

## STRESZCZENIA

Tadeusz CHMIELNIAK<sup>1</sup>  
Paweł PILARZ<sup>2</sup>

## MODELOWANIE NUMERYCZNE OD AZOTOWANIA SPALIN METODĄ SCR

Z uwagi na konieczność wprowadzenia od 2016 roku nowych norm emisji tlenków azotu ( $\text{NO}_x$ ), należy przeanalizować możliwości wykorzystania technologii selektywnej redukcji katalitycznej (SCR) jako uzupełnienie metod pierwotnych. Zastosowanie katalizatora jako dodatkowego modułu do oczyszczania spalin z tlenków azotu pozwala na wydłużenie pracy bloków węglowych uwzględniając założenia Dyrektywy IED. Redukcja tlenków azotu ze spalin metodą SCR zachodzi poprzez wtrysk reagenta (amoniaku, wody amoniakalnej) w kanale spaliny oraz reakcje konwersji  $\text{NO}_x$  na powierzchni katalizującej. Praca ta jest oparta na modelowaniu przepływu spalin przez kanały o różnej geometrii za pomocą kodu AnsysFluent. Jest to pierwszy etap tworzenia pełnego modelu CFD dla technologii SCR, w którym skupiono się na wpływie średnicy kanałów katalizatora na przepływ spalin.

**Słowa kluczowe:** geometria kanałów, katalizator, model CFD, redukcja  $\text{NO}_x$ .

## NUMERICAL MODELING OF EXHAUST GASES DENITRIFICATION BY SCR METHOD

### Summary

Due to the introduction in 2016 the new standards for emissions of nitrogen oxides ( $\text{NO}_x$ ), there is a need to examine the possibility of using the technology of selective catalytic reduction (SCR) as a supplement to the primary methods. The use of a catalyst as an additional module purifying exhaust gases from  $\text{NO}_x$  allows to extend the operation time of coal-fired plants according to IED directive. Reduction of nitrogen oxides from exhaust gases occurs by injection of reagent (ammonia, ammonia water) in the gas channel.  $\text{NO}_x$  conversion is proceeding on the catalyst surface. This work is based on modeling the exhaust gas flow through the channels of different geometry by an Ansys Fluent code. This is the first step of creating a complete CFD model for the SCR technology, in which the influence of size of catalyst channels on the exhaust gas flow is considered.

**Keywords:** geometry of channels, catalyst, CFD model, reduction of  $\text{NO}_x$

DOI: 10.7862/rm.2014.17

*Otrzymano/received:* 15.05.2014

*Zaakceptowano/accepted:* 27.05.2014

---

<sup>1</sup>Tadeusz Chmielniak, Politechnika Śląska w Gliwicach, ul. Konarskiego 18,  
e-mail: tadeusz.chmielniak@polsl.pl

<sup>2</sup>Autor do korespondencji: mgr inż. Paweł Pilarz, Politechnika Śląska w Gliwicach, ul. Konarskiego 18, tel.: 32-237-22-14, e-mail: pawel.pilarz@polsl.pl

Piotr CYKLIS<sup>3</sup>  
Roman DUDA<sup>4</sup>

## METODYKA STEROWANIA HYBRYDOWYM SPRĘŻARKOWO-SORPCYJNYM OBIEGIEM CHŁODNICZYM

Wymagania dotyczące użycia przyjaznych dla środowiska czynników chłodniczych promują zastosowanie CO<sub>2</sub> i wody jako czynników roboczych. Oba rozwiązania posiadają wady, będące wynikiem ograniczeń dla maksymalnej temperatury CO<sub>2</sub> i dolnej granicy temperatury dla wody. Można tego uniknąć przez zastosowanie hybrydowego adsorpcyjno-sprężarkowego systemu chłodniczego, w którym woda jest cieczą roboczą w cyklu adsorpcyjnym, który zaś stosuje się w celu ochłodzenia skraplacza CO<sub>2</sub> w cyklu sprężarkowym. Proces adsorpcji jest zasilany energią niskotemperaturową z odnawialnego źródła ciepła, taką jak kolektory słoneczne lub poprzez inne źródła ciepła odpadowego. Rozwiązanie takie to nasz własny pomysł i nie odnotowano go w żadnym innym źródle literatury. Natomiast różne warunki otoczenia przez cały rok wymagają specjalnie zaprojektowanych procedur sterowania i rozwiązań automatyki. Algorytm sterujący musi kontrolować działanie dodatnich i ujemnych źródeł ciepła, zawory, pompy, wentylatory i pracę układu sprężarkowego. W algorytmie tym temperatura otoczenia i warunki słoneczne lub z innego źródła ciepła na przykład odpadowego muszą być wprowadzone jako jego parametry, biorąc pod uwagę działanie obiegów w celu osiągnięcia maksymalnej wydajności całego systemu. Zapotrzebowanie na zimno powinno być wzięte pod uwagę zarówno pod względem mocy chłodniczej jak i temperatury.

**Słowa kluczowe:** hybrydowy adsorpcyjno-sprężarkowy system chłodniczy, sterowanie

## METHODOLOGY OF THE HYBRID ADSORPTION-COMPRESSION REFRIGERATION CYCLE CONTROL

### Summary

The requirements for environmental friendly refrigerants promote the application of CO<sub>2</sub> and water as working fluids. Both solutions have disadvantages, which are the result of high temperature limit for CO<sub>2</sub> and low temperature limit for water. This can be avoided by application of the hybrid adsorption-compression system, where water is the working fluid in the adsorption cycle which is used to cool down the CO<sub>2</sub> condenser on compression cycle. The adsorption process is powered by low temperature energy from renewable heat source such as solar collectors or other waste heat sources. This solution is our own conception and it is not reported in any other literature sources. The different ambient conditions over the year require specially designed control procedures and automation system solutions. The algorithm has to control both positive and negative heat sources operations, valves, pumps, fans and compressor operation. In this control algorithm the ambient temperature and solar conditions or other waste heat sources have to be introduced as its parameters, considering cycle operation to achieve maximum efficiency of the whole system. The demand for cold has to be considered for both refrigeration power and temperature.

**Keywords:** hybrid adsorption-compression refrigeration system, control

DOI: 10.7862/rm.2014.18

*Otrzymano/received: 15.05.2014*

*Zaakceptowano/accepted: 27.05.2014*

---

<sup>3</sup> Autor do korespondencji: Piotr Cyklis, Politechnika Krakowska, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków, tel. 12 628 35 83, e-mail: pcyklis@mech.pk.edu.pl.

