

## Streszczenie

W pracy doktorskiej przedstawiono opracowanie metody identyfikacji nieprawidłowego użytkownika urządzeń grzewczych w rzeczywistych warunkach eksploatacji na podstawie ciągłej analizy zawartości tlenu w spalinach.

Czystość powietrza ma niezwykle duży wpływ na jakość życia człowieka. Zanieczyszczone powietrze w znacznym stopniu wpływa na zdrowie ludzi. Jest przyczyną chorób nowotworowych układu krwionośnego oraz oddechowego i innych schorzeń. Według raportu Światowej Organizacji zdrowia WHO (ang. World Health Organization) okazuje się, że Polska ma najgorszą jakość powietrza spośród wszystkich krajów Unii Europejskiej. Kontrola nad emisją w związku z tym staje się działaniem najważniejszym. Podstawowym powodem odpowiedzialnym za wysoką emisję zanieczyszczeń jest spalanie niskiej jakości paliw stałych oraz spalanie lub współspalanie odpadów w sektorze komunalnym. Według raportu „Ochrona środowiska 2021” w Polsce wytwarza się rocznie ok. 14,5 mln ton odpadów komunalnych. Szacuje się, że w Polsce każdego roku ok. 200 kg odpadów komunalnych na osobę spalanych jest w domowych urządzeniach grzewczych lub wyrzucanych, np. do lasów, niezgodnie z przepisami ustawy o odpadach. Podczas badań zdiagnozowano szereg przyczyn, które powodują, że kontrole niewłaściwej eksploatacji kotłów grzewczych w gospodarstwach domowych są nieskuteczne lub ich skuteczność jest niewystarczająca. W związku z tym w pracy odpowiedziano na pytanie o możliwość opracowania procedury pozwalającej na identyfikację niewłaściwej eksploatacji kotła na paliwo stałe opartą o analizę zawartości tlenu w emitowanych spalinach.

Praca została podzielona na siedem rozdziałów. Pierwszy rozdział zawiera podrozdziały opisujące podział odpadów, produkty gazowe i stałe spalania paliw stałych oraz aktualne standardy, normy i akty prawne dotyczące spalania odpadów komunalnych. W opisie odpadów uwzględniono podział na odpady przemysłowe oraz komunalne. Przeanalizowane zostały również ich charakterystyczne rodzaje, takie jak np. odpady niebezpieczne. Część dotycząca produktów gazowych i stałych spalania została poszerzona o aktualne statystyki emisji związków szkodliwych do środowiska. Akty prawne zostały przeanalizowane pod kątem przetwarzania odpadów na paliwa, spalania odpadów w gospodarstwach domowych oraz emisji i sprawności kotłów małej mocy opalanych paliwami stałymi. W drugim rozdziale przeanalizowana została aktualna wiedza opisana w artykułach naukowych dotycząca spalania odpadów komunalnych. W trzecim rozdziale sformułowana została teza badawcza. W kolejnych dwóch rozdziałach przedstawiony został opis budowy stanowiska pomiarowego oraz metodologia przeprowadzonych badań. W rozdziale szóstym wykonano szczegółową analizę uzyskanych wyników. Ostatni rozdział zawiera podsumowanie.

Badania przeprowadzono w laboratorium Katedry Techniki Ciepłej na Politechnice Poznańskiej na zaprojektowanym przez autora stanowisku badawczym. Do badań autor wykorzystał kotły Q EKO 15 firmy Heiztechnik oraz EKR 20 firmy Tilgner, które są dostępne na rynku polskim i europejskim. W badaniach wykorzystano czujnik do pomiaru tlenu firmy Brager BCA-01 opracowane przez promotora pomocniczego prof. Rafała Urbaniaka. W celu opracowania metody identyfikacji niewłaściwego użytkownika kotłów, badania podzielono na dwa etapy. W pierwszym etapie kotły zostały przetestowane zgodnie z normą PN-EN 303-5, na paliwie zalecanym przez producenta. W drugim etapie badań przeprowadzono eksperyment symulujący niewłaściwą eksploatację kotłów spalających odpady w rzeczywistych warunkach eksploatacji. W tym celu dokonano powszechnie stosowanych modyfikacji konstrukcji kotłów, pozwalających na wykorzystanie materiału odpadowego jako paliwa. Podczas badań monitorowano zawartość tlenu w spalinach, zestawiając ją ze zmianą zawartości tlenu węgla oraz temperaturą spalin. Zaobserwowano, że nawet niewielka próba nieprawidłowej obsługi kotła może zostać wykryta na podstawie analizy poziomu tlenu w spalinach. Zależność ta została zaobserwowana przy doprowadzeniu każdego z odpadów, nawet tak niewielkiego, jak butelka plastikowa o wadze 65 g.

