazu w komorze spalania.

W trakcie rozruchu technologicznego pracowano z wydajnością generatora gazu wynoszącą ok. 50%.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawiona w artykule analiza technologii zgazowania biomasy potwierdza możliwość wykorzystania tego procesu w celu zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym polski. Szczególnie interesujące wydaje się być zastosowanie instalacji zgazowania do wytwarzania w kogeneracji energii elektrycznej oraz ciepła dla rozproszonych układów charakteryzujących się małą i średnią mocą. Ważnym aspektem technologii jest możliwość wykorzystania jako paliwa biomasy odpadowej powstałej np. w zakładzie przetwórstwa drzewnego lub w przemyśle spożywczym, gdzie często występuje zapotrzebowanie na ciepło do procesów technologicznych.

Zastosowanie procesu zgazowania biomasy w układach energetyki rozproszonej uzależnione będzie od stopnia dojrzałości proponowanego rozwiązania, które związane będzie głównie z niezawodnością pracy instalacji, a także skutecznością układu oczyszczania gazu, co w konsekwencji determinuje możliwości jego dalszego zastosowania.

Istotnym czynnikiem wpływającym na powyższe zagadnienia będą przeprowadzane badania eksperymentalne na instalacjach w skali pilotowej, a następnie demonstracyjnej. Prace te pozwolą na wyeliminowanie problemów związanych z rozwijaniem nowych technologii, a także umożliwią potwierdzenie wdrażanego rozwiązania.

W trakcie prowadzonych prac eksperymentalnych na pilotowej instalacji zgazowania przeprowadzono szereg wielogodzinnych testów mających na celu potwierdzenie przyjętej koncepcji technologii. Podczas badań przeprowadzono wiele zmian konstrukcyjnych poszczególnych aparatów i urządzeń mających na celu zwiększenie niezawodności całego układu, a także zoptymalizowania parametrów pracy instalacji. Zdobyte doświadczenie oraz otrzymane wyniki pozwoliły na opracowanie projektu procesowego, a także wykonawczego demonstracyjnej instalacji zgazowania.

Rozpoczęty proces rozruchu technologicznego demonstracyjnej instalacji umożliwi rozpoznanie i wyeliminowanie słabych punktów układu, sprawdzenie nowych rozwiązań, a także zdobycie niezbędnego doświadczenia związanego z obsługą instalacji. Przyczyni się to do opracowania komercyjnej technologii wytwarzania energii elektrycznej oraz ciepła z biomasy, która może być z powodzeniem oferowana dla klientów rynkowych.

PODZIĘKOWANIA

Przedstawione w artykule wyniki zostały uzyskane w badaniach współfinansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach umowy SP/E/4/65786/10 – Strategiczny Program Badawczy – Zaawansowane technologie pozyskania energii: Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych.

Szczególne podziękowania autorzy artykułu pragną złożyć firmie Syngaz Sp. z o.o. za podjęcie działań mających na celu rozwijanie oraz wdrożenie technologii zgazowania biomasy dla układów kogeneracyjnych, a także za udostępnienie demonstracyjnej instalacji zgazowania do prac badawczych.

LITERATURA

- [1] Kotowicz J., Skorek-Osikowska A., Bartela Ł.: Economic and environmental evaluation of selected advanced power generation technologies. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy 2011;225(3):221-232.
- [2] Bartela Ł., Skorek-Osikowska A.: Ekologiczny efekt sprzężenia nadkrytycznego bloku węglowego z instalacją turbiny gazowej. Rynek Energii 2010, nr 87(2):8-13.
- [3] Skorek-Osikowska A., Bartela Ł.: Model kotła oxy na parametry nadkrytyczne – analiza wybranych parametrów. Rynek Energii 2010, nr 90(5):69-75.
- [4] Kotowicz J., Michalski S.: Wpływ wybranych parametrów pracy układu turbiny gazowej zainstalowanej w tlenowni na sprawność nadkrytycznego bloku oxy. Rynek Energii 2013;106(3):74-80.
- [5] Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10 listopada 2009 r. Warszawa, 2009.
- [6] Rakowski J.: Tendencje rozwojowe w zakresie energetycznego wykorzystania biomasy. Pod redakcją: Bocian P, Golec T, Rakowski J.: Nowoczesne technologie pozyskania i energetycznego wykorzystania biomasy. Warszawa, Instytut Energetyki, 2010.

