

W roku 2008 prace naukowe w Ośrodku 2 prowadzone były w ramach 7 zadań badawczych, przypisanych do 3 grup tematycznych.

O2/T1: Problemy aeromechaniki, eksploatacji, diagnostyki maszyn i urządzeń energetycznych

Zadanie O2/T1/Z1: Zagadnienia aeromechaniki, eksploatacji i diagnostyki cieplno-przepływowej turbin parowych

Badania realizowane w ramach Zadania T1/Z1 miały charakter podstawowy, a ich celem był rozwój metod numerycznych i algorytmów stosowanych w projektowaniu i diagnostyce turbin parowych.

W roku 2008 wiodącym tematem prac były obliczenia numeryczne CFD przepływu lepkiego gazu w maszynach wirnikowych (turbinach parowych). Wykonano m.in. symulacje aerodynamiki układów łopatkowych turbin, określając główne źródła strat przepływu, a następnie możliwości podniesienia sprawności stopni turbinowych poprzez modyfikacje geometryczne kanałów łopatkowych. Sporo uwagi poświęcono też zagadnieniu niesymetrii obwodowej w przepływie przez układy łopatkowe, spowodowanej upustami regeneracyjnymi i króćcem wylotowym. Wykonano także obliczenia numeryczne przepływu na wlocie turbiny, w stopniu regulacyjnym z zasilaniem na części obwodu, określa-

In the year 2008 the scientific work at the Center no 2 were carried out, in the 7 research tasks, assigned to 3 groups of themes.

O2/T1: Problems of aeromechanics, exploitation and diagnosis of machinery and power devices

Task O2/T1/Z1: Issues of aeromechanics, exploitation and heat-flow diagnosis of steam turbines

Research carried out as part of Task T1/Z1 had the basic character, their goal was to develop numerical methods and algorithms, used in the design and diagnostics of steam turbines.

In the year 2008 the main topic of research were CFD numerical calculations of viscous gas flow in the rotating machines (steam turbines). Carried out were the aerodynamics simulations in blading systems of turbines, identifying the main source of flow losses, followed by the analysis of possibilities of increase the hydraulic efficiency of turbine stages by geometrical modification of blade channels. Considerable attention has been paid to the issue of non-peripheral non-symmetry in the flow in the blade system, caused by the bleeder valve and the prevention outlet. Also were carried out the numerical calculation of the flow at the inlet to the turbine, in the control stage with partial peripheral feeding, specifying the level of peripheral heterogeneity. Conducted was also the research of a theoretical

jąc poziom niejednorodności obwodowej. Prowadzono również badania metod teoretycznej oceny strat wtórnych i brzegowych w palisadach łopatkowych oraz analizowano wpływ gęstości siatki obliczeniowej na wiarygodność i dokładność wyznaczenia przepływu w stopniach turbinowych. Realizowano też badania fizyki oddziaływania struktur wirowych w wirniku stopnia turbinowego, w różnych warunkach przepływu.

Rozwijane równolegle zagadnienia diagnostyki cieplno-przepływowej turbin parowych dotyczyły głównie metod umożliwiających rozpoznawanie miejsca i stopnia degradacji turbozespołów energetycznych. Zastosowano tutaj metody sztucznych sieci neuronowych, które pozwalają na określenie stopnia degradacji aparatów składowych na podstawie bieżących pomiarów ich parametrów pracy. Ponadto rozważano możliwości zastosowania regulacji wody chłodzącej kondensatory w turbozespołach wielkiej mocy, wyznaczając w tym celu charakterystyki sprawnościowe wybranych ostatnich stopni NP. Powiązano je z charakterystykami pracy kondensatora, pomp wody chłodzącej oraz z układem wież chłodniczych. W wykonanych analizach wykorzystano wyniki kilkuletnich pomiarów na turbinach w rzeczywistych elektrowniach.

W ramach współpracy z firmą ALSTOM opracowano nowe rozwiązanie konstrukcyjne stopnia przed upustem dla części NP z nowoczesnym wylotem ND41. Polega ono na skierowaniu pary

method of evaluation of secondary and boundary losses at blade palisades as well as examined was the effect of density on the calculation grid on the reliability and accuracy of determination of the flow in turbine stages. Research has also implemented into the physics of interactions of vortices structures in the rotor of turbine stage under different flow conditions.