<sup>4</sup> Roman Duda e-mail: roman.duda@mech.pk.edu.pl.

## SPALANIE TLENOWE DLA KOTŁÓW PYŁOWYCH I FLUIDALNYCH ZINTEGROWANYCH Z WYCHWYTEM CO<sub>2</sub> – OSIĄGNIĘCIA W PROJEKCIE STRATEGICZNYM NCBR

Spalanie tlenowe jest tematem działań prowadzonych w ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii” w Zadaniu Badawczym nr 2 „Opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO<sub>2</sub>”. W projekcie rozwijana jest jedna z technologii umożliwiających radykalne ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery z dużych źródeł stacjonarnych, tj. spalanie tlenowe. Realizowane prace biorą pod uwagę różne typy palenisk, mianowicie kocioł pyłowy (PC), kocioł fluidalny z warstwą cyrkulacyjną (CFB) oraz ciśnieniowy reaktor CFB. Ponadto, prace uwzględniają pozostałe układy nierozzerwalnie związane z technologią spalania tlenowego, tj. układ separacji powietrza oraz układ do czyszczenia CO<sub>2</sub>. Szeroko zakrojone badania w tym zakresie obejmują m.in. adsorpcyjne metody frakcjonowania powietrza i wydzielania CO<sub>2</sub> ze spalin oraz separację na membranach tlenowych. Wybrane instalacje wybudowane zostały w formie mobilnych laboratoriów, umożliwiających ich integrację z rzeczywistymi obiektami kotłowymi. Celem prowadzonych prac jest opracowanie wytycznych dla obiektu demonstracyjnego, uwzględniającego wytypowaną w wyniku realizacji projektu technologię spalania węgla, jak również wskazanie racjonalnie uzasadnionych lokalizacji dla tego rodzaju przedsięwzięcia na terenie naszego kraju. Szczegółowa rozważana jest również opcja retrofitu starszych bloków energetycznych, uwzględniająca przystosowanie modernizowanego obiektu do realizacji spalania tlenowego.

**Słowa kluczowe:** węgiel, O<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>, PC, CFB, PCFB, energetyka

## OXY-COMBUSTION TECHNOLOGY FOR PULVERISED AND FLUIDIZED BOILERS WITH CO<sub>2</sub> CAPTURE – ACHIEVEMENTS IN STRATEGIC PROJECT SUPPORTED BY THE NATIONAL CENTRE FOR RESEARCH AND DEVELOPMENT

### Summary

Oxy-combustion is a subject of comprehensive studies carried out within the confines of Research and Development Strategic Program “Advanced Technologies for Energy Generation” – Project no. 2 “Oxy-combustion technology for PC and FBC boilers with CO<sub>2</sub> capture”, which is supported by the National Centre for Research and Development (NCBR) in Poland. - In the project the oxygen combustion as one of the technologies enabling radical reduction of CO<sub>2</sub> emissions from large stationary sources is developed. The studies take into consideration the different types of furnaces, namely pulverized-fuel boiler (PC), fluidized-bed boiler (CFB) and CFB pressure reactor. Furthermore, the study considered the others inextricably linked systems to oxygen combustion technology, such as air separation system and a system for CO<sub>2</sub> purification. Selected plants were built in the form of mobile laboratories, enabling their integration with real boiler objects. The aim of this work is to develop guidelines for the demonstrative object, taking into account selected by the project coal combustion technology, and an efficient indication of the well-grounded location for this kind of enterprise in our country. Option of retrofitting older power units, taking into account adaptation of modernized object to oxygen combustion is also considered.

**Keywords:** coal, O<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>, PC, CFB, PCFB, power industry

DOI: 10.7862/rm.2014.19

*Otrzymano/received: 15.05.2014*

*Zaakceptowano/accepted: 27.05.2014*

<sup>5</sup> Autor do korespondencji: Tomasz Czakiert, Politechnika Częstochowska, ul. Dąbrowskiego 73, 42-201 Częstochowa, tel. 34-3250945, tczakiert@is.pcz.czest.pl.

<sup>6</sup> Wojciech Nowak, Akademia Górniczo-Hutnicza, ul. Czarnowiejska 50B, 30-059 Kraków, wnowak@agh.edu.pl.

Michał DUDA<sup>7</sup>  
Jurij DOBRIAŃSKI<sup>8</sup>  
Daniel CHLUDZIŃSKI<sup>9,10</sup>

## CYKLICZNY TERMOSYFON ODWRÓCONY O DWÓCH CZYNNIKACH ROBOCZYCH

Dwufazowy termosyfon odwrócony jest urządzeniem umożliwiającym pasywny transport ciepła w przypadku kiedy źródło ciepła usytuowane jest powyżej miejsca jego odbioru. W pracy przedstawiono analizę pracy cyklicznego termosyfonu dwufazowego z dwoma czynnikami roboczymi i wykorzystaniem fazy ciekłej jednego z nich jako nośnika ciepła. Badane urządzenie składało się z dwóch naczyń roboczych usytuowanych jedno nad drugim i umieszczonych nad zasobnikiem wody, do którego ciepło było transportowane oraz grzałki elektrycznej podłączonej do dolnego naczynia roboczego w celu symulowania źródła ciepła. Badania przeprowadzono w warunkach nieustalonego nagrzewania wody w zasobniku oraz ustalonego strumienia ciepła odpowiednio 300, 600 i 900 W doprowadzonego do dolnego naczynia roboczego. Odległość na jaką ciepło było transportowane w dół wynosiła 1,5 m. W zależności od wielkości strumienia ciepła dostarczonego do urządzenia, średni przepływ ciekłej fazy nośnika ciepła w obiegu wyniósł odpowiednio 18,6; 27,5 i 40 dm<sup>3</sup>/h przy różnicy temperatur w gałęziach obiegu 11; 15,6 oraz 16°C.