Dzięki zastosowaniu metody opartej na ciągłej analizie zawartości tlenu w spalinach można określić masę odpadu. Wyniki badań były analogiczne w przypadku obu kotłów, co świadczy o możliwości zastosowania metody weryfikacji w innych modelach kotłów oraz daje podstawy do stworzenia narzędzia umożliwiającego zdalny monitoring eksploatowanych urządzeń grzewczych przez użytkowników gospodarstw domowych.

## Abstract

The doctoral thesis presents the development of a method for identifying incorrect use of heating devices in real operating conditions based on continuous analysis of the oxygen content in exhaust gases.

Air purity has a huge impact on the quality of human life. Polluted air significantly affects human health. It causes cancer of the circulatory and respiratory systems and other diseases. According to a report by the World Health Organization (WHO), Poland has the worst air quality among all European Union countries. Controlling emissions has to be therefore considered as an activity of utmost importance. The main reason responsible for high pollutant emissions is the combustion of low-quality solid fuels and the burning or co-incineration of waste in the municipal sector. According to the Environmental Protection 2021 report (pol. „Ochrona środowiska 2021”), approximately 14.5 million tons of municipal waste is generated annually in Poland. It is estimated that in Poland each year approximately 200 kg of municipal waste per person is burned in home heating devices or thrown away, e.g. into forests, contrary to the waste management regulations. During the research, a number of reasons were identified that make controls on the improper use of heating boilers in households ineffective or their effectiveness is insufficient. Therefore, the study answered the question about the possibility of developing a procedure allowing for the identification of improper operation of a solid fuel boiler based on the analysis of the oxygen content in the emitted exhaust gases.

The work is divided into seven chapters. The first chapter contains subchapters describing the division of waste, gaseous and solid products from the combustion of solid fuels, and current standards, norms and legal acts regarding the incineration of municipal waste. The description of waste includes a division into industrial and municipal waste. Their characteristic types were also analysed, such as hazardous waste. The part regarding gaseous and solid combustion products has been expanded to include current statistics on emissions of harmful compounds into the environment. Legal acts were analysed in terms of processing waste into fuel, waste incineration in households, and emissions and efficiency of low-power boilers fired with solid fuels. The second chapter analyses the current knowledge described in scientific articles regarding the incineration of municipal waste. In the third chapter, the research thesis was formulated. The next two chapters present a description of the construction of the measurement station and the methodology of the conducted research. In the sixth chapter, a detailed analysis of the obtained results was performed. The last chapter contains a summary.

The research was carried out in the laboratory of the Chair of Thermal Engineering at the Poznań University of Technology on a research station designed by the author. For the tests, the author used Q EKO 15 boilers by Heiztechnik and EKR 20 by Tilgner, which are available on the Polish and European market. The research used a Brager BCA01 oxygen measurement sensor developed by the auxiliary advisor Prof. Rafał Urbaniak. In order to develop a method for identifying improper use of boilers, the research was divided into two stages. In the first stage, the boilers were tested in accordance with the PN-EN 303-5 standard, using the fuel recommended by the manufacturer. In the second stage of the research, an experiment was carried out simulating the improper operation of waste-burning boilers in real operating conditions. For this purpose, commonly used modifications to the boiler design were made, allowing the use of waste material as fuel. During the tests, the oxygen content in the exhaust gases was monitored and compared with the change in the carbon monoxide content and the exhaust gas temperature. It has been observed that even a minor attempt to misoperate the boiler can be detected by analysing the oxygen level in the exhaust gases. This dependence was observed when introducing any waste, even as small as a plastic bottle weighing 65 g.

By using a method based on continuous analysis of the oxygen content in exhaust gases, the mass of waste can be determined. The test results were analogous in the case of both boilers, which proves the possibility of using the verification method in other boiler models and provides the basis for creating a tool enabling remote monitoring of heating devices in use by household users.