In parallel, developed the diagnostic issues of heat-flow steam turbines, principally concerned the methods to recognize the place and the degree of degradation of turbo generator units. Applied here have been the methods of artificial neural networks, that allows to specify the degree of degradation of apparatus components on the basis of actual measurements of the parameters of their work. In addition, were considered the possibility of regulating the use of cooling water in condensers of turbo generator of great power, and for this purpose calculated were the performance characteristics of selected last stages of LP turbine. The results were linked with condenser characteristics, cooling water pumps and cooling towers system. At the analysis were used the results, of several years of measurements, on the actual turbines in power plants.

In cooperation with ALSTOM company, was developed a new design solution of the stage before the bleeder for LP part with the modern ND41 outlet. It consists of managing the steam from the leak over the rotor's blade to the bleeder, in the way which eliminates

z przecieku nad łopatką wirnikową do upustu w sposób, który eliminuje niekorzystne zawirowania, wykorzystując dodatkowo wyższą energię przecieku w niedogrzanym pierwszym wymienniku regeneracyjnym. Obliczenia wykazały, że zyski z takiego rozwiązania sięgają 400 kW dla turbiny 13K-225.

Zadanie O2/T1/Z2. Przepływy pod- i naddźwiękowe z silnymi oddziaływaniami

Prace prowadzone w ramach Zadania T1/Z2 dotyczyły przepływów ściśliwych z silnymi oddziaływaniami oraz zjawisk zachodzących w warstwie przyściennej. Obejmowały one m.in.

- badania mechanizmów generowania wirów wzdłużnych przez skośny jet,
- badania wpływu generatorów wirów wzdłużnych na oderwanie na stronie podciśnieniowej łopatki turbinowej,
- badania niestacjonarnych efektów w oderwaniu wywołanych falą uderzeniową,
- badania odsysania warstwy przyściennej przez perforowaną ściankę,
- badania eksperymentalne przepływu transpiracyjnego,
- analizę numeryczną przepływu przez perforowane ścianki.

Część prac dotyczyła przejścia laminarno-turbulentnego w maszynach przepływowych, skupiając się wokół takich zagadnień jak

adverse turbulences, in addition using more energy of the leakage in the first not sufficiently warmed up regenerative heat exchanger. The calculations showed that profits from such a solution can be traced back to the 400 kW for turbines 13K-225.

Task O2/T1/Z2. Subsonic and supersonic flows with strong interactions

Investigations carried out in the frame of Tasks T1/Z2 were related to compressible flow with the strong effects and phenomena occurring in the boundary layer.

These included:

- *investigations of mechanisms of longitudinal vortex generation by oblique jet,*
- *investigations of the impact of longitudinal vortex generators on detachment at vacuum side of turbine blades,*
- *investigations of non-stationary effects in separation caused by shock wave,*
- *investigations of suction of boundary layer through a perforated wall,*
- *experimental studies of transpiration flow,*
- *numerical analysis of flow through perforated walls.*

Part of the work involved laminar-turbulent transition in the rotating machines, focusing on such issues as

- wpływ gradientu ciśnienia na wymianę pędu i ciepła przy niestacjonarnym opływie grzanej płyty,
- wpływ skali turbulencji na przejście laminarno-turbulentne typu by-pass w aerotermicznej warstwie przyściennej.
- *effect of pressure gradient on exchange of momentum and heat with non-stationary flows of heated plates,*
- *effect of turbulence scale at laminar-turbulent transition (bypass) in aero-thermal boundary layer.*

Wykonano także badania analogii Reynoldsa w warunkach niestacjonarnego opływu śladami spływowymi.

Rezultatem wykonanych prac jest określenie warunków oderwania na łopatkę turbinowej z otworami chłodzącymi i z generatorami wirów. Określono także naturę niestacjonarnych zjawisk wywołanych oddziaływaniem fali uderzeniowej z warstwą przyścienną w przepływie z liczbą Macha 1,35 i 1,45. Ponadto wyznaczono charakterystyki przepływów przez perforowane ściany o różnych geometriach perforacji z przepływem stycznym oraz ustalono wpływ zamocowania na ścianie tunelu aerodynamicznego modelu połówkowego samolotu na jego opływ. Natomiast spośród wyników badań przejścia laminarno-turbulentnego można wymienić udokumentowanie różnicy w oddziaływaniu ujemnego i dodatniego jetu na warstwę przyścienną (silne zaburzenia pojawiają się po ujemnym jecie). W badaniach warstwy przyściennej wdrożono metodę uśredniania fazowego oraz zmodyfikowano prawo ścianki w podwarstwie lepkiej, w rejonie oddziaływania śladu spływowego.