**Słowa kluczowe:** pasywny transport ciepła, termosyfon dwufazowy, cykliczny termosyfon odwrócony, termosyfon z dwoma czynnikami roboczymi

## CYCLICAL REVERSE THERMOSIPHON WITH TWO WORKING MEDIA

### Summary

A two-phase reverse thermosiphon is a device which allows for passive a heat transfer while heat source is situated above the delivery point. In the paper an analysis of the two-phase reverse thermosiphon operating with two working media and the use of liquid phase one of them as a heat carrier was presented. The investigated equipment was consisted of two vessels and electric heating element connected to lower working vessels in the order to simulate of the heat source. The vessels are situated one above another and placed in contained to which the heat was transferred. The research was performed in the conditions of transient water heating in a container and steady-state heat flux at the three various levels of 300W, 600W and 900W led to the lower working vessel. Heat was transferred downwards at a distance of 1.5m. Depending on the heat flux supplied to the device, average flow velocity of liquid in the cycle was 18.6; 27.5 and 40 dm<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> for the temperature difference 11; 15.6 and 16°C, respectively.

**Keywords:** passive heat transport, two-phase thermosyphon, cyclical reversed thermosyphon, thermosiphon with two working media

DOI: 10.7862/rm.2014.20

*Otrzymano/received: 15.05.2014*

*Zaakceptowano/accepted: 27.05.2014*

<sup>7</sup> Autor do korespondencji: Michał Duda, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, ul. Oczapowskiego 11, 10-736 Olsztyn, tel. 89 524 61 57, [michal.duda@uwm.edu.pl](mailto:michal.duda@uwm.edu.pl)

<sup>8</sup> Jurij Dobriański, [dobr@uwm.edu.pl](mailto:dobr@uwm.edu.pl)

<sup>9</sup> Daniel Chludziński, [daniel.chludzinski@uwm.edu.pl](mailto:daniel.chludzinski@uwm.edu.pl)

<sup>10</sup> Autor otrzymał stypendium współfinansowane przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

## EKSPERYMENTALNA WERYFIKACJA METODY ROZWIĄZYWANIA ODWROTNEGO PROBLEMU PRZEWODZENIA CIEPŁA

W elementach urządzeń energetycznych bardzo często pojawiają się problemy z określeniem niektórych warunków brzegowych. Przybliżone oszacowanie trudnych do określenia warunków brzegowych, w celu rozwiązania problemu metodą bezpośrednią, może doprowadzić do istotnych błędów. W niniejszej pracy przedstawiona zostanie metoda odwrotna, pozwalająca na możliwie dokładne wyznaczenie nieustalonego pola temperatury pomimo nieokreślonych niektórych cieplnych warunków brzegowych. Metoda oparta jest na bilansowej metodzie elementów skończonych. Metoda może być zastosowana przy rozwiązywaniu prostych zagadnień jednowymiarowych oraz prostych i skomplikowanych zagadnień dwuwymiarowych. Przedstawione będą dwie doświadczalne weryfikacje metody: jednowymiarowa i dwuwymiarowa.

**Słowa kluczowe:** wymiana ciepła, metody odwrotne, identyfikacja, monitorowanie

## EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE METHOD FOR SOLVING AN INVERSE HEAT CONDUCTION PROBLEM

### Summary

In some elements of power equipment occur problems with identifying some boundary conditions. Approximate estimate of a difficult to determine boundary condition, in order to solve the problem by using direct method, can lead to significant errors. In this paper, the reverse method is presented which can be used for possible accurate determination of the transient temperature field in spite of some unspecified thermal boundary conditions. The method can be used for solving simple one-dimensional problems and both simple and complex two-dimensional problems. Two experimental verifications of the proposed method are shown in this paper: one-dimensional and two-dimensional.

**Keywords:** heat transfer, inverse methods, identification, monitoring

DOI: 10.7862/rm.2014.21

*Otrzymano/received: 15.05.2014*

*Zaakceptowano/accepted: 27.05.2014*

---

<sup>11</sup> Autor do korespondencji: Piotr Duda, Politechnika Krakowska, al. Jana Pawła II 37 31-864 Kraków, tel. +48 12 628 33 47, pduda@mech.pk.edu.pl

## OPTIMUM HEATING OF BOILER DRUMS

In a paper, a method for determining time-optimum medium temperature changes is presented. The heating of the pressure elements will be conducted so that the circumferential stress caused by pressure and fluid temperature variations at the edge of the opening at the point of stress concentration, does not exceed the allowable value. In contrast to present standards, the stress distribution at two points at the edge of the hole is taken into consideration. Optimum fluid temperature changes are approximated by simple time functions. The temperature of medium at the beginning of the heating process was varied steeply and then the temperature was increased with a constant rate.

**Keywords:** thermal stresses, inverse heat conduction problem, pressure vessels, boiler standards

## OPTYMALNE NAGRZEWANIE KOTŁÓW WALCZAKOWYCH

### Streszczenie

W pracy przedstawiono sposób wyznaczania optymalnych zmian temperatury czynnika. Nagrzewanie elementów ciśnieniowych jest prowadzone w taki sposób, aby obwodowe naprężenie na krawędzi otworu w punkcie koncentracji wywołane ciśnieniem i zmianami temperatury czynnika, nie przekraczały wartości dopuszczalnej. W przeciwieństwie do aktualnych norm, analizowany jest rozkład naprężeń w dwóch punktach na krawędzi otworu. Optymalne zmiany temperatury płynu przybliżane są w formie prostych funkcji czasu. Temperatura czynnika na początku procesu nagrzewania zmienia się skokowo a następnie wzrasta ze stałą prędkością. Temperatura czynnika na początku procesu nagrzewania zmienia się skokowo, a następnie wzrasta ze stałą prędkością.

**Słowa kluczowe:** naprężenia cieplne, odwrotny problem przewodzenia ciepła, naczynia ciśnieniowe, przepisy kotłowe

DOI: 10.7862/rm.2014.22

*Otrzymano/received: 15.05.2014*

*Zaakceptowano/accepted: 20.06.2014*

---

<sup>12</sup> Piotr Dzierwa, Politechnika Krakowska, Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków, tel. 12 6283554, e-mail: pdzierwa@wp.pl