- [7] Kotowicz J., Bartela Ł.: Energetyczne wykorzystanie biomasy drzewnej – przegląd technologii. Rynek Energii 2007, nr 73(6):22-28.
- [8] Kotowicz J., Bartela Ł.: Równoległe współspalanie biomasy w nadkrytycznym bloku węglowym - część I. Rynek Energii 2008, nr 79(6):69-74.
- [9] Kalisz S., Pronobis M., Baxter D.: Co-firing of Biomass Waste Derived Syngas in Coal Power Boiler. Energy 2008;33.
- [10] Kotowicz J., Iluk T.: Instalacja zgazowania biomasy zintegrowana z silnikiem spalinowym. Rynek Energii 2011, nr 94(3):47-52.
- [11] Skorek-Osikowska A., Bartela Ł., Kotowicz J., Sobolewski A., Iluk T., Remiorz L.: The influence of the size of the CHP system integrated with a biomass fuelled gas generator and piston engine on the thermodynamic and economic effectiveness of electricity and heat generation. Energy, 10.1016/j.energy.2014.01.015.
- [12] Matsumoto K., Takeno K., Ichinose T., Ishii H., Nishimura K.: Development of a 2ton/day-scale test plant for total operation study of woody biomass gasification and liquid fuel synthesis. 15th European biomass Conference & Exhibition, Berlin, Germany 7-10 maj 2007.
- [13] McKendry P.: Energy production from biomass (part 3): gasification technologies. Bioresource Technology 2002;83:55-63.
- [14] Rapagná S., Provendier H., Petit C., Kiennemann A, Foscolo P.U.: Development of catalysts suitable for hydrogen or syn-gas production from biomass gasification. Biomass and Bioenergy 2002;22:377-388.
- [15] Chmielniak T., Skorek J., Kalina J., Lepczy S.: Układy energetyczne zintegrowane ze zgazowaniem biomasy. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2008.
- [16] Skorek J., Kalina J.: Gazowe układy kogeneracyjne. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2005.
- [17] Zgłoszenie Patentowe, P-383541, Polska, (2007).
- [18] Ściążko M.: Studium aerodynamiki cyrkulacyjnego reaktora fluidalnego w szczególności do pirolizy węgla. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej. Chemia z. 143, Gliwice 2001.
- [19] Sobolewski A., Kotowicz J., Iluk T., Matuszek K.: Badania eksperymentalne zgazowania biomasy pod kątem wykorzystania gazu procesowego w układzie kogeneracji. Przemysł Chemiczny 2010;89(6):794-798.
- [20] Sobolewski A., Kotowicz J., Iluk T., Matuszek K.: Wpływ rodzaju biomasy na parametry pracy generatora gazu ze złożem stałym. Rynek Energii 2009, nr 82(3):53-58.
- [21] Kotowicz J., Sobolewski A., Iluk T., Matuszek K.: Zgazowanie biomasy w reaktorze ze złożem stałym. Rynek Energii 2009, nr 81(2):52-58.
- [22] Kotowicz J., Sobolewski A., Iluk T.: Energetic analysis of a system integrated with biomass gasification. Energy 2013;52:265-278.
- [23] Milewski J., Michalska K., Kacprzak A.: Dairy biogas as fuel for a Molten Carbonate Fuel Cell – initial study. Journal of Power Technologies Vol 93, No 3 (2013).

EXPLOITATION EXPERIENCE FROM START-UP OF 1.5MWT POWER DEMONSTRATIVE INSTALLATION FOR BIOMASS GASIFICATION

Key words: biomass, gasification, demonstrative installation, CHP

Summary. The article presents one of the basic ways of biomass utilization for production of heat and power. Presented biomass gasification technology for cogeneration units based on piston engines has been developed in the Institute for Chemical Processing of Coal in Zabrze (POLAND). Primary advantages of presented gasification technology are discussed. Description of research activities done on a pilot installation for gasification with 60 kW_t power are given. The article also characterizes assumptions behind demonstrative installation for gasification of 1.5 MW_t power, which were developed on the basis of results acquired from gasification tests performed on pilot installation. The article presents a process scheme of the demonstrative gasification installation. The installation is localized on the grounds of wood processing company, and its purpose is generation of heat and power covering demand of the enterprise. Description of the results, characterization of main problems as well as necessary directions modernizations, which came into the light during start-up are discussed.

Aleksander Sobolewski, dr inż. jest Dyrektorem Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu, ul. Zamkowa 1, 41-803. Jest specjalistą w zakresie inżynierii chemicznej, koksownictwa oraz termicznego przetworstwa odpadów. Jego naukowe zainteresowania skupiają się na zagadnieniach pirolizy i zgazowania paliw stałych i odpadów, produkcji i zastosowaniu węgla i koksów aktywnych w oczyszczaniu ścieków i spalin, technikach, technologiach oraz ochronie środowiska w koksownictwie. E-mail: asob@ichpw.zabrze.pl

Tomasz Iluk, dr inż. od 2009 roku jest pracownikiem Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla, ul. Zamkowa 1, 41-803 Zabrze, obecnie na stanowisku adiunkta. W pracy naukowej interesuje się przede wszystkim technologią zgazowania biomasy i odpadów, oczyszczaniem gazu procesowego, układami gazowo-parowymi zintegrowanymi ze zgazowaniem węgla oraz energetycznym wykorzystaniem biomasy pochodzenia roślinnego. E-mail: tiluk@ichpw.zabrze.com