Research were also carried out of the Reynolds analogy in terms of non-stationary flow of wake structures.

The result of the carried out research, is determination of the separation conditions on the turbine blade with coolant holes and vortex generators. Also defined was the nature of non stationary effects caused by the interaction of shock wave with boundary layer in the flow with Mach number of 1.35 and 1.45. Also investigated was the characteristics of flow through perforated walls with different perforation geometries and defined influence of "half-plane" model fixed at the aerodynamic wall for its streamline. Among the research results of laminar-turbulent transition should be mentioned the documented difference in positive and negative effects of jet for the boundary layer (strong disturbances occurs after the negative jet). During the research of boundary layer, implemented was the method of phase averaging, and modified the law of the wall in the viscous sublayer, in the area of wake structures.

An important element of the research conducted in 2008 was the implementation of three European projects

Istotnym elementem prac badawczych prowadzonych w 2008 r. była także realizacja trzech projektów europejskich (TLC, FLIRET, AITEB-2) oraz koordynacja projektu UFAST, dotyczącego niestacjonarnych efektów w oderwaniu wywołanym falą uderzeniową.

O2/T2: Procesy ekologicznego spalania w urządzeniach energetycznych, także z wykorzystaniem biomasy

Zadanie O2/T2/Z1: Modele procesów proekologicznego spalania w urządzeniach energetycznych

W ramach zadania T2/Z1 rozwijano narzędzia numeryczne przydatne w modelowaniu zjawisk towarzyszących zrównoważonym technologiom energetycznym, takim jak czyste technologie węglowe, technologie z zerową emisją CO₂, technologie oparte na paliwach odnawialnych, technologie energetyki rozproszonej i technologie ogniów paliwowych. Szczególną uwagę zwrócono na procesy spalania i proekologicznej konwersji energii chemicznej paliwa oraz na zjawiska im towarzyszące. Skupiono się przy tym na konstruowaniu modeli matematycznych zjawisk związanych z przepływami turbulentnych mieszanin reagujących w warunkach złożonego transportu ciepła i masy, oraz na implementowaniu tych modeli do kodów komercyjnych (poziom 3D) i własnych (poziom 0D). Rozwijane modele modelowania wyma-

(TLC, FLIRET, AITEB-2) and coordination of project UFAST, regarded non-stationary effects in separation induced by the shock wave.

O2/T2: Proecological combustion processes in the energy conversion devices, also with the use of biomass

Task O2/T2/Z1: Models of proecological combustion processes in the energy conversion devices

As part of the task T2/Z1 have been developed numerical methods useful in modeling of phenomena accompanying sustainable energy conversion technologies, such as clean coal combustion technologies, technologies with zero CO₂ emission, technologies based on renewable fuels, dispersed energy technologies, and technologies of fuel cells. Particular attention was paid to the processes of combustion and proecological conversion of chemical energy and accompanying phenomena. The main attention was paid on development of the mathematical model of the phenomena connected to the turbulent flow of reacting mixtures under conditions of complex heat and mass transport, and implementing these models to the commercial codes (3D level), and in-house codes (level 0D). Developed models needs to be described by the overall mass, momentum, heat balance in the solid state (structure) and the fluid body (working fluid). All calibration tests and calculations were conducted

gają łącznego opisu wymiany masy, pędu, ciepła w ciele stałym (konstrukcji) i w ciele płynnym (czynnika roboczym). Wszystkie testy kalibrujące i obliczenia prowadzone były na rzeczywistych geometriach pełnoskalowych urządzeń technicznych.

Spośród opublikowanych prac na uwagę zasługuje analiza wykorzystania gazu syntezowego, powstającego z gazyfikacji węgla brunatnego, jako paliwa dla wysokotemperaturowego ogniwa paliwowego. Wykonano w tym celu obliczenia zero-wymiarowe (0D) całego ogniwa oraz obliczenia 3D tej części ogniwa, która jest odpowiedzialna za bezpośrednią konwersję energii i za ustalanie się poziomu temperatur. Prace te były związane z implementacją do kodu CFD nowych domknięć dla modelu spalania elektrochemicznego wodoru i gazu syntezowego. Wykonano również analizę wpływu na pracę stałotlenkowego ogniwa paliwowego (SOFC) parametrów geometrycznych charakteryzujących obszary porowate oraz opracowano metodologię obliczeń spalania paliwa ciekłego z uwzględnieniem nowego modelu turbulentnego spalania.