## WPLYW WARUNKÓW OTOCZENIA NA WYBRANE PARAMETRY CIEPLNE BASENU KĄPIELOWEGO Z RUCHOMYM ZADASZENIEM

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów parametrów cieplnych przydomowego basenu kąpielowego z ruchomym zadaszeniem. Ruchoma osłona basenu wykonana jest z wygiętych płyt bezbarwnego przezroczystego poliwęglanu jednokomorowego umocowanych w konstrukcji aluminiowej. Pomiary przeprowadzono w obiekcie znajdującym się na terenie prywatnej posesji, zlokalizowanej w gminie Dobra Szczecińska, w okresie kończącym sezon użytkowania basenu. Zamontowana w obiekcie aparatura badawczo-rejestrująca pozwoliła na zmierzenie wartości charakterystycznych parametrów cieplnych rozpatrywanego basenu związanych z następującymi ośrodkami: woda w basenie, powietrze i powierzchnia płytek pod zadaszeniem, powietrze atmosferyczne, powierzchnia osłony oraz grunt w otoczeniu basenu. Dane były rejestrowane całodobowo, przez okres kolejnych 10 dni. Zarejestrowane dane pozwoliły na określenie zależności ujmujących wpływ warunków pogodowych: natężenia promieniowania słonecznego, temperatury i ciśnienia powietrza atmosferycznego oraz prędkości wiatru panujących w bliskim sąsiedztwie badanego obiektu na temperaturę wody oraz parametry powietrza pod osłoną (temperatura i wilgotność względna). Na podstawie analizy otrzymanych wyników badań stwierdzono, że średnia temperatura wody w basenie zależy przede wszystkim od wartości temperatury powietrza atmosferycznego. Badania doświadczalne wykazały także istotny wpływ temperatury powietrza atmosferycznego i natężenia promieniowania na parametry powietrza znajdującego się pod osłoną. Natomiast nie udało się określić wpływu ciśnienia i prędkości wiatru na parametry cieplne rozpatrywanych ośrodków.

**Słowa kluczowe:** basen otwarty, zadaszenia basenów, osłona przezroczysta, warunki atmosferyczne

## INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON SELECTED THERMAL PARAMETERS FOR THE SWIMMING POOL WITH MOVABLE ENCLOSURE

### Summary

In this paper the results of measurements of characteristic thermal parameters for a swimming pool with the movable enclosure are presented. The movable enclosure is made of clear transparent twin-wall polycarbonate sheet mounted in aluminum construction. Measurements were carried out at the end of the swimming pool season, in the object located on a private estate in Dobra Szczecińska. The research equipment installed in the object was used for measurements of characteristic thermal parameters of analyzed swimming pool related to the following media: water in the swimming pool, air and tile surface under the roofing, atmospheric air, surface of the enclosure and ground near the pool. Data were recorded for 10 days. During the measurements the pool was not exploited. Registered data were used for determination of the influence of the following weather conditions: solar irradiance, ambient temperature, atmospheric pressure and wind velocity on the temperature of water and temperature and relative humidity of air inside the object. On the basis of the results of the studies, it can be stated that average temperature of water in the swimming pool depends mainly on a value of the ambient temperature. Experimental studies have also shown a significant effect of ambient temperature and solar irradiance on the parameters of air inside the object. Influence of atmospheric pressure and wind velocity on thermal parameters of considered media could not be observed.

**Keywords:** open-air swimming pool, pool roofing, transparent enclosure, weather conditions

DOI: 10.7862/rm.2014.23

*Otrzymano/received: 15.05.2014*

*Zaakceptowano/accepted: 20.06.2014*

<sup>13</sup> Autor do korespondencji: Agnieszka Garnysz, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, al. Piastów 19, 70-310 Szczecin, tel. 91 449 46 49, e-mail: agnieszka.garnysz@zut.edu.pl

<sup>14</sup> Zbigniew Zapalowicz, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, al. Piastów 19, 70-310 Szczecin, tel. 91 449 46 49, e-mail: zbigniew.zapalowicz@zut.edu.pl

## ANALIZA ROZKŁADU PRĘDKOŚCI W KOMORZE USZCZELNIENIA LABIRYNTOWEGO NA PODSTAWIE BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH I OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych i numerycznych badania rozkładu prędkości w dziesiątej komorze modelowego segmentu uszczelnienia labiryntowego składającego się z dwudziestu tarcz. Pomiar ciśnienia dynamicznego wykonano sondą Pito i sondą ciśnienia statycznego. Badania eksperymentalne przeprowadzono w trzech płaszczyznach komory. W obliczeniach numerycznych założono warunki termodynamiczne i przepływowe występujące w warunkach pomiaru. Praca zawiera porównanie prędkości osiowych powietrza w wymienionych płaszczyznach uzyskanych z eksperymentu i obliczeń.

**Słowa kluczowe:** uszczelnienia labiryntowe, badanie rozkładu prędkości

## ANALYSIS OF THE VELOCITY DISTRIBUTION IN THE CHAMBER OF LABYRINTH SEAL ON THE BASIS OF EXPERIMENTAL RESEARCH AND NUMERICAL CALCULATIONS

### Summary

The paper presents the results of the experimental and numerical studies of the velocity distribution in the tenth chamber of labyrinth seal of model segment consisting of twenty discs. The measurement of the dynamic pressure was carried out by using both Pito and static pressure probes. Experimental tests were carried out at three planes of the chamber. In numerical calculations thermodynamic and flow conditions occurring during the measurement were assumed. The work includes a comparison between the experimental and calculated values of axial air velocities at above mentioned planes.

**Keywords:** labyrinth seals, research of velocity distribution

DOI: 10.7862/rm.2014.24

*Otrzymano/received: 15.05.2014*

*Zaakceptowano/accepted: 20.06.2014*

---

<sup>15</sup> Damian Joachimiak, Politechnika Poznańska, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3, tel. 61 6652209, e-mail: damian.joachimiak@put.poznan.pl

<sup>16</sup> Piotr Krzyślak, Politechnika Poznańska, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3, e-mail: piotr.krzyslak@put.poznan.pl



## ANALIZA WYDAJNOŚCI CHŁODNICZEJ KASKADOWEGO OBIEGU SKRAPLANIA ETYLENU I STANU IZOLACJI ZBIORNIKÓW ŁADUNKOWYCH PODCZAS TRANSPORTU ŁADUNKU NA GAZOWCU LPG O POJEMNOŚCI 22500 M<sup>3</sup>

W pracy przedstawiono metody analizy służące do oceny efektów schładzania etylenu podczas transportu morskiego tego ładunku. Wykonano je na statku transportującym etylen, gdzie stwierdzono znaczne różnice pomiędzy zakładanymi przez projektantów prędkościami schładzania w zbiornikach ładunkowych, a tymi uzyskiwanymi podczas podróży morskiej. Temperatura ładunku wynosiła około minus stu stopni Celsjusza. Problemy stwierdzono po dziesięciu latach eksploatacji statku. Przeprowadzone obliczenia i testy miały za zadanie przeanalizowanie dwu głównych możliwości spadku prędkości chłodzenia ładunku, tj. obniżenia współczynnika wydajności chłodniczej systemu kaskadowego skraplania ładunku oraz stanu izolacji zbiorników ładunkowych. W tym celu połowa ładunku została odcięta od instalacji skraplającej na okres czterdziestu ośmiu godzin, a druga połowa etylenu w zbiornikach była w tym czasie schładzana przez wszystkie trzy układy instalacji kaskadowej. Wzrost temperatury w zbiornikach w okresie dwu dni testu umożliwił dokonanie obliczeń ilości ciepła napływającego poprzez izolację termiczną do ładunku. W celu obliczenia wydajności chłodniczej obiegów kaskadowych wykonano szczegółowe pomiary w dwu różnych okresach czasu i w różnej konfiguracji. Obliczenia przeprowadzono na oceanie Atlantyckim w okolicy wysp Azorskich przy średniej temperaturze otoczenia wody i powietrza ok. 19°C.

