

## Streszczenie

W pracy doktorskiej rozważano zagadnienie energetycznego wykorzystania gazów syntezowych pochodzących np. z termochemicznej konwersji odnawialnej biomasy jako zeroemisyjnej alternatywy dla spalania paliw kopalnych. Gazy syntezowe obejmują bardzo szeroką grupę paliw o różnym pochodzeniu i składzie chemicznym. Składają się na nie głównie wodór, tlenek węgla metan i gazy inertne takie jak azot czy dwutlenek węgla. Zróżnicowane właściwości fizyko-chemiczne paliw syngazowych wpływają na szereg parametrów termodynamicznych takich jak: temperatura i szybkość spalania, wymianę ciepła, a także kinetykę reakcji chemicznych procesu spalania. Najistotniejszymi parametrami związanymi ze spalaniem paliw syngazowych są stabilność procesu spalania, struktura płomienia, charakter wydzielania ciepła i emisja związków toksycznych, zwłaszcza tlenków azotu. Niniejsza praca dotyczy analizy procesu spalania gazów syntezowych, oraz mieszanin ich składników w warunkach wysokotemperaturowego podgrzewu powietrza realizowanego przy pomocy technologii spalania objętościowego. W badanych paliwach uwzględnione zostały również wysokie udziały chemicznych nośników nadwyżek energii elektrycznej z łańcucha dostaw technologii Power to X to jest wodoru oraz amoniaku.

Analizowane paliwa syngazowe składały się ze związków palnych, wodoru, metanu, tlenku węgla oraz gazów inertnych dwutlenku węgla i azotu. Badania prowadzono przy stałej mocy cieplnej i stałej prędkości wtrysku paliwa. W czasie badań analizowano m.in. wpływ ilości dostarczanego do komory badawczej powietrza, udziałów poszczególnych składników paliwa oraz zawartości związków azotowych w paliwie na proces spalania objętościowego. Dla wybranych mieszanek paliwowych wykonano badania przy pomocy sondy aspiracyjnej, które posłużyły do sporządzenia map rozkładu związków toksycznych oraz temperatury wewnątrz komory badawczej.

Otrzymane charakterystyki emisyjne wykazały, że przy spalaniu paliw syngazowych możliwe jest uzyskanie bardzo niskich poziomów emisji tlenków azotu, nawet poniżej 50 ppm. Mieszanie paliwa z wodorowym nośnikiem energii w postaci amoniaku powodowało znaczący wzrost emisji NO. Jednak analiza wyników konwersji wykazała, że w najkorzystniejszej konfiguracji parametrów operacyjnych dla paliwa charakteryzującego się wysokim udziałem amoniaku, jedynie 0,32% zawartego w paliwie amoniaku przekonwertowało do tlenków azotu. Badania rozkładu substancji toksycznych i temperatury w komorze pozwoliły zlokalizować

obszary najintensywniejszego wydzielania ciepła odpowiadające strefom reakcji utleniania związków palnych. Ustalono, że zwiększenie udziału dwutlenku węgla w gazie syntetycznym powoduje wydłużenie strefy reakcji, jak również zmniejszenie obszaru występowania wysokiej temperatury.

Na podstawie wyników prac eksperymentalnych wywnioskowano, że głównym czynnikiem wpływającym na poziom emisji NO w spalaniu wysokotemperaturowym paliw syngazowych jest dostępność utleniacza w strefie reakcji. Dla paliw z zawartością związków azotowych istotnie wpływa ona na proces konwersji azotu do paliwowych NO. Wykazano, że można z powodzeniem wykorzystywać energetycznie paliwa syngazowe przy zachowaniu niskich parametrów emisyjnych.

## Abstract

This dissertation considers the energy use of synthesis gases, e.g. from the thermochemical conversion of renewable biomass, as a zero-emission alternative to the combustion of fossil fuels. Synthesis gases comprise a very broad group of fuels with different origins and chemical compositions. They mainly consist of hydrogen, carbon monoxide methane and inert gases such as nitrogen or carbon dioxide. The varying physical and chemical properties of syngas fuels affect a number of thermodynamic parameters such as combustion temperature and velocity, heat transfer, and the kinetics of chemical reactions in the combustion process. The most important parameters related to the combustion of syngas fuels are the stability of the combustion process, the flame structure, the nature of heat release and the emission of toxic compounds, especially nitrogen oxides. The present work concerns the analysis of the combustion process of syngas and mixtures of its components in the conditions of high-temperature air heating carried out with the use of volumetric combustion technology. High shares of chemical carriers of electricity surplus from the Power to X technology supply chain, i.e. hydrogen and ammonia, were also taken into account in the fuels analysed.

The syngas fuels analysed consisted of the combustible compounds hydrogen, methane, carbon monoxide and the inert gases; carbon dioxide and nitrogen. The tests were conducted at constant thermal power and a constant range fuel injection velocity. The influence of the amount of air supplied to the test chamber, the proportions of individual fuel components and the content of nitrogen compounds in the fuel on the volumetric combustion process was analysed. Aspiration probe “suction pyrometer” tests were performed for selected fuel mixtures, which were used to prepare maps of toxic compound distribution and temperature inside the test chamber.

The obtained emission characteristics showed that very low levels of nitrogen oxide emissions, even below 50 ppm, can be obtained when burning syngas fuels. Mixing the fuel with the hydrogen energy carrier ammonia resulted in a significant increase in NO emissions. However, analysis of the conversion results showed that in the most favourable configuration of operating parameters for a fuel characterised by a high proportion of ammonia, only 0.32% of the ammonia contained in the fuel converted to nitrogen oxides. Investigations of the distribution of toxic substances and the temperature in the chamber made it possible to locate the areas of the most intense heat release, corresponding to the reaction zone of the oxidation of combustible compounds. It was found that increasing the proportion of carbon dioxide in the

synthetic gas results in a longer reaction zone, as well as a reduction in the area of high temperature.

On the basis of the experimental results, it was concluded that the main factor influencing the level of NO emission in high-temperature combustion of syngas fuels is the availability of oxidant in the reaction zone. For fuels containing nitrogen compounds, it significantly affects the conversion of nitrogen to fuel NO. It has been shown that syngas fuels can be successfully used energetically while maintaining low emission parameters.

*Czyżowski P.*