Zadanie O2/T2/Z2: Transport energii i spalanie w przepływie z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii

Zagadnienia związane z realizacją zadania T2/Z2 skupiają się wokół szeroko pojętej problematyki konwersji energii i są nakierowane na projektowanie

on actual full-scale geometries of technical equipment.

Among the published works, deserves attention the analysis of using the synthetic gas, arising from the gasification of lignite, as a fuel for high temperature fuel cells. For this purpose, were performed the zero-dimensional (0D) calculations of the entire fuel cell, and 3D calculations of this part of the cell, which is responsible for the direct conversion of energy and for setting the temperature level. These works were related to the implementation into the CFD codes of new closures for the electrochemical combustion model of hydrogen and synthesis gas. Also were performed the analysis of the influence of work of solid oxide fuel cell (SOFC), of geometric parameters that characterize porous areas and developed a methodology for the calculation of combustion of liquid fuels including a new model of turbulent combustion.

Task O2/T2/Z2: Transport of energy and combustion in the flow with incorporation renewable energy sources

Issues related to the realization of tasks T2/Z2 focus on broader issues of energy conversion, and are aimed at the design of energy devices based on physico-chemical process of processing biomass, mostly at the energy boilers and low power gasification reactors (up to 40 kW).

The issue of work included:

urządzeń energetycznych opartych na procesach fizykochemicznych przetwarzania biomasy, przede wszystkim kotłów energetycznych i reaktorów zgazowujących małej mocy (do 40 kW). Problematyka prac obejmowała m.in.

- analizę i modelowanie pirolizy oraz spalania węgla i biomasy,
- modelowanie transportu ciepła w złożu porowatym,
- równowagę chemiczną układów wieloskładnikowych,
- wymianę ciepła, korozję oraz emisję pyłów i gazów z kotłów opalanych biomasa.

W ramach prowadzonych prac, w zagadnieniu modelowania procesu odgazowania, zaproponowano model, w którym źródło masy opisane jest funkcją bazującą na danych termogravimetrycznych ubytku masy paliwa. Uzyskano w ten sposób ciągłą zmienność szybkości odgazowania paliwa w szerokim zakresie temperatur. W zakresie prac nad modelowaniem procesów zgazowania i spalania biomasy, przeanalizowano możliwości wykorzystania do takich obliczeń kodów komercyjnych CFD. Problemem jest tutaj opis produkcji fazy gazowej z biomasy (zgazowanie, piroliza). Wydaje się, że najbardziej wiarygodne wyniki daje zastosowanie metody całkowicie empirycznej, z poprawką na wpływ radiacji. W pracach dotyczących spalania przeprowadzono analizy dotyczące procesu współspalania węgla i biomasy w kotle przemysłowym, ze szczególnym uwzględnieniem aspektów

- *analysis and modeling of pyrolysis and combustion of coal and biomass,*
- *modeling of heat transport in porous deposit,*
- *chemical equilibrium of composite system,*
- *heat exchange, corrosion and dust emissions and gases from biomass-fired boilers.*

Within the framework of research, involved in the issue of modeling the process of degassing, proposed has been the model, in which the source of mass is described as a function based on thermo-gravimetric data of weight loss of fuel. Obtained in this way, continuous variation of speed rate of fuel degassing in a wide range of temperature. In terms of research on modeling the processes of gasification and combustion of biomass, analyzed was the possibility of using such a result for calculations using numerical CFD codes. The problem here is the description of gas-phase production from biomass (gasification, pyrolysis). It seems, that the most reliable results are returned by completely empirical method with the correction to the effects of radiation. At the research on the combustion process, analysed was the process of co-combustion of coal and biomass in the industrial boiler, with particular attention to aspects of environment and exploitation. Also analyzed was the low-oxygen combustion of biogases generated in the process of pyrolysis of biomass, taking into account the different models of gases combustion

środowiskowych i eksploatacyjnych. Analizowano również niskotlenowe spalanie biogazów powstałych w procesie pirolizy biomasy, uwzględniając przy tym różne modele procesu spalania gazów. W ramach tego zagadnienia wykonano też obliczenia numeryczne wymiany ciepła w kotłach małej mocy opalanych biomasą, wykorzystując w tym celu kody własne i komercyjne. Ponadto, na potrzeby analizy stanu ekranów w kotłach w EC Gdańsk i Gdynia, wykonano symulację numeryczną korozji siarkowej w komorze spalania, w której zaproponowano nową funkcję opisującą zdolność warunków fizykochemicznych do tworzenia korozji.