**Słowa kluczowe:** statek LPG, etylen, obieg kaskadowy, wydajność chłodnicza

### Analysis of refrigeration capacity of Ethylene reliquefaction plant and cargo tank insulation condition during carrying of cargo on board of 22 500 m<sup>3</sup> Ethylene carrier

#### Summary

The paper presents methods of analysis used to assess results of precooling of ethylene during sea transport. The analysis was done during carrying ethylene, when significant differences between designed and performed speed of precooling in the cargo during sea transport was observed. Temperature of ethylene was around minus 100°C. The problems appeared on the board of ten years old ship. Calculation and tests were done in order to investigate two main reasons for the decrease of precooling speed of cargo, i.e. decreasing of refrigeration capacity of reliquefaction plant and the condition of the cargo tank insulation. For this purpose precooling of half cargo tank was stopped for 48 hours and reliquefaction of operated by all three installation systems. The increase of temperature in tanks during two days enabled to perform the calculation of heat quantity flow through the cargo tank insulation. The calculations of cooling capacity of cascade cycles were taken in two different periods of time and configuration. Calculations were made near the Azores in the Atlantic Ocean with average ambient and sea water temperature approximately of 19°C.

**Keywords:** LPG carrier, ethylene, cascade cycle, refrigeration capacity

DOI: 10.7862/rm.2014.25

*Otrzymano/received: 15.05.2014*

*Zaakceptowano/accepted: 20.06.2014*

---

<sup>17</sup> Autor do korespondencji: Dariusz Nanowski, Akademia Morska w Gdyni, Morska 81-87, 81-225 Gdynia, tel. +48 58 690 14 49, d.nanowski@wm.am.gdynia.pl

## WYMIANA CIEPŁA PRZY WRZENIU NA ŻEBRZE Z POKRYCIEM METALOWO-WŁÓKNISTYM

Praca dotyczy badań intensyfikacji wymiany ciepła przy wrzeniu na nieizotermicznych powierzchniach elementów wymiennikowych. W literaturze spotyka się wiele badań związanych z procesami wymiany ciepła przy zmianie fazy, które bardzo często dotyczą pokryć wytwarzanych różnymi technologiami. Główną wadą tych badań jest to, że głównie prowadzone są na powierzchniach izotermicznych. W artykule zaprezentowano wyniki badań działania pojedynczego żebra we wrzącym etanolu w warunkach ciśnienia otoczenia. Zastosowano kamerę termowizyjną do pomiaru rozkładu temperatury dla dwóch próbek: o gładkiej powierzchni i powłoce kapilarno-porowatej nałożonej w celu zwiększenia przejmowania ciepła. W niniejszej pracy przedstawiono badania wpływu wybranego pokrycia kapilarno-porowatego na wielkość wymiany ciepła na nieizotermicznych powierzchniach usytuowanych pionowo. Badania prowadzono na stanowisku pomiarowym, którego głównym elementem jest długie miedziane żebro, którego podstawę utrzymywano w stałej dla danej serii pomiarów temperaturze. Ciecżą odbierającą ciepło był etanol pod ciśnieniem atmosferycznym. Omówiono metodykę pomiarów oraz przedstawiono wyniki badań. W oparciu o zmierzony kamerą termowizyjną powierzchniowy rozkład temperatury wyznaczono lokalne wartości odprowadzanego strumienia i współczynnika przejmowania ciepła, które pokazano w postaci krzywej wrzenia dla żebra o powierzchni gładkiej i pokrytej strukturą kapilarno – porowatą. Z porównania lokalnie odprowadzanych strumieni ciepła wynika, że największa różnica pomiędzy nimi występuje przy przegrzaniu 19 K i wynosi niemal 218 kW/m<sup>2</sup>.

**Słowa kluczowe:** wrzenie, żebro, struktura kapilarno-porowata, strumień ciepła, termowizja

## BOILING HEAT TRANSFER ON A FIN WITH CAPILLARY-POROUS COATINGS

### Summary

The paper deals with boiling heat transfer intensification on non-isothermal heat exchanger surfaces. Many researches related to heat transfer with phase change on coatings produced by different technologies are reported in the literature. The disadvantage of these researches is that the results are presented for mainly isothermal surfaces, while the real heat exchanger units are usually non-isothermal and heat transfer processes proceed differently in relation to isothermal conditions. The paper presents the results of investigations into a single fin operating in ethanol boiling under ambient pressure. Thermographic camera was used to measure temperature distribution for two specimens: with a smooth surface and capillary-porous coating superimposed to enhance heat transfer. This paper presents the results of study on the impact of the selected capillary-porous coating on the size of non-isothermal heat transfer surfaces oriented vertically. The tests were conducted on the measuring position, whose main element is a long copper fin, which was kept at a constant temperature for series of measurements. Heat receiving fluid was ethanol at atmospheric pressure. The measurement methodology is discussed and the results of the research are presented. Based on the measured by using thermographic camera surface temperature distribution the local values of stream carrying away and the heat transfer coefficients are determined. These results are shown as a boiling curve for a fin with a smooth surface and coated of capillary - porous structure. The maximum difference in the locally rejected heat flux at 19 K superheat is observed an equals 218 kW/m<sup>2</sup> nearly.

**Keywords:** boiling, fin, capillary-porous structure, hat flux, infrared mapping

DOI: 10.7862/rm.2014.26

*Otrzymano/received: 20.05.2014*

*Zaakceptowano/accepted: 22.06.2014*

<sup>18</sup> Autor do korespondencji: Tadeusz Orzechowski, Politechnika Świętokrzyska, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, tel. 41 34 24 854, todek@tu.kielce.pl.

