

## „Badania właściwości termodynamicznych gazów specjalnych i procesu ich spalania w wysokosprawnych procesach cieplnych”

**Jan Chmielewski**

Stypendysta projektu pt. „Wsparcie stypendialne dla doktorantów na kierunkach uznanych za strategiczne z punktu widzenia rozwoju Wielkopolski”, Poddziałanie 8.2.2 Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki

W pracy przedstawiono wyniki badań spalania gazów zaazotowanych, syn-gazów i biogazów, zdefiniowanych przez autora jako gazy specjalne, w technologii wysokopodgrzanego utleniacza (*HiTAC*). Zaproponowane w pracy zastosowanie metody spalania *HiTAC* w gazach o wysokiej temperaturze, często wyższej od temperatury zapłonu tych gazów, pozwala na osiągnięcie wysokiej sprawności procesu przy niskiej emisji związków toksycznych. Ze względu na możliwość aplikacji takiej metody spalania w turbinach gazowych, silnikach gazowych oraz piecach przemysłowych, prowadziłoby to do efektywnego wykorzystania energii pierwotnej paliw. W perspektywie długofalowej może to przyczynić się do poprawy bilansu paliwowego Polski i Europy.

W rozprawie przedstawiono zagadnienia związane z użytkowaniem paliw gazowych z nastawieniem na nowe rodzaje paliw należących do źródeł odnawialnych oraz produkcję energii w oparciu o gazy specjalne. Założono i wykazano doświadczalnie wpływ procesu spalania gazów specjalnych na emisję związków toksycznych, przede wszystkim na emisję  $\text{NO}_x$ . Na podstawie opisu mechanizmów tworzenia się związków chemicznych podczas spalania paliw gazowych, zinterpretowano jakościowo i ilościowo zjawisko emisji gazów podczas przeprowadzanych doświadczeń spalania gazów specjalnych metodą *HiTAC*.

Dla zaprojektowanych składów gazów, przeprowadzono obliczenia numeryczne podstawowych parametrów gazów opisujących ich właściwości termodynamiczne oraz proces spalania (współczynnik ściśliwości, laminarna prędkość spalania, adiabatyczna temperatura płomienia oraz czas opóźnienia zapłonu). Wykonano obliczenia numeryczne spalania pojedynczej strugi gazu w środowisku utleniającym o wysokiej temperaturze. Do doświadczeń zaimplementowano system do pomiaru prędkości strugi gazu

wykorzystując technologię *Laser Doppler Anemometry (LDA)* i dedykowany pakiet programowy *BSA Flow*. Sterowanie zapewnił zaprojektowany i zbudowany w ramach pracy moduł automatyki gwarantujący wysoką precyzję nastaw i bezpieczeństwo obsługi.

Ponieważ praca jest ukierunkowana na zastosowanie gazów specjalnych jako paliw alternatywnych, pochodzących z lokalnych złóż ziemnych i gazogeneratorów, do zasilania układów kogeneracyjnych produkujących energię elektryczną i ciepło, w rozprawie przedstawiono założenia, przebieg i wyniki oraz wnioski z własnych badań spalania gazów specjalnych w technologii bezpłomieniowej. Badany proces spalania prowadzony był w gazach popłomieniowych o temperaturze 1000°C, ponieważ, takie warunki spalania gazów występują w komorach spalania pieców przemysłowych, turbinach gazowych i silnikach tłokowych.

Na podstawie doświadczeń i wielokryterialnej analizy uzyskanych wyników stwierdzono, że gazy specjalne, zawierające wodór, tlenek węgla oraz azot na poziomie 50%, mogą być efektywnym i ekologicznym paliwem do zasilania urządzeń przemysłowych.

Dzięki zastosowanemu w pracy spalaniu gazów specjalnych z wykorzystaniem technologii HiTAC, dla określonych przez autora parametrów spalania uzyskano niski poziom emisji NO<sub>x</sub>. Zatem spalanie gazów specjalnych w tej technologii daje szansę na ich wykorzystanie jako alternatywy gazu ziemnego przy zachowaniu wysokich parametrów ochrony środowiska.

## **Abstract**

In the dissertation, the results of investigations on combustion of the stream of special gases using the High Temperature Air Combustion (HiTAC) technology has been presented. Such a combustion method can be applied in gas turbines, gas engines or industrial furnaces and will contribute to the fuel balance's improvement in Poland as it effectively uses the fuels' primary energy. The problems concerning the gas fuels's utilization in Poland have been thoroughly considered with special impact on the new types of fuels encountered to the renewable sources as well as on the production of energy based on these gases.

The influence of the special gas combustion process on the toxic compounds emission, especially that of NO<sub>x</sub>, has been proved. Basing on a huge series of experiments carried out in the framework of the thesis, the mechanisms of formation of the chemical compounds in turn of the special gas combustion have been developed and described.

The numerical calculations of the special gases' basic parameters describing both the thermodynamical properties of the latter as well as the combustion process (compressibility factor, laminar flame speed, adiabatic combustion temperature and ignition delay) have been reported. Also, the calculations of the gas stream outflow with combustion have been described and reported.

As the thesis is focused on the possibility of application of special gases as the alternative fuels coming from the local deposits and gas generators to feed the co-generation units for electrical energy and heat production, the own results of special gases combustion using the flameless technology have been presented. The combustion process under consideration has been conducted in the 1000°C post-flame gases because such combustion conditions are common in the industrial furnaces combustors and in modern gas turbines.

Regarding obtained results the conclusion has been drawn that special gases containing hydrogen, carbon oxide and nitrogen at 50% would be a good fuel to power the industrial equipment.

In the thesis, thanks to the special gases' combustion using the HiTAC technology, a very low emission of NO<sub>x</sub> to the environment has been attained for some combustion parameters. Thus, the special gas combustion using such technology give a chance to use special gases as an alternative to the natural gas keeping the high environmental protection parameters, as it was stated in the thesis.