Procesy przetwarzania paliw stałych są bardzo złożone, co pociąga za sobą problemy w ich modelowaniu (różne skale charakterystyczne procesu, jednoczesne występowanie dwóch faz, procesy powierzchniowe i objętościowe itd.). Do opisu tych zjawisk zastosowano podejście oparte na równowadze chemicznej układów wieloskładnikowych i wielofazowych, opracowując kod programu do wyznaczenia składu mieszaniny gazów w warunkach równowagi termochemicznej. Założono w nim, że proces spalania przebiega dwuetapowo: najpierw zachodzi spalanie w objętości wydzielonych podczas pirolizy gazów, a następnie spalanie powierzchniowe części stałej (karbonizatu).

Natomiast w związku z badaniami nieustalonego transportu ciepła w złożu porowatym, wykonano obliczenia prze-

As a part of this issue was made the numerical calculations of heat exchange in low power boilers fired by the biomass, utilizing for that purpose the in-house and commercial codes. In addition, for the analysis of the screens in boilers at heat and power plants in Gdańsk and Gdynia, was performed a numerical simulation of sulfur corrosion in the combustion chamber that suggested a new function that describes the ability to create conditions for the physico-chemical corrosion.

The processing of solid fuels are very complex, which result in the difficulties in their modeling (different scales characterizing the process, the simultaneous presence of two phases, surface and volumetric processes, etc). For a description of these phenomena was used an approach based on chemical equilibrium of multicomponent and multiphase systems, in developing of the code for the determination of the composition of the mixture of gases under conditions of thermochemical equilibrium. It was assumed that the combustion process takes place in two stages: first, there is a combustion in a volume of emitted during the pyrolysis gases, followed by the surface combustion of solid part (carbonizer).

Regarding the studies of transient heat transport in the porous layer, performed was the calculation of the heat flow in the two-component system, at a "chessboard" of gas and solid body. Also developed was a model of heat exchange, based on the equation of

plywu ciepła w układzie dwuskładnikowym, w „szachownicy” gazu i ciała stałego. Opracowano także model wymiany ciepła, oparty na równaniu nieustalonego przewodzenia ciepła typu hiperbolicznego (równanie Cattaneo-Vernotte), który zastosowano do opisu transportu ciepła w złożu węgla w komorze koksowniczej.

O2/T3: Problemy ciepłno-przepływowe w urządzeniach niskotemperaturowej (< 200°C) energetyki cieplnej, także z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii

Zadanie O2/T3/Z1: Mikrośiłownie na czynniki organiczne

Prace badawcze w Zadaniu 1 tematu O2/T3 były związane z projektowaniem i budową mikrośiłowni parowych na czynniki organiczne. Kontynuowano również prace nad zagadnieniem kondensacji pary wodnej z mieszaniny parowo-powietrznej w kondensatorach turbin parowych.

Podstawowym celem prac prowadzonych w 2008 roku była budowa prototypowej Kogeneracyjnej Mikrośiłowni Parowej zasilanej biomasą, która powstanie w multidyscyplinarnym laboratorium badawczym. Dla tej mikrośiłowni wykonano analizę rozwiązań konstrukcyjnych jej podstawowych elementów, a także analizę czynników roboczych i parametrów pracy obiegu Rankine’a na czynnik niskowrzący. Opracowano również koncepcję stanowiska badawczego.

transient hyperbolic heat conduction equation (Cattaneo-Vernotte’s equation), which was used to describe the heat transport in the coal deposit at the coking chamber.

O2/T3: Problems of heat-flow in low-temperature (< 200 °C) heat energy devices, also with the use of renewable energy resources

Task O2/T3/Z1: Micro-power plant fueled by the organic fluids

The research carried out in the Task O2/T3/Z1 were related to the design and construction of steam micro-power plant fueled by the organic fluid. Continued also were the works on the condensation of steam from the mixture of vapour-air at the condensers in steam turbines.