<sup>19</sup> Anna Tyburczyk, Politechnika Świętokrzyska, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, annazw@tu.kielce.pl.

<sup>20</sup> Kinga Ziętała, Politechnika Świętokrzyska, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, kzietala@tu.kielce.pl.

## MATEMATYCZNE MODELOWANIE PODGRZEWACZA REGENERACYJNEGO WODY

W artykule przedstawiono macierzowy model wielostopniowego wymiennika ciepła. W modelu rozpatrzono zagadnienie wymiany ciepła pomiędzy parą nasyconą i wodą. Opracowany model wykorzystano do obliczeń regeneracyjnego podgrzewacza wody zasilającej kocioł w obiegu siłowni cieplnej. W rozpatrywanym przypadku czynnikiem grzejącym jest para wodna, która ulega kondensacji podczas przekazywania ciepła wodzie zasilającej kocioł. Na podstawie równań bilansu energii otrzymano układ równań różniczkowych, opisujących zmianę stopnia suchości gorącego czynnika oraz temperatury chłodnego czynnika w funkcji powierzchni wymiennika ciepła. Rozwiązanie tego układu równań umożliwia wyznaczenie temperatury wody zasilającej i stopnia suchości pary grzejącej w dowolnym punkcie rozpatrywanego wymiennika wielostopniowego. Warunkiem koniecznym rozwiązania układu równań jest określenie kierunku przepływu czynników gorącego i chłodnego oraz znajomość ich parametrów na wejściu do wymiennika. W artykule przedstawiono zasady określania kierunku przepływu obydwu czynników oraz metodykę tworzenia macierzy blokowej wielostopniowego wymiennika ciepła. Na podstawie obliczeń przeprowadzono analizę, która wykazała, że wyniki obliczeń umożliwiają ocenę stanu pracy podgrzewacza regeneracyjnego wody zasilającej kocioł. Przedstawiony macierzowy model wielostopniowego wymiennika ciepła może być wykorzystany do analizy efektywności pracy podgrzewaczy regeneracyjnych stosowanych w energetyce i przemysłowej, ciepłownictwie oraz wymienników płaszczowo-rurowych stosowanych w przemyśle chemicznym, petrochemicznym, rafineryjnym, spożywczym i innych.

**Słowa kluczowe:** wymiennik wielostopniowy, model macierzowy, przemiana fazowa, siłownia cieplna, woda zasilająca kocioł

## MATHEMATICAL MODELING OF THE REGENERATIVE FEEDWATER HEATER

### Summary

In the paper matrix model of the multistage heat exchanger is presented. The problem of heat exchange between the saturated steam and water is considered in this model. The developed model was used for the calculation of the regenerative boiler feedwater heater in a cycle of the thermal power plant. In the presented case, the water vapor is a heating medium that condenses during the heat transfer in the boiler feedwater. On the basis of the energy balance equations, the system of differential equations describing the change of the steam dryness fraction of warm media and temperature of the cooler media as a function of the heat exchanger area is obtained. The solution of this system of equations allows the determination of the feedwater temperature and the heating steam dryness fraction in any point of considered multistage heat exchanger. In order to solve the system of equations it is necessary to define the flow direction of both hot and cold media as well as knowledge of the parameters to input exchanger is needed too. The article presents the rules for determining the direction of both media flowing and methodology of creating a block matrix of multistage heat exchanger. On the basis of calculations the analysis was done, which shows that computation results allow to assess the operating conditions of regenerative boiler feedwater heater. The presented matrix model of the multistage heat exchanger can be used to analyze the efficiency of regenerative feedwater heaters used in the power industry, heating plants and tubular heat exchangers used in the chemical, petrochemical, refining, food and others industries.

**Keywords:** multistage exchanger, matrix model, phase transition, power plant, boiler feedwater

DOI: 10.7862/rm.2014.27

*Otrzymano/received:* 25.05.2014

*Zaakceptowano/accepted:* 28.06.2014

<sup>21</sup> Autor do korespondencji: Henryk Otwinowski, Politechnika Częstochowska, al. Armii Krajowej 21, 42-201 Częstochowa, tel.: 34 3250 579, e-mail: otwinowski@imc.pcz.czesz.pl.

<sup>22</sup> Vladimir P. Zhukov, Ivanovo State Power Engineering University, Rabfakovskaya 34, 153003 Ivanovo, Russia.

<sup>23</sup> Evgenii V. Barochkin, Ivanovo State Power Engineering University, Rabfakovskaya 34, 153003 Ivanovo, Russia.

## BADANIA WSTĘPNE WPŁYWU ODSYSANIA MIESZANINY PAROWO-POWIETRZNEJ NA EFEKTYWNOŚĆ WYMIANY CIEPŁA MIĘDZY CHŁODZIWEM A PODGRZEWANĄ POWIERZCHNIĄ

W pracy przedstawiono budowę stanowiska badawczego, metodykę pomiarów i obliczeń oraz wstępne wyniki badań doświadczalnych chłodzenia podgrzewanej powierzchni strugami wody. Celem pracy jest wstępna analiza wpływu procesu odsysania mieszaniny parowo-powietrznej na intensywność procesu odparowania filmu wodnego. Nagrzana powierzchnia chłodzona jest trzema strugami wody wytwarzanymi w zakraplaczach zamontowanych w płycie i ustawionych w wierzchołkach trójkąta równobocznego. Natężenie przepływu wody jest ustalone. W środku tego trójkąta umieszczono sondę połączoną z pompą próżniową, zadaniem której jest usunięcie powstałej nad powierzchnią filmu pary wodnej i otaczającego układ powietrza atmosferycznego. Strugi wody chłodzą powierzchnię roboczą grzejnika wykonanego z bloku miedzianego o wymiarach 0,04×0,04×0,02 m. Eksperyment przeprowadzono dla temperatury podgrzewanej powierzchni zmieniającej się w zakresie od 50÷100°C. Na podstawie analizy uzyskanych wstępnych wyników badań oszacowano, że odsysanie mieszaniny parowo-powietrznej z nad warstwy filmu cieczowego zwiększa się intensywność odparowania chłodziwa (wody) o około 25÷50%.