The primary aim of the research carried out in 2008 was the construction of the prototype of Cogeneration Micro-Power Plant fueled by the biomass, which is to be sited in the multidisciplinary research laboratory. For this micro-power plant was performed an analysis of basic design solutions of its elements, and also an analysis of working fluids and parameters of Rankine cycle for low-boiling point fluids. Also developed was the concept of the research stand.

Bearing in mind the cycles in micro-power plant conducted were the studies into the cycles with natural circulation. Accomplished was the analysis of the

W zastosowaniu do obiegów w mikroślowni przeprowadzono też studia nad obiegami z cyrkulacją naturalną. Wykonano analizę określającą warunki pracy obiegu bez wymuszenia w postaci pompy, a jedynie wskutek naturalnej cyrkulacji czynnika spowodowanej termicznym gradientem gęstości. Ponieważ czynnik w pętli cyrkulacyjnej może podlegać przemianom fazowym, wykonano analizę wymiany ciepła i ruchu płynu w termosyfonie dwufazowym z niecałkowitym odparowaniem. Rozpatrzono trzy warianty:

1. z ogrzewaniem bocznej, pionowej gałęzi obiegu i chłodzeniem drugiej pionowej gałęzi bocznej obiegu,
2. z ogrzewaniem i chłodzeniem rozłożonym na poziomych gałęziach obiegu oraz
3. z ogrzewaniem gałęzi pionowej i chłodzeniem na gałęzi poziomej obiegu.

Analizę ruchu płynu i wymiany ciepła oparto na stacjonarnym i jednowymiarowym modelu. Dwufazowy przepływ płynu opisano za pomocą rozdzielonego modelu płynu dwufazowego, uzyskując zależność prędkości czynnika od parametrów geometrycznych termosyfonu. Określono też wartość współczynnika przejmowania ciepła.

W związku z badaniami kondensacji pary wodnej został opracowany model teoretyczny opisujący kondensację na

cycle working conditions without forcing in the form of pump, but only as a result of the natural circulation of fluid caused by thermal density gradient. Due to the fact that the fluid in the circulating loop may be subject to phase change, performed was an analysis of the heat exchange and fluid motion in the two-phase thermosiphon with incomplete evaporation. Examined were three options:

1. *with heating the lateral and vertical side of cycle branch and cooling the second vertical cycle branch*
2. *with heating and cooling distributed on horizontal branches of the cycle*
3. *with heating the vertical cycle branch and cooling the horizontal cycle branch.*

The analysis of fluid motion and heat transfer were based on stationary and one-dimensional model. Two-phase fluid flow were described using the separated model of two-phase fluid, obtaining in such a way the relation between the fluid velocity and geometric parameters of the thermosiphon. Also specified was the value of heat transfer coefficient.

Regarding the studies of condensation of vapour developed has been a theoretical model describing the condensation on the tube of actual condenser. It includes two cases of heat exchange process:

zurce rzeczywistego skraplacza. Obejmuje on dwa przypadki procesu wymiany ciepła

1. konwekcji wymuszonej, gdzie dominującym zjawiskiem jest transport cząsteczek inertnych gazów w kierunku przepływu pary wodnej, oraz
2. konwekcji swobodnej, gdzie dominuje wypieranie cząsteczek gazów w kierunku powierzchni wymiany ciepła (tzn. powierzchni rurek).

Ten uniwersalny model został zaadoptowany do obliczeń termodynamicznych najbardziej typowych w Polsce skraplaczy, współpracujących m.in. z turbinami 200 MW. Wykonane obliczenia dostarczyły informacji o rozkładzie koncentracji gazów inertnych wzdłuż rurek skraplacza oraz pozwoliły opracować najbardziej skuteczny sposób ewakuacji powietrza ze skraplaczy turbin parowych.

Zadanie O2/T3/Z2: Obiegi skojarzone lewobieżne oraz prawobieżne z wykorzystaniem ekologicznych czynników roboczych

Przedmiotem badań prowadzonych w ramach zadania T3/Z2 były zagadnienia ruchu i wymiany ciepła w procesach jedno- i dwufazowych, nakierowane głównie na wykorzystanie w energetyce niskotemperaturowej.

Prowadzone badania eksperymentalne i teoretyczne dotyczyły więc takich problemów, jak:

1. *forced convection, where the dominant phenomenon is transport of molecules of inert gases in the direction of steam flow*
2. *free convection, where the dominant phenomenon is displacement of gases molecules in the direction heat exchange surface (i.e. surface of the tubes).*

This universal model has been adapted for the thermodynamic calculation of condensers, namely those most commonly used in Poland, i.e. cooperating with the 200 MW turbines. The calculations have provided information about the distribution of inert gases concentration along the condenser tubes, and helped to develop the most effective way to evacuate air from the steam turbine condensers.

Task O2/T3/Z2: Combined refrigeration and power cycles, with the use of ecological working fluids

Research carried out as part of Task T3/Z2 was focused on the issues of motion and heat exchange in single and two-phase processes, focused mainly on the application in low-temperature energy engineering.

Carried out experimental and theoretical studies were related to such issues as:

- *improvement of the efficiency of refrigeration cycles,*

- poprawa sprawności obiegów lewo-bieżnych,
- modelowanie procesu wymiany ciepła przy skraplaniu,
- poprawa charakterystyk cieplno-przepływowych strumienicy parowo-wodnej.
- *modeling of the process of heat exchange during condensation,*
- *improvement of the characteristics of heat-flow of steam-water ejector.*

W pracach dotyczących poprawy efektywności pracy układów lewo-bieżnych (chłodniczych, klimatyzacyjnych i pomp ciepła) rozważano zastosowanie strumienicy w układach sprężarkowych, metody poprawy efektywności pracy pośredniego systemu chłodzenia, zastosowanie odnawialnych źródeł energii do napędu układów klimatyzacyjnych (klimatyzacja solarna), sposób poprawy wydajności separacji oleju w układach chłodniczych oraz zastosowanie CO₂ jako czynnika roboczego. Sformułowano model obiegu sprężarkowo-strumienicowego, w którym zastosowano własną metodę charakterystyk, pozwalającą w racjonalny sposób uwzględnić wpływ pracy strumienicy w obiegu sprężarkowym. Wykonano też badania eksperymentalne strumienicy dwufazowej pracującej z czynnikiem R-123, w których uwagę skoncentrowano na zagadnieniach optymalnego doboru geometrii komory ssawnej i komory mieszania.

Prace dotyczące modelowania wymiany ciepła przy skraplania doprowadziły do powstania modelu z parametrem relaksacyjnym, opisującego kondensację pary na ścianie w warunkach zaburzeń przepływu oraz obecności gazów inertnych. Jest to model homogeniczny, który uzupełniono

In the research regarding improvement of efficiency of refrigeration cycles (refrigeration, air conditioning and heat pumps), considered was the application of ejectors in the compressor systems, methods of improvement the efficiency of intermediate cooling system, use of renewable energy resources to power air conditioning systems (solar air-conditioning), methods of improvement the efficiency of oil separation in refrigeration systems, and use of CO₂ as a working fluid. Formulated was a model of compressor-ejector cycle, that uses the in-house method of characteristics, which allows, in an efficient manner, to consider the influence of ejector operation in the compression cycle. Also carried out was the experimental research on two-phase ejector working with the working fluid R-123, in which attention has focused on issues of optimal selection of geometry of suction chamber and mixing chamber.

The research regarding the modeling of heat exchange in the condensation, led to creation of a model with relaxation parameter, describing the condensation of steam on the wall in terms of disturbances of motion and presence of inert gases. This is homogeneous model, which was supplemented with the closure equation describing the relaxation time and density of heat flow

o równania zamknięcia opisujące czas relaksacji i gęstość strumienia ciepła odprowadzanego od skraplającego się czynnika chłodniczego. Rozwiązanie równań modelu pozwoliło na zilustrowanie zmian ciśnienia w skraplaczu oraz określenie prędkości rozchodzenia się sygnału ciśnienia w skraplającym się czynniku chłodniczym. Z kolei wykonane badania eksperymentalne wpływu gazów inertnych na wymianę ciepła przy skraplaniu czynnika chłodniczego wykorzystano do sformułowania korelacji na współczynnik wnika-
nia ciepła, uwzględniającej degradujący wpływ tychże gazów.