**Słowa kluczowe:** odsysanie, odparowanie, film wodny, odprowadzanie pary, chłodzenie strugą, chłodzenie ścianki

## INITIAL INVESTIGATION OF INFLUENCE OF THE STEAM-AIR MIXTURE SUCTION ON HEAT TRANSFER EFFICENCY BETWEEN COOLING AGENT AND PREHEATED SURFACE

### Summary

The paper presents test stand structure, measurement and calculation methodology and initial results of investigation of preheated surface cooling by water stream. The aim of this article is preliminary analysis of influence of steam-air mixture evacuation on the intensity of water film evaporation. The hot surface is cooling by three streams of water. Streams are produced in droppers mounted in plate and located in the vertices of an equilateral triangle. The water flow rate is stationary. In the center of triangle is mounted the probe connected to a vacuum pump that is used for evacuation of steam-air mixture from above the hot surface and atmospheric air surrounding the system. Streams of water cooling the heater surface made of copper block with the dimensions: 0.04×0.04×0.02 m). The surface temperature of block is changed in the range from 50°C to 100°C. Based on the results of preliminary investigations it was stated that the suction of steam-air mixture from above the liquid film layer enhances the water film evaporation about 25÷50%.

**Keywords:** suction, evaporation, water film, steam evacuation, spray cooling, wall cooling

DOI: 10.7862/rm.2014.28

*Otrzymano/received: 15.05.2014*

*Zaakceptowano/accepted: 20.06.2014*

<sup>24</sup> Autor do korespondencji: Magdalena Sobczak, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, al. Piastów 17, 70-310 Szczecin, tel. 91 449 4272, magdalena.sobczak@zut.edu.pl

<sup>25</sup> Zbigniew Zapałowicz, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, al. Piastów 17, 70-310 Szczecin, zbi-gniew.zapalowicz@zut.edu.pl

## NUMERICAL DETERMINATION OF THE GAS-SIDE AVERAGE HEAT TRANSFER COEFFICIENTS IN THE FIN-AND-TUBE HEAT EXCHANGER

**Abstract:** This paper presents the numerical method for the determination of the average heat transfer coefficient in fin-and-tube heat exchanger. The air side Nusselt number formulas are determined via the CFD simulation based method. The path of the gas flow across the inter-tubular space of this heat exchanger is complex, therefore the CFD simulations are used to determine the velocity distributions and the temperature field of air. The results of the numerical computations are compared with the Nusselt number formula based on the experimental data, which were obtained during the test of the car radiator. Good agreement between the numerical results and the results based on the measurements is achieved.

**Keywords:** heat transfer coefficient, fin-and-tube heat exchanger, CFD simulations, oval tubes.

## NUMERYCZNE WYZNACZANIE ŚREDNICH WSPÓŁCZYNNIKÓW WYMIANY CIEPŁA W WYMIENNIKU ŻEBROWO-RUROWYM

### Streszczenie

Artykuł prezentuje metodę numeryczną określania średniego współczynnika wymiany ciepła. Formuły do obliczania liczby Nusselta określono za pomocą metody opartej na symulacji CFD. Trajektoria wypływu gazu w poprzek wewnętrznej przestrzeni rurowej wymiennika ciepła jest złożona, dlatego wykorzystano symulacje CFD do określenia rozkładów prędkości i pola temperatury powietrza. Wyniki obliczeń numerycznych porównano z formułą określającą liczbę Nusselta na podstawie danych eksperymentalnych, które otrzymano podczas badań chłodnicy samochodowej. Osiągnięto wysoka zgodność pomiędzy wynikami numerycznymi oraz eksperymentalnymi.

**Słowa kluczowe:** współczynnik przejmowania ciepła, żebrowo-rurowy wymiennik ciepła, symulacje CFD, rury owalne

DOI: 10.7862/rm.2014.29

*Otrzymano/received: 15.05.2014*

*Zaakceptowano/accepted: 20.06.2014*

---

<sup>26</sup> Dawid Taler, Cracow University of Technology, Warszawska 24, 31-155 Kraków, Poland, phone number: +48 12 6283026, e-mail: [dtaler@pk.edu.pl](mailto:dtaler@pk.edu.pl)

<sup>27</sup> Corresponding author Paweł Ocloń: Cracow University of Technology, Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków, Poland, e-mail: [poclon@mech.pk.edu.pl](mailto:poclon@mech.pk.edu.pl)

## MODELOWANIE CFD KONWEKCYJNEGO PRZEGRZEWACZA PARY

W artykule przedstawiono wyniki symulacji CFD w programie ANSYS-CFX przegrzewacza pierwszego stopnia w kotle OP-210M. Wyznaczono rozkład temperatury pary i spalin wzdłuż drogi ich przepływu, rozkład temperatury pary i spalin na wylocie z przegrzewacza oraz rozkład temperatury na ścianie. Znajomość tych temperatur ma duże znaczenie praktyczne, ponieważ pozwala prawidłowo dobrać gatunek stali na dany stopień przegrzewacza. Korzystając z opracowanego modelu przegrzewacza do wyznaczenia stopnia jego zanieczyszczenia popiołem w trybie on-line można sterować częstotliwością aktywacji parowych zdmuchiwaczy sadzy.

**Słowa kluczowe:** modelowanie CFD, przegrzewacz pary, zanieczyszczenia popiołowe, kocioł,

### CFD MODELING OF CONVECTIVE STEAM SUPERHEATER

#### Summary

The paper presents the results of CFD simulations of the first stage superheater of the OP- 210M boiler by using the ANSYS CFX software. The temperature distributions of the steam and flue gas along the way they flow will be determined. Furthermore, the temperature of the tube walls and temperature distribution of the steam and flue gas superheater outlet have been determined. Knowledge of these temperatures has great practical importance, because it allows to choose the grade of steel for a given superheater stage. Using the developed model of the superheater to determine its degree of ash fouling in on-line mode one can control the activation frequency of steam soot blowers.

**Keywords:** CFD modeling, steam superheater, ash fouling, boiler

DOI: 10.7862/rm.2014.30

*Otrzymano/received: 15.05.2014*

*Zaakceptowano/accepted: 20.06.2014*

---

<sup>28</sup> Autor do korespondencji: Marcin Trojan, Politechnika Krakowska, Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków, tel. 507 710 662, e-mail: trojan\_marcin@interia.pl.