Prowadzone badania strumienicy parowo-wodnej miały na celu analizę strat nieodwracalnych powstających podczas pracy tego urządzenia. Wykonano analizę strat egzergii w poszczególnych elementach strumienicy, skupiając się zwłaszcza na obszarze przepływu dwufazowego w komorze mieszania, gdzie straty są największe, a ich opis matematyczny jest najbardziej złożony. Zidentyfikowano trzy procesy nieodwracalne – tarcie, zmiany struktury przepływu i wymianę ciepła między parą i wodą – które mają istotny wkład do całkowitej destrukcji egzergii w tym obszarze. Wykonano też przykładowe obliczenia strat egzergii dla strumienicy, której parametry przepływowe były znane z własnych badań eksperymentalnych.

discharged from the condensing refrigerant. Solving the model equations allowed to illustrate the changes of pressure in the condenser and determined the speed of dispersing pressure signal at condensing working fluid. The experimental tests performed on the impact of inert gases at heat exchanges with condensation of the refrigerant, were used to formulate a correlation for heat transfer coefficient, taking into account the degradation factor of these gases.

The research carried out on the steam-water injector had to analyze the irreversible losses arising during running of such device. The analysis has been done of exergy losses in individual elements of ejector, focusing especially on two-phase flow region in the mixing chamber, where losses are highest, and their mathematical description is the most complex. There have been identified three irreversible processes – friction, changes in the flow structure and heat exchange between steam and water – which have a significant contribution to the total exergy destruction in this area. The example calculations for the exergy losses in ejector have been performed, whose flow parameters are known from own experimental research.

Zadanie O2/T3/Z3: Zastosowanie procesów elektrohydrodynamicznych oraz nanotechnologii w zagadnieniach ciepłno-przepływowych energetyki

Prace prowadzone w ramach zadania T3/Z3 mają na celu wykorzystanie zjawisk i procesów elektrohydrodynamicznych w nanotechnologii poprzez opracowywanie nowych metod i technik wytwarzania nanostruktur, np. nanocząstek, nanowłókien, nanokapsuł i nanocienkich warstw. Takie cienkie warstwy mogą zostać zastosowane w wielu dziedzinach, np. do tworzenia filtrów. Kontynuowano również prace nad wytwarzaniem mikro- i nanostruktur węglowych za pomocą wyładowań elektrycznych w gazach zawierających węglowodory, a także badania procesów jonizacyjnych w wyładowaniach elektrycznych.

W roku 2008 przeprowadzono badania eksperymentalne wytwarzania submikronowych cząstek srebra. W celu wytworzenia cząstek srebra używano azotanu srebra jako prekursora. Dla wytworzenia warstwy hydrofobowej rozpylano zawiesinę tlenku tytanu. W wyniku rozkładu azotanu srebra otrzymano cząstki o rozmiarach mniejszych od $1 \mu\text{m}$ oraz cząstki większe, od 5 do $10 \mu\text{m}$. Podjęto też próby wytworzenia warstwy hydrofobowej na bazie koloidalnej zawiesiny cząstek TiO_2 pokrywającej podłoże szklane. W obu przypadkach zastosowano metodę rozpylania elektrohydrodynamicznego. Rozpoczęto też prace teoretyczne nad opisem i wyjaśnieniem

Task O2/T3/Z3: The use of electrohydrodynamic processes and nanotechnology in the issues of the thermal-hydraulic problems of power engineering

The purpose of researches carried out as part of Task T3/Z3 is to use the electrohydrodynamic phenomenon and processes in nanotechnology through the development of new methods and techniques for the manufacture of nanostructures, such as nano-particles, nano-fibres, nano-capsules and nano-thin layers. Such thin layers can be applied in many fields, such as filters production. Also continued were works on the manufacture of micro- and nanostructures of carbon using electrical discharge in gases containing hydrocarbons, and also research of ionization processes in the electrical discharge.

In 2008 carried out the research of experimental production of submicron particles of silver. In order to produce particles of silver, the silver nitrate was used as a precursor. To produce hydrophobic layer, atomized was a suspension of titanium oxide. As a result of decomposition of silver nitrate, obtained were the particles of sizes smaller than $1 \mu\text{m}$ and larger particles, (from 5 to $10 \mu\text{m}$). Also attempted was production of hydrophobic layer on the basis of colloidal suspension of particles TiO_2 covering the glass substrate. In both cases, the method electro-hydrodynamic spraying was used. Also started works on the theoretical description and explanation

mechanizmów tworzenia się *formation of of mechanisms of nano-*
nanowarstw wytwarzanych metodą *layers manufactured using electro-*
elektrozpylania. *spraying method.*

Roman Kwidziński

Translated by Dariusz Mikielewicz