Dariusz URBANIAK<sup>29</sup>  
Tomasz WYLECIAŁ<sup>30</sup>  
Vladimir P. ZHUKOV<sup>31</sup>  
Evgenii V. BAROCHKIN<sup>32</sup>

## ZASTOSOWANIE ENTROPIJNEGO UOGÓLNIENIA ROZKŁADU MAXWELLA-BOLTZMANN DO MODELOWANIA ROZDRABNIANIA W MŁYNIEM STRUMIENIOWO-FLUIDALNYM

Zastosowanie zjawiska fluidyzacji w wielu gałęziach przemysłu spowodowało intensyfikację przebiegu zjawisk, stanowiących istotę technologii przemysłowych. W przypadku młyna strumieniowo-fluidalnego ziarna materiału warstwy różnią się nie tylko prędkością przemieszczania wzdłuż wysokości warstwy, ale również rozmiarem, czego nie uwzględnia klasyczny rozkład Maxwella-Boltzmann. W pracy zaproponowano wykorzystanie zasady maksimum entropii do uogólnienia rozkładu Maxwella-Boltzmann. Takie uogólnienie pozwoli określić rozkład ziaren w warstwie fluidalnej w funkcji prędkości ich przemieszczania, wysokości warstwy oraz ich wielkości. Celem weryfikacji zaproponowanego modelu przeprowadzono eksperyment rozdrabniania materiału ziarnistego w młynie strumieniowo-fluidalnym. Porównanie wyników obliczeniowych i eksperymentalnych pozwala stwierdzić, że opis wyników eksperymentalnych przez zaproponowany model jest zadowalająco dobry. Zastosowanie metod fizyki statystycznej umożliwia przewidywanie zachowania ziaren w warstwie fluidalnej i rozwijanie na tej podstawie metod obliczeniowych dla urządzeń technologicznych, wykorzystujących zjawisko fluidyzacji.

**Słowa kluczowe:** rozkład Maxwella-Boltzmann, bilans energetyczny, bilans masy, zasada maksymalnej entropii

## APPLICATION OF ENTROPY GENERALIZATION OF MAXWELL-BOLTZMANN DISTRIBUTION FOR MODELING OF GRINDING IN A FLUIDIZED-BED JET MILL

### Summary

Application of fluidization phenomenon in many industries resulted in the intensification of the course of events, which are the essence of industrial technology. In the case of a fluidized-bed jet mill grains of the bed material are differ not only in speed of motion along the height of the bed, but also the size, which does not include a classic Maxwell-Boltzmann distribution. The approach of the principle of maximum entropy to generalize Maxwell-Boltzmann distribution is presented in the paper. Such generalization will determine the distribution of particles in a fluidized bed as a function of speed of motion, height of the bed and their size. To verify the proposed model, an experiment was conducted grinding of granular material in the fluidized-bed jet mill. Comparison of computational and experimental results demonstrates that the description of the experimental results by the proposed model is adequate. The use of methods of statistical physics allows to predict the behavior of grains in a fluidized bed and developing on this basis of the calculation methods for technological devices using the fluidization phenomenon.

**Keywords:** Maxwell-Boltzmann distribution, energy balance, mass balance, principle of maximum entropy

DOI: 10.7862/rm.2014.31

*Otrzymano/received: 15.05.2014*

*Zaakceptowano/accepted: 20.06.2014*

<sup>29</sup> Autor do korespondencji: Dariusz Urbaniak, Politechnika Częstochowska, al. Armii Krajowej 21, 42-201 Częstochowa, tel.: 34 3250 583, e-mail: [urbaniak@imc.pcz.czest.pl](mailto:urbaniak@imc.pcz.czest.pl).

<sup>30</sup> Tomasz Wyleciał, Politechnika Częstochowska, al. Armii Krajowej 19, 42-201 Częstochowa.

<sup>31</sup> Vladimir P. Zhukov, Ivanovo State Power Engineering University, Rabfakovskaya 34, 153003 Ivanovo, Russia.

<sup>32</sup> Evgenii V. Barochkin, Ivanovo State Power Engineering University, Rabfakovskaya 34, 153003 Ivanovo, Russia.

Dariusz WAWRZYŃCZAK<sup>33</sup>  
Izabela MAJCHRZAK-KUCĘBA<sup>34</sup>  
Wojciech NOWAK<sup>35</sup>

## MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA METODY ADSORPCYJNEJ DO USUWANIA CO<sub>2</sub> ZE SPALIN KOTŁOWYCH

Aby węgiel mógł pozostać głównym paliwem gwarantującym bezpieczeństwo energetyczne Unii Europejskiej, jego przyszłe wykorzystanie musi zostać dostosowane do wymagań polityki UE. W ramach prac naukowo-badawczych rozwija się i doskonali technologie pozwalające na redukcję emisji ditlenku węgla do atmosfery, jak również metody wychwyty CO<sub>2</sub> z gazów procesowych. Prezentowana technologia adsorpcji, oparta o stałe sorbenty, testowana w skali laboratoryjnej jak i pilotowej, wykazała dużą zbieżność otrzymywanych wyników. Przeprowadzone testy potwierdzają możliwość jej zastosowania w rzeczywistych warunkach przemysłowych.

**Słowa kluczowe:** separacja CO<sub>2</sub>, V-PSA, DR-VPSA, adsorpcja

## POSSIBILITIES OF THE APPLICATION OF ADSORPTION METHOD FOR CO<sub>2</sub> SEPARATION FROM BOILER FLUE GAS

### Summary

The coal could be the main fuel that guaranteed energy security of the European Union, but its future use must be adapted to the requirements of EU policy. The research works, carried out in many research centers, develop and improve technologies for reducing carbon dioxide emissions into the atmosphere, as well as methods of CO<sub>2</sub> separation from flue gases. The presented adsorption technology (based on solid sorbents) tested in laboratory and pilot scales, showed a similarity of the results. The investigations confirmed the possibility of its application in real industrial conditions.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> separation, V-PSA, DR-VPSA, adsorption

DOI: 10.7862/rm.2014.32

*Otrzymano/received:* 25.05.2014

*Zaakceptowano/accepted:* 28.06.2014

---

<sup>33</sup> Autor do korespondencji: Dariusz Wawrzyńczak, Politechnika Częstochowska, ul. Dąbrowskiego 73, 42-201, Częstochowa, tel. 34 3250 945, dwawrzynczak@is.pcz.czyst.pl

<sup>34</sup> Izabela Majchrzak-Kucęba, izak@is.pcz.czyst.pl

<sup>35</sup> Wojciech Nowak, Akademia Górniczo-Hutnicza, ul. Czarnowiejska 50B, 30-059, Kraków, wnowak@agh.